



**POLITECHNIKA
BYDGOSKA**
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

**RADA NAUKOWA DYSCYPLINY
NAUKI O ZARZĄDZANIU I JAKOŚCI**

ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Patrycja Sieg

**ZARZĄDZANIE KOSZTAMI SPOŁECZNYMI
W PRZEDSIĘBIORSTWACH SEKTORA
ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII
W WOJEWÓDZTWIE KUJAWSKO-POMORSKIM
NA TLE PROCESÓW TRANSFORMACJI
ENERGETYCZNEJ**

DZIEDZINA: NAUKI SPOŁECZNE
DYSCYPLINA: NAUKI O ZARZĄDZANIU I JAKOŚCI

PROMOTOR PRACY

DR HAB. IWONA POSADZIŃSKA PROF. PBŚ
POLITECHNIKA BYDGOSKA

PROMOTOR POMOCNICZY

DR INŻ. AGNIESZKA GOŹDZIEWSKA-NOWICKA
POLITECHNIKA BYDGOSKA

Bydgoszcz, 2026

Źródło finansowania

Badania empiryczne zrealizowane w ramach pracy zostały sfinansowane przede wszystkim ze środków grantu „Działania Naukowe Młodych” uzyskanego przez autorkę w lutym 2025 roku, natomiast pozostała część kosztów została pokryta ze środków wydziałowych.

Podziękowania

Pragnę złożyć serdeczne podziękowania Pani Promotor

dr hab. Iwone Posadzińskiej prof. PBS za opiekę naukową, cenne wskazówki merytoryczne, życzliwość, cierpliwość oraz wsparcie udzielane na kolejnych etapach przygotowywania niniejszej pracy.

Szczególne podziękowania kieruję również do Pani Promotor Pomocniczej

dr inż. Agnieszki Goździewskiej-Nowickiej za zaangażowanie, konstruktywne uwagi, pomoc w porządkowaniu koncepcji badawczej oraz wsparcie w nadaniu rozprawie spójnego kształtu formalnego i merytorycznego.

Dziękuję również koleżankom i kolegom ze środowiska akademickiego, w szczególności osobom, które wspierały mnie dobrym słowem, rozmową, radą oraz motywacją na kolejnych etapach pracy nad rozprawą.

Dziękuję za poświęcony czas oraz inspirujące rozmowy, które miały istotne znaczenie dla ostatecznego kształtu rozprawy.

Dziękuję moim najbliższym za obecność, która w czasie pracy nad rozprawą pozwalała mi nie tracić z oczu tego, co najważniejsze.

WYKAZ SKRÓTÓW, SYMBOLI I JEDNOSTEK

ARE	Agencja Rynku Energii S.A
BG	elektrownia biogazowa
BM	elektrownia biomasowa
CSR	społeczna odpowiedzialność biznesu (corporate social responsibility)
ITPO	instalacja termicznego przekształcania odpadów
KPEiK	Krajowy plan na rzecz energii i klimatu (na lata 2021–2030)
OECD	Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (Organization for Economic Co-operation and Development)
OZE	odnawialne źródła energii (renewable energy sources)
PEP2040	Polityka Energetyczna Polski do 2040 r.
PSEW	Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej
PVA/PV	elektrownia fotowoltaiczna
PZPPOM	Plan Zagospodarowania Przestrzennego Polskich Obszarów Morskich
RED	dyrektywa o odnawialnych źródłach energii (Renewable Energy Directive)
SIPAM	System Informacji Przestrzennej Administracji Morskiej
UE	Unia Europejska (European Union)
URE	Urząd Regulacji Energetyki
WAM	scenariusz “with additional measures” (z dodatkowymi środkami); część projektu aktualizacji KPEiK 2021–2030, zakłada przyspieszenie dekarbonizacji i realizację zobowiązań pakietu Fit for 55
WIL	elektrownia wiatrowa
WO	elektrownia wodna
WS	instalacja współpalająca paliwa kopalne i biomasę lub biogaz
ZR	zrównoważony rozwój

SPIS TREŚCI

WSTĘP	9
1. PRZEDSIĘBIORSTWA SEKTORA OZE W POLSCE – UWARUNKOWANIA I STRUKTURA ZASOBÓW	13
1.1. REGULACYJNE ASPEKTY ZARZĄDZANIA PRZEDSIĘBIORSTWAMI SEKTORA OZE W POLSCE I UNII EUROPEJSKIEJ	13
1.2. UWARUNKOWANIA FUNKCJONOWANIA I ROZWOJU PRZEDSIĘBIORSTW OZE W POLSCE.....	24
1.2.1. Udział OZE w sektorze energetycznym	24
1.2.2. Struktura technologiczna OZE a profile działalności przedsiębiorstw sektora... ..	30
1.2.3. Produkcja energii w województwie kujawsko-pomorskim na tle innych województw w Polsce	66
1.3. REGIONALNE UWARUNKOWANIA I KIERUNKI ROZWOJU PRZEDSIĘBIORSTW SEKTORA OZE W WOJEWÓDZTWIE KUJAWSKO-POMORSKIM.....	69
1.4. WYZWANIA ZARZĄDCZE I BARIERY ROZWOJU PRZEDSIĘBIORSTW SEKTORA OZE	73
2. EKONOMICZNO-ORGANIZACYJNY OBSZAR ZARZĄDZANIA KOSZTAMI SPOŁECZNYMI W PRZEDSIĘBIORSTWACH SEKTORA OZE..	78
2.1. TEORIE ODPOWIEDZIALNEGO I ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU PRZEDSIĘBIORSTW JAKO PODSTAWA ZARZĄDZANIA KOSZTAMI SPOŁECZNYMI	78
2.2. STRUKTURA I SKŁADOWE KOSZTÓW EKONOMICZNYCH W SEKTORZE OZE	87
2.2.1. Koszty inwestycyjne jako determinanta decyzji zarządczych i rozwoju przedsiębiorstw sektora OZE	87
2.2.2. Koszty operacyjne i eksploatacyjne instalacji OZE	93
2.2.3. Nakłady na ograniczanie kosztów społecznych.....	96
2.3. ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI JAKO NARZĘDZIE ZARZĄDZANIA INWESTYCJAMI W PRZEDSIĘBIORSTWACH SEKTORA OZE.....	98
2.4. CZYNNIKI RYNKOWE I FINANSOWE KSZTAŁTUJĄCE KOSZTY SPOŁECZNE OZE	103
2.5. ODDZIAŁYWANIE PRZEDSIĘBIORSTW SEKTORA OZE NA GOSPODARKE LOKALNĄ I REGIONALNĄ	110

2.6.	MAGAZYNOWANIE ENERGII JAKO WARUNEK ZARZĄDZANIA SPOŁECZNYMI KOSZTAMI TRANSFORMACJI ENERGETYCZNEJ	116
3.	ŚRODOWISKOWY OBSZAR ZARZĄDZANIA KOSZTAMI SPOŁECZNYMI W PRZEDSIĘBIORSTWACH OZE	122
3.1.	BEZPIECZEŃSTWO ŚRODOWISKOWE W ZARZĄDZANIU PRZEDSIĘBIORSTWAMI SEKTORA OZE	122
3.2.	ODDZIAŁYWANIE INWESTYCJI OZE NA EKOSYSTEM I KRAJOBRAZ	128
3.2.1.	Wpływ instalacji OZE na ekosystem.....	129
3.2.2.	Oddziaływanie wizualne instalacji energetyki odnawialnej	133
3.3.	WPLYW ELEKTROWNI OZE NA ZASOBY WODNE	136
3.3.1.	Oddziaływanie hydroenergetyki na zasoby wodne	136
3.3.2.	Zużycie wody w elektrowniach geotermalnych	142
3.3.3.	Zużycie wody w elektrowniach biomasowych.....	144
3.3.4.	Ochrona zasobów wodnych a rozwój OZE	149
3.4.	ŚLAD WĘGLOWY I EMISYJNOŚĆ TECHNOLOGII OZE JAKO OBSZAR ZARZĄDZANIA ŚRODOWISKOWEGO	152
3.5.	REKULTYWACJA I UTYLIZACJA INSTALACJI OZE JAKO OBSZAR ODPOWIEDZIALNOŚCI ŚRODOWISKOWEJ PRZEDSIĘBIORSTW	155
4.	SPOŁECZNO-ZDROWOTNY OBSZAR ZARZĄDZANIA KOSZTAMI SPOŁECZNYMI W PRZEDSIĘBIORSTWACH SEKTORA OZE	167
4.1.	TEORETYCZNE UJĘCIE EFEKTÓW ZEWNĘTRZNYCH W ZARZĄDZANIU KOSZTAMI SPOŁECZNYMI OZE	167
4.2.	SPRAWIEDLIWOŚĆ ENERGETYCZNA JAKO KONTEKST ZARZĄDZANIA KOSZTAMI SPOŁECZNYMI OZE	171
4.3.	ZDROWOTNE KONSEKWENCJE TRANSFORMACJI ENERGETYCZNEJ JAKO KONTEKST KOSZTÓW SPOŁECZNYCH	173
4.4.	AKCEPTACJA SPOŁECZNA I POSTAWY WOBEC OZE JAKO WYZWANIE ZARZĄDCZE PRZEDSIĘBIORSTW	184
4.5.	INSTRUMENTY ZARZĄDZANIA SPOŁECZNYMI I ZDROWOTNYMI KOSZTAMI TRANSFORMACJI ENERGETYCZNEJ..	191
5.	METODYKA BADAŃ EMPIRYCZNYCH	195
5.1.	ZAŁOŻENIA BADAŃ I LUKA BADAWCZA	195
5.2.	CELE, PYTANIA BADAWCZE I HIPOTEZY	198
5.3.	PRZEDMIOT I PODMIOT BADAŃ	201

5.4.	WYBÓR METOD BADANIA	202
5.4.1.	Dobór próby i organizacja badania.....	202
5.4.2.	Metody i techniki badawcze	203
5.4.3.	Narzędzia badawcze	203
5.5.	OPERACJONALIZACJA ZMIENNYCH I KONSTRUKCJA WSKAŹNIKÓW	205
5.5.1.	Operacjonalizacja zmiennych w badaniu przedsiębiorstw	205
5.5.2.	Operacjonalizacja zmiennych w badaniu społecznym	208
5.6.	METODY ANALIZY DANYCH.....	210
5.6.1.	Analiza danych w badaniu przedsiębiorstw.....	210
5.6.2.	Analiza danych w badaniu społecznym.....	211
6.	ANALIZA EMPIRYCZNA ZARZĄDZANIA KOSZTAMI SPOŁECZNYMI W PRZEDSIĘBIORSTWACH SEKTORA OZE W WOJEWÓDZTWIE KUJAWSKO-POMORSKIM.....	213
6.1.	PRZEDSIĘBIORSTWA SEKTORA OZE W WOJEWÓDZTWIE KUJAWSKO-POMORSKIM – ANALIZA ILOŚCIOWA I JAKOŚCIOWA	213
6.2.	CHARAKTERYSTYKA BADANYCH PRZEDSIĘBIORSTW	231
6.3.	ŚWIADOMOŚĆ ZARZĄDZANIA KOSZTAMI SPOŁECZNYMI	234
6.4.	EKONOMICZNY WYMIAR ZARZĄDZANIA KOSZTAMI SPOŁECZNYMI.....	237
6.5.	ŚRODOWISKOWY WYMIAR ZARZĄDZANIA KOSZTAMI SPOŁECZNYMI.....	253
6.6.	ZDROWOTNO-SPOŁECZNY WYMIAR ZARZĄDZANIA KOSZTAMI SPOŁECZNYMI	260
6.7.	MODEL ZARZĄDZANIA KOSZTAMI SPOŁECZNYMI W PRZEDSIĘBIORSTWACH SEKTORA OZE.....	274
7.	ANALIZA EMPIRYCZNA OPINII MIESZKAŃCÓW WOJEWÓDZTWA KUJAWSKO-POMORSKIEGO	292
7.1.	CHARAKTERYSTYKA BADANEJ PRÓBY MIESZKAŃCÓW WOJEWÓDZTWA KUJAWSKO-POMORSKIEGO	292
7.2.	POZIOM WIEDZY MIESZKAŃCÓW WOJEWÓDZTWA KUJAWSKO-POMORSKIEGO O ENERGETYCE ODNAWIALNEJ	295
7.3.	ŚWIADOMOŚĆ MIESZKAŃCÓW WOJEWÓDZTWA KUJAWSKO-POMORSKIEGO ZWIĄZANA Z KOSZTAMI SPOŁECZNYMI ENERGETYKI OZE.....	299

7.4. DOŚWIADCZENIA MIESZKAŃCÓW WOJEWÓDZTWA KUIJSKO-POMORSKIEGO ZWIĄZANE Z LOKALIZACJĄ INSTALACJI OZE W NAJBLIŻSZYM OTOCZENIU	303
7.5. PORÓWNANIE OCEN PRZEDSIĘBIORSTW I MIESZKAŃCÓW ..	307
7.6. MODEL SPOŁECZNEJ AKCEPTACJI INWESTYCJI OZE W WOJEWÓDZTWIE KUJAWSKO-POMORSKIM	310
ZAKOŃCZENIE	320
LITERATURA	337
SPIS TABEL	390
SPIS RYSUNKÓW	394
SPIS FOTOGRAFII	397
STRESZCZENIE	398
ABSTRACT	399
ZAŁĄCZNIKI	400

WSTĘP

Transformacja energetyczna jest jednym z kluczowych procesów społeczno-gospodarczych współczesnej gospodarki. Rozwój odnawialnych źródeł energii stanowi odpowiedź na potrzebę ograniczania emisji gazów cieplarnianych, wzmacniania bezpieczeństwa energetycznego oraz uniezależniania gospodarki od paliw kopalnych. W tym ujęciu sektor OZE jest najczęściej postrzegany jako obszar pozytywnych zmian technologicznych, środowiskowych i ekonomicznych. Jednocześnie jego rozwój nie jest procesem pozbawionym kosztów, napięć i skutków ubocznych. Inwestycje w odnawialne źródła energii oddziałują nie tylko na środowisko przyrodnicze, lecz także na przestrzeń lokalną, zdrowie, komfort życia mieszkańców, relacje społeczne oraz sposób funkcjonowania przedsiębiorstw.

Z tego względu coraz większego znaczenia nabiera problem zarządzania kosztami społecznymi związanymi z działalnością przedsiębiorstw sektora OZE. Koszty te mogą obejmować skutki ekonomiczno-organizacyjne, środowiskowe, społeczne, zdrowotne oraz przestrzenne. Ich specyfika polega na tym, że nie zawsze są one bezpośrednio widoczne w rachunku ekonomicznym przedsiębiorstwa, ale mogą wpływać na poziom akceptacji społecznej inwestycji, relacje z interesariuszami, stabilność prowadzenia działalności oraz długofalową trwałość rozwoju sektora OZE.

W literaturze przedmiotu wiele miejsca poświęca się technologicznym, ekonomicznym i środowiskowym aspektom rozwoju odnawialnych źródeł energii. Słabiej rozpoznany pozostaje jednak problem zarządzania kosztami społecznymi tego procesu na poziomie przedsiębiorstw. W szczególności brakuje ujęć, które łączyłyby ekonomiczno-organizacyjne, środowiskowe i społeczno-zdrowotne aspekty kosztów społecznych z kategorią zaawansowania zarządzania. Istotne staje się zatem pytanie czy przedsiębiorstwa sektora OZE jedynie reagują na pojawiające się problemy i konflikty społeczne, czy też systemowo uwzględniają te koszty już na etapie planowania, realizacji i monitorowania inwestycji.

Przyjęcie perspektywy zaawansowania zarządzania pozwala spojrzeć na przedsiębiorstwa sektora OZE nie tylko przez pryzmat realizowanych inwestycji, lecz także przez sposób organizacji procesów decyzyjnych, poziom monitorowania skutków działalności, zdolność do identyfikowania ryzyk oraz podejmowanie działań wobec otoczenia społecznego. Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi można zatem rozumieć jako zdolność przedsiębiorstwa do świadomego, systemowego i wielowymiarowego uwzględniania skutków swojej działalności dla interesariuszy, środowiska i przestrzeni lokalnej.

Przedmiotem niniejszej pracy jest zarządzanie kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora odnawialnych źródeł energii. Szczególną uwagę poświęcono trzem obszarom tego zagadnienia: ekonomiczno-organizacyjnemu, środowiskowemu oraz społeczno-zdrowotnemu. Województwo kujawsko-pomorskie przyjęto jako obszar badań ze względu na rozwój sektora OZE, zróżnicowanie przestrzenne i gospodarcze regionu oraz znaczenie odnawialnych źródeł energii w regionalnych procesach transformacji energetycznej.

Zakres empiryczny pracy obejmował badania ankietowe przeprowadzone wśród przedsiębiorstw sektora OZE oraz mieszkańców województwa kujawsko-

pomorskiego w okresie od kwietnia do czerwca 2025 roku. Ze względu na przekrojowy charakter badań uzyskane wyniki przedstawiają stan zarządzania kosztami społecznymi, percepcji tych kosztów oraz akceptacji społecznej inwestycji OZE w analizowanym okresie. Dla pogłębienia kontekstu badawczego wykorzystano również dane wtórne, w tym statystyki publiczne, raporty branżowe oraz dokumenty strategiczne i regulacyjne. Dane te, w zależności od dostępności źródeł, obejmowały lata 2005–2026 i umożliwiły odniesienie wyników badań własnych do szerszych procesów transformacji energetycznej zachodzących w Polsce i regionie kujawsko-pomorskim.

Głównym celem pracy jest identyfikacja obszarów kształtujących koszty społeczne przedsiębiorstw sektora OZE oraz opracowanie i empiryczna weryfikacja modelu zaawansowania zarządzania tymi kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE. Realizacja tego celu wymagała identyfikacji kierunków rozwoju OZE w województwie kujawsko-pomorskim, określenia znaczenia kosztów społecznych, w tym zdrowotnych i przestrzennych, analizy działań kompensacyjnych wobec otoczenia społecznego, oceny roli monitoringu wskaźników środowiskowych oraz zbadania społecznej percepcji kosztów, ryzyk i korzyści wynikających z rozwoju inwestycji OZE.

Na potrzeby realizacji celu głównego wyznaczono również cele szczegółowe:

C1. Diagnoza zgodności kierunku i dynamiki rozwoju OZE w województwie kujawsko-pomorskim z priorytetami polityki energetycznej UE i Polski, a szczególnie:

- zidentyfikowanie kluczowych celów i priorytetów polityki energetycznej UE i Polski dotyczące OZE;
- określenie dynamiki, struktury i kierunków rozwoju OZE w województwie kujawsko-pomorskim w badanym okresie.

C2. Określenie znaczenia obszaru finansowego, obejmującego finansowanie działań kompensacyjnych i koszty rekompensat, dla podniesienia poziomu zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE, w szczególności:

- wyodrębnienie komponentu określającego obszar finansowania działań kompensacyjnych i kosztów rekompensat na podstawie wyników badań ankietowych przedsiębiorstw;
- ocena zależności między finansowaniem i kosztami rekompensat a poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi oraz działaniami społecznymi, edukacyjnymi, komunikacyjnymi i kompensacyjnymi podejmowanymi przez przedsiębiorstwa sektora OZE.

C3. Określenie znaczenia obszaru środowiskowego jako komponentu zarządzania kosztami społecznymi przedsiębiorstw sektora OZE, a szczególnie:

- wyodrębnienie komponentu określającego obszar środowiskowy na podstawie wyników badań ankietowych przedsiębiorstw;
- ocena zależności między komponentem środowiskowym a poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi;
- określenie znaczenia zarządzania środowiskowego w podnoszeniu zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi;

- identyfikacja elementów obszaru środowiskowego w największym stopniu kształtujących poziom zaawansowania zarządzania.

C4. Określenie znaczenie obszaru społeczno-zdrowotnego jako komponentu zarządzaniu kosztami społecznymi przedsiębiorstw sektora OZE, a szczególnie:

- wyodrębnienie komponentu społeczno-zdrowotnego zarządzania kosztami społecznymi;
- ocena jego związku z poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi;
- określenie znaczenia kosztów społecznych i zdrowotnych w planowaniu inwestycji;
- ocena ryzyk zdrowotno-przestrzennych w diagnozie zaawansowania zarządzania.

C5. Określenie znaczenia wybranych czynników społecznych dla poziomu akceptacji inwestycji OZE wśród mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego, w szczególności:

- identyfikacja czynników społecznych związanych z akceptacją inwestycji OZE;
- ocena znaczenia postrzeganych kosztów społecznych dla poziomu akceptacji inwestycji OZE;
- określenie roli zaufania do przedsiębiorstw OZE oraz oceny ich działań w kształtowaniu akceptacji społecznej;
- rozpoznanie znaczenia działań kompensacyjnych i komunikacyjnych dla społecznej oceny inwestycji OZE.

Praca ma charakter teoretyczno-empiryczny. Jej wkład polega na systematyzacji problematyki kosztów społecznych w sektorze OZE oraz na zaprojektowaniu modelu zaawansowania zarządzania tymi kosztami, obejmującego wymiar ekonomiczno-organizacyjny, środowiskowy oraz społeczno-zdrowotny. Takie ujęcie pozwala przejść od ogólnej oceny skutków rozwoju OZE do analizy zdolności przedsiębiorstw do ich systemowego rozpoznawania, monitorowania i ograniczania.

W pracy przyjęto, że zarządzanie kosztami społecznymi nie powinno być traktowane wyłącznie jako działanie naprawcze lub wizerunkowe, lecz jako element podnoszenia poziomu zaawansowania zarządzania nimi w przedsiębiorstwach sektora OZE. Szczególne znaczenie przypisano w tym zakresie monitoringowi wskaźników środowiskowych, systemowemu uwzględnianiu skutków społeczno-zdrowotnych oraz działaniom podejmowanym wobec interesariuszy lokalnych.

W części empirycznej wykorzystano wyniki badań kwestionariuszowych przeprowadzonych wśród przedsiębiorstw sektora OZE oraz mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego. W analizie danych zastosowano metodę głównych składowych, analizę korelacji, analizę regresji oraz modelowanie PLS-SEM. Pozwoliło to na ocenę zależności między obszarami kosztów społecznych a poziomem zaawansowania zarządzania oraz zidentyfikowanymi czynnikami wpływającymi na akceptację społeczną inwestycji OZE.

Struktura pracy została podporządkowana przyjętej logice badawczej. W pierwszych rozdziałach przedstawiono podstawy teoretyczne oraz uwarunkowania rozwoju sektora OZE, a następnie scharakteryzowano ekonomiczno-organizacyjne, środowiskowe oraz społeczno-zdrowotne aspekty kosztów społecznych.

Kolejne rozdziały poświęcono metodyce badań własnych, analizie wyników oraz weryfikacji przyjętych hipotez. W zakończeniu przedstawiono syntetyczną ocenę realizacji celów badawczych, wyniki weryfikacji hipotez, wnioski poznawcze i aplikacyjne oraz ograniczenia przeprowadzonych badań.

Podjęta problematyka ma znaczenie zarówno teoretyczne, jak i praktyczne. Z perspektywy nauk o zarządzaniu i jakości praca wpisuje się w dyskusję dotyczącą społecznej odpowiedzialności przedsiębiorstw, zarządzania interesariuszami oraz zarządzania skutkami transformacji energetycznej. Z perspektywy praktycznej wyniki badań mogą wspierać przedsiębiorstwa sektora OZE w lepszym rozpoznawaniu kosztów społecznych, ograniczaniu ryzyk zdrowotno-przestrzennych, wzmacnianiu akceptacji społecznej oraz doskonaleniu procesów zarządzania w warunkach dynamicznych zmian energetycznych.

1. PRZEDSIĘBIORSTWA SEKTORA OZE W POLSCE – UWARUNKOWANIA I STRUKTURA ZASOBÓW

1.1. REGULACYJNE ASPEKTY ZARZĄDZANIA PRZEDSIĘBIORSTWAMI SEKTORA OZE W POLSCE I UNII EUROPEJSKIEJ

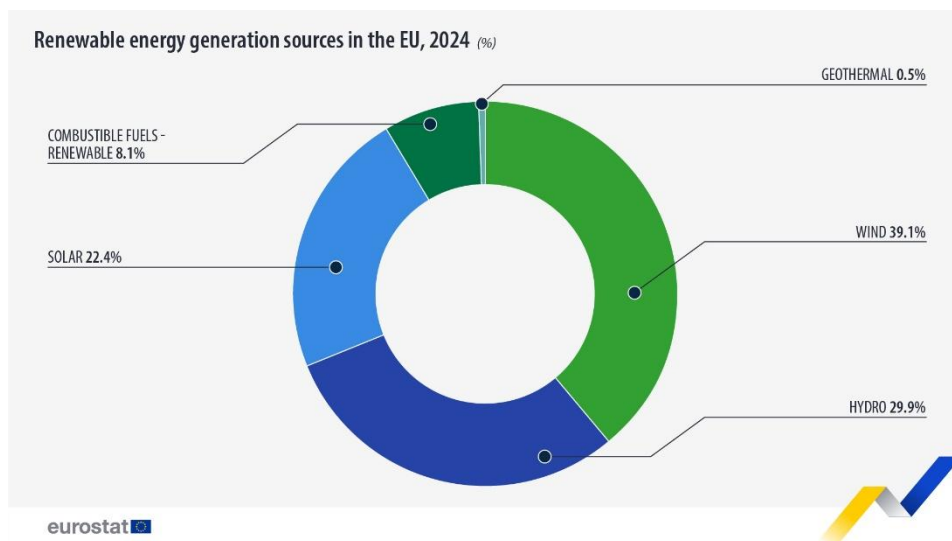
Odnawialne źródła energii zyskują na znaczeniu w światowym systemie energetycznym, co jest odpowiedzią na rosnące wyzwania związane z degradacją środowiska, zmianami klimatycznymi oraz ograniczoną dostępnością paliw kopalnych. W skali międzynarodowej obserwuje się intensywne działania państw zmierzające do redukcji emisji gazów cieplarnianych poprzez stopniową przebudowę sektorów energetycznych w kierunku bardziej zrównoważonych i niskoemisyjnych technologii wytwarzania energii¹.

Energia pochodząca ze źródeł odnawialnych odgrywa istotną rolę nie tylko w kontekście ochrony środowiska naturalnego, lecz również jako czynnik stymulujący rozwój gospodarki lokalnej, generujący nowe miejsca pracy oraz przyczyniający się do poprawy jakości życia społeczności. Zgodnie z danymi Eurostatu, w 2024 roku odnawialne źródła energii odpowiadały za 47,3% wytwarzania energii elektrycznej w Unii Europejskiej², co stanowi wzrost o 7,7% w porównaniu z rokiem 2023. W ujęciu całkowitej podaży energii – obejmującej również ciepłownictwo, transport oraz sektor przemysłowy – odnotowano wzrost o 3,4%, do poziomu około 11,3 mln TJ. Dane te potwierdzają dalsze umacnianie się odnawialnych źródeł energii jako kluczowego filaru unijnego systemu energetycznego. Głównym źródłem tego wzrostu były technologie wykorzystujące energię wiatrową i słoneczną. Również w Europie, w tym w Polsce, obserwuje się przyspieszenie rozwoju sektora OZE, co jest efektem sprzyjającej polityki energetycznej oraz intensywnych nakładów inwestycyjnych w nowoczesne rozwiązania technologiczne³.

¹ International Renewable Energy Agency (IRENA), *Renewable energy and jobs: Annual review 2023*, 2023 r.

² Eurostat, *Electricity from renewable sources reaches 47% in 2024*, 2025 r., <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20250319-1>.

³ Eurostat, *Renewable energy supply grew by 3.4% in 2024*, 2025 r., <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20250702-1>.



Rys. 1. Udział poszczególnych źródeł energii odnawialnej w produkcji energii odnawialnej ogółem w Unii Europejskiej w 2024 roku

Źródło: Eurostat, *Electricity from renewable sources reaches 47% in 2024*, 2025 r., <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20250319-1> (dostęp: 11.08.2025)

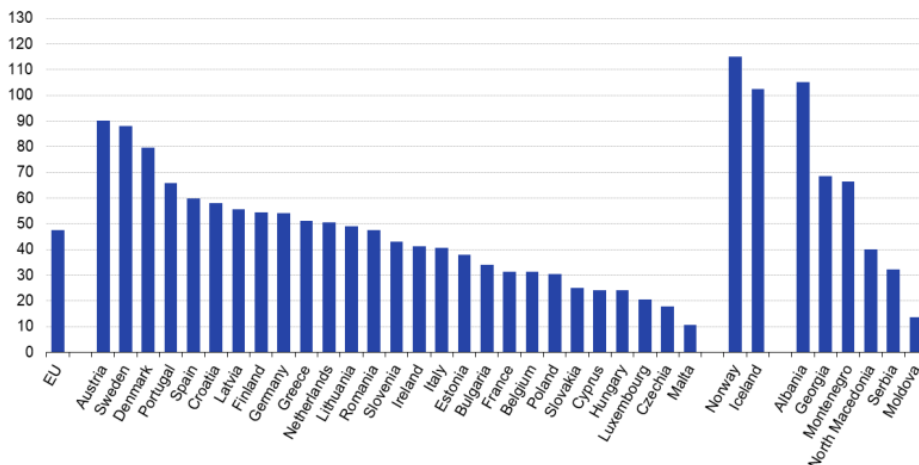
W maju 2025 roku w krajach OECD wytwarzanie energii elektrycznej z odnawialnych źródeł wzrosło o 6,0% rok do roku, co odpowiada przyrostowi o 20,2 TWh. Szczególnie dynamiczny wzrost odnotowano w przypadku energii słonecznej, której produkcja zwiększyła się o 20,7% w porównaniu z analogicznym okresem roku poprzedniego, co stanowi dodatkowe 19,0 TWh. Produkcja energii z wiatru również wzrosła – o 8,4% rok do roku, czyli o 7,0 TWh. Tendencja ta była w głównej mierze napędzana przez kraje OECD w Europie, gdzie wytwarzanie energii elektrycznej z wiatru zwiększyło się o 20,3% rok do roku (o 7,1 TWh), przy czym największy udział we wzroście miały Niemcy (+1,8 TWh), Wielka Brytania (+1,6 TWh) oraz Szwecja (+1,1 TWh)⁴.

Udział odnawialnych źródeł energii w końcowym zużyciu energii brutto według sektorów w poszczególnych krajach europejskich w 2024 roku przedstawiono na rysunku 2. Według danych Eurostatu w 2024 r. udział energii ze źródeł odnawialnych w zużyciu energii elektrycznej brutto w Unii Europejskiej wyniósł 47,5%. Najwyższe wartości wśród państw UE odnotowano w Austrii, Szwecji i Danii, natomiast najniższe w Malcie, Czechach i na Węgrzech. Dane wskazują na istotne zróżnicowanie poziomu wykorzystania OZE w elektroenergetyce pomiędzy krajami, co wynika m.in. z odmiennych uwarunkowań geograficznych, struktury miksu

⁴ International Energy Agency (IEA), *Monthly Electricity Statistics*, 2025 r., https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/monthly-electricity-statistics?utm_campaign=IEA+newsletters&utm_medium=Email&utm_source=SendGrid. (data dostępu: 15.08.2025)

energetycznego oraz polityk energetycznych. Zestawienie zaktualizowane będzie w grudniu 2026 roku⁵.

Share of energy from renewable sources in gross electricity consumption, 2024 (%)



Source: Eurostat (online data code: nrg_ind_ren)

eurostat

Rys. 2. Udział odnawialnych źródeł energii w zużyciu energii ogółem w 2024 roku
Źródło: Eurostat - https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics#Wind_and_water_provide_most_renewable_electricity.3B_solar_is_the_fastest-growing_energy_source (dostęp: 16.12.2025)

W kontekście nasilających się zmian klimatycznych oraz rosnących zagrożeń dla bezpieczeństwa energetycznego, proces transformacji energetycznej urasta do rangi jednego z kluczowych wyzwań współczesnej polityki międzynarodowej. Unia Europejska, odpowiadając na te wyzwania, już w pakiecie klimatyczno-energetycznym z 2007 roku wyznaczyła konkretne cele ilościowe dotyczące wzrostu udziału odnawialnych źródeł energii w miksie energetycznym, traktując je jako narzędzie walki ze zmianami klimatycznymi⁶.

Z czasem znaczenie OZE w polityce unijnej wyraźnie wzrosło, co było wynikiem nie tylko rosnącej świadomości ekologicznej, lecz także obaw o bezpieczeństwo dostaw energii w warunkach napięć geopolitycznych i potrzeby ograniczenia zależności od paliw kopalnych. Polityka UE przyjmuje podejście wielowymiarowe, łącząc aspekty środowiskowe z gospodarczymi, tak aby wspieranie wzrostu i konkurencyjności gospodarki europejskiej nie odbywało się kosztem integralności

⁵ Eurostat, *Share of renewable energy in gross final energy consumption by sector*, 2025 r., https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/SDG_07_40_custom_4634107/bookmark/ba?lang=en&bookmarkId=56854ab7-bdb6-45e8-842f-cd2f15311c53.

⁶ G. Szczubelek, *Perspectives for energy development in Poland and in the European Union in the context of the European Green Deal: renewable energy and energy efficiency*, „Olsztyn Economic Journal” t. 17 nr 2 (2022), DOI: 10.31648/oiej.8934, <https://czasopisma.uwm.edu.pl/index.php/oiej/article/view/8934>.

ekologicznej, lecz sprzyjało realizacji idei zrównoważonego rozwoju⁷. Zarówno na szczeblu globalnym, jak i w ramach Unii Europejskiej, wyznaczane są ambitne cele klimatyczno-energetyczne⁸, zakładające m.in. osiągnięcie neutralności klimatycznej w połowie XXI wieku (Europejski Zielony Ład)⁹.

Dyrektywa w sprawie energii odnawialnej (RED) stanowi jeden z kluczowych instrumentów prawnych Unii Europejskiej wspierających transformację energetyczną i realizację celów klimatycznych¹⁰. Jej druga wersja, RED II, przyjęta w 2018 roku w ramach pakietu „Czysta energia dla wszystkich Europejczyków”, ustanowiła wiążący cel minimum 32% udziału odnawialnych źródeł w końcowym zużyciu energii do 2030 roku oraz wprowadziła nowe mechanizmy wzmacniające pozycję prosumentów i wspólnot energetycznych, a także uproszczenia administracyjne sprzyjające inwestycjom¹¹. W obliczu zaostżenia polityki klimatycznej UE w ramach pakietu „Fit for 55” (redukcja emisji gazów cieplarnianych aż o 55% do roku 2030 względem roku 1990¹²), dyrektywę zrewidowano, przyjmując w 2023 roku RED III, która podniosła unijny cel OZE do 42,5% w 2030 roku, z możliwością osiągnięcia 45%¹³. W odpowiedzi na te wyzwania Unia Europejska opracowała prognozę struktury miksu energetycznego do 2050 roku, która przewiduje istotną transformację w zakresie stosowanych paliw w państwach członkowskich, połączoną z wyraźnym wzrostem wytwarzania energii elektrycznej w perspektywie najbliższych trzech dekad (rys. 3).

⁷ Y. Bilan i in., *Linking between Renewable Energy, CO2 Emissions, and Economic Growth: Challenges for Candidates and Potential Candidates for the EU Membership*, „Sustainability” t. 11 nr 6 (2019), DOI: 10.3390/su11061528, <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/6/1528>.

⁸ T. Adamczewski, J. Wójcik, *Zrozumieć cele OZE*, 2023 r.

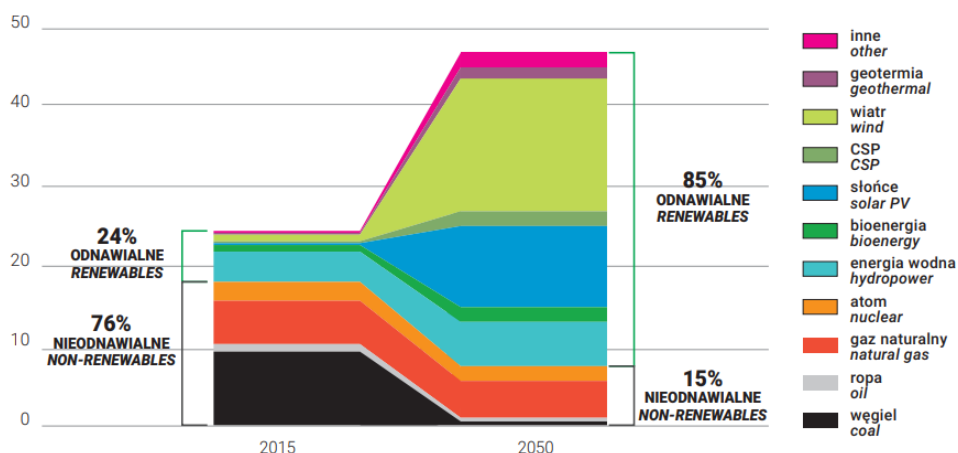
⁹ European Union, *Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council* [w:] 2021.

¹⁰ European Commission, *Renewable Energy Directive*, 2024 r., https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en.

¹¹ European Union, *Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council* [w:] 2018.

¹² Zarząd Województwa Kujawsko-Pomorskiego, *Raport o stanie województwa kujawsko-pomorskiego w 2024 r.*, 2025 r.

¹³ European Union, *Directive 2023/2413 of the European Parliament and of the Council* [w:] 2023.



Rys. 3. Prognozowana struktura miksu energetycznego Unii Europejskiej do 2050 roku
Źródło: IEEE Access

Wspomniane dyrektywy wprowadziły także zmienione zasady kalkulacji udziału OZE w końcowym zużyciu energii brutto, obowiązujące od 2021 r. W odpowiedzi Polska przedłożyła 30 grudnia 2019 r. Komisji Europejskiej „Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030”, w którym określono kluczowe zobowiązania w zakresie rozwoju odnawialnych źródeł energii. Dokument zakłada m.in. osiągnięcie 21% udziału energii odnawialnej w końcowym zużyciu energii brutto oraz co najmniej 14% udziału energii odnawialnej w końcowym zużyciu energii w sektorze transportu¹⁴.

Dyrektywy te, poprzez wyznaczanie wiążących celów i wspólnych ram działania, odgrywają zasadniczą rolę w harmonizacji polityk krajowych, przyspieszając integrację odnawialnych źródeł energii w europejskim systemie energetycznym oraz wzmacniając pozycję Unii Europejskiej jako globalnego lidera w obszarze transformacji niskoemisyjnej¹⁵. Realizacja unijnych celów w zakresie odnawialnych źródeł energii jest wspierana poprzez różnorodne mechanizmy finansowe i pozafinansowe (regulacje, ułatwienia proceduralne, wymogi prawne, narzędzia koordynacyjne, mechanizmy współpracy między państwami, tworzenie wspólnot energetycznych¹⁶), które mają na celu zarówno ułatwienie transformacji w państwach członkowskich, jak i wspieranie krajów kandydujących do UE¹⁷.

Instrumenty te tworzą warunki sprzyjające rozwojowi technologii i praktyk zrównoważonej energetyki, szczególnie w regionach opóźnionych we wdrażaniu

¹⁴ Główny Urząd Statystyczny, *Energia ze źródeł odnawialnych w 2023 r.*, (2024).

¹⁵ C.F. Suling i in., *The Influence of “Renewable Energy Directive II” Policy for The Sustainability of Palm Oil Industry in Indonesia*, „Journal of Governance” t. 8 nr 3 (2023), DOI: 10.31506/jog.v8i3.19930, <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jog/article/view/19930>.

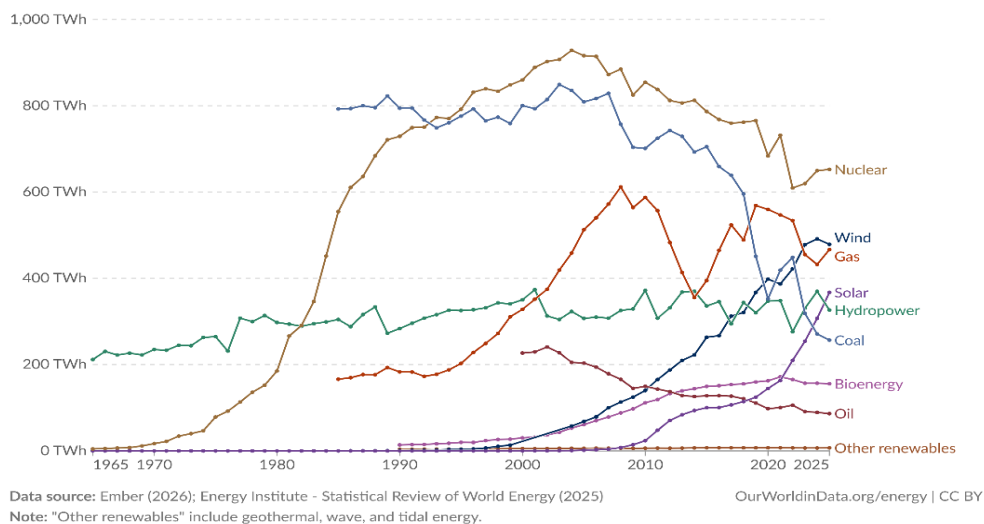
¹⁶ M. Krug i in., *Implementing European Union Provisions and Enabling Frameworks for Renewable Energy Communities in Nine Countries: Progress, Delays, and Gaps*, „Sustainability” t. 15 nr 11 (2023), DOI: 10.3390/su15118861, <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/11/8861>.

¹⁷ Y. Bilan i in., *Linking between Renewable Energy, CO2 Emissions, and Economic Growth: Challenges for Candidates and Potential Candidates for the EU Membership...*

OZE, a jednocześnie wzmacniają zbiorową odpowiedzialność za realizację globalnych zobowiązań środowiskowych¹⁸. Jest to potrzebne działanie, gdyż państwa członkowskie napotykają istotne trudności we wdrażaniu unijnych dyrektyw, szczególnie w obszarze uzgadniania zrównoważonych praktyk oraz zapewniania zgodności z obowiązującymi regulacjami. Analizy pokazują znaczące różnice w efektywności implementacji i dostosowywania przepisów UE pomiędzy poszczególnymi krajami, co wskazuje na potrzebę podejmowania działań ukierunkowanych na wsparcie instytucjonalne i rozwój zdolności implementacyjnych¹⁹. W tym kontekście, wraz z podejmowanymi przez państwa członkowskie wysiłkami na rzecz realizacji wspólnego celu, jakim jest zrównoważona energetyka, zasadniczego znaczenia nabiera pogłębiona współpraca obejmująca wymianę najlepszych praktyk, rozwój wspólnych technologii oraz koordynację strategicznych inwestycji w odnawialne źródła energii. Takie podejście będzie kluczowe dla utrzymania wiodącej roli Unii Europejskiej w globalnym procesie transformacji energetycznej²⁰. Produkcja energii elektrycznej wg źródła w UE na przestrzeni lat 1965-2025 została przedstawiona na rysunku 4.

Electricity production by source, European Union (27)

Measured in terawatt-hours¹.



Rys. 4. Produkcja energii elektrycznej wg źródła w UE na przestrzeni lat 1965-2025
 Źródło: ourworldindata.org

¹⁸ V. Šafář i in., *The Role of Remote Sensing in Agriculture and Future Vision*, „Agris on-line Papers in Economics and Informatics” t. 14 nr 1 (2022), DOI: 10.7160/aol.2022.140109, <https://online.agris.cz/archive/2022/01/09>.

¹⁹ V. Annibaldi i in., *Renewable Energy Policies: Bibliometric Review and Policy Implications*, „Environmental and Climate Technologies” t. 24 nr 3 (2020), DOI: 10.2478/rtuect-2020-0112, <https://www.sciendo.com/article/10.2478/rtuect-2020-0112>.

²⁰ B. Peyravi i in., *The Circular Economy Practices in the European Union: Eco-Innovation and Sustainable Development*, „Sustainability” t. 16 nr 13 (2024), DOI: 10.3390/su16135473, <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/13/5473>.

W przypadku Polski, której sektor energetyczny wciąż w dużym stopniu opiera się na wykorzystaniu węgla, realizacja tych założeń stanowi istotne wyzwanie, wymagające intensyfikacji inwestycji w odnawialne źródła energii i przyspieszenia ich rozwoju²¹. Jednak Polska nie tylko osiągnęła, lecz nawet przekroczyła wyznaczony na 2020 rok cel dotyczący 15% udziału odnawialnych źródeł energii, uzyskując wynik 16,1% w końcowym zużyciu energii brutto. Już rok później, w 2021 r., odnotowano jednak spadek tego wskaźnika do 15,6%, co wywołało obawy o utrzymanie odpowiedniego tempa rozwoju OZE. W 2022 r. średnia dla całej Unii Europejskiej przekroczyła poziom 23%, a w Polsce ponownie zaobserwowano wzrost – do 16,9%²². Na poprawę tej wartości szczególnie silnie wpłynął dynamiczny rozwój fotowoltaiki, który w ostatnich latach nabrał wyjątkowo dużego znaczenia²³.

Polska polityka energetyczna w 2025 roku kształtowana jest przede wszystkim przez dokument strategiczny „Polityka energetyczna Polski do 2040 roku” (PEP2040), przyjęty w 2021 roku, który wyznacza długofalową wizję transformacji sektora energetycznego w kierunku bezpieczeństwa dostaw, dywersyfikacji źródeł i dostosowania do celów klimatycznych Unii Europejskiej. W ramach tego programu założono m.in. osiągnięcie 32% udziału odnawialnych źródeł energii w produkcji energii elektrycznej do 2030 roku oraz neutralności klimatycznej do połowy XXI wieku. PEP2040 podkreśla konieczność stopniowego odchodzenia od węgla, który historycznie stanowił ponad 70% krajowego miksu energetycznego, na rzecz rozwoju OZE, energetyki jądrowej oraz gazu ziemnego jako paliwa przejściowego. Jednocześnie dokument wskazuje na potrzebę równoważenia procesów transformacyjnych z aspektami społeczno-gospodarczymi, zwłaszcza w regionach silnie uzależnionych od górnictwa, co ma być realizowane poprzez mechanizmy sprawiedliwej transformacji. W rezultacie Polska, jako państwo członkowskie UE, formułuje ambitne cele w zakresie zwiększania roli odnawialnych źródeł energii nie tylko w całkowitym zużyciu energii, ale także w strukturze wytwarzania energii elektrycznej, traktując je jako fundament przyszłego miksu energetycznego²⁴.

W ujęciu długoterminowym państwo deklaruje osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 roku, w pełnej zgodności z celami określonymi w Europejskim Zielonym Ładzie. Realizacja tych ambitnych założeń wymaga intensyfikacji inwestycji w technologie zeroemisyjne, rozbudowy nowoczesnej infrastruktury energetycznej oraz systematycznego ograniczania emisji gazów cieplarnianych we wszystkich obszarach gospodarki²⁵. Równolegle Polska wyznaczyła sobie cel osiągnięcia 56% udziału energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł odnawialnych do 2030 roku. Jest to ambitny kierunek, choć wynik ten pozostaje nieco poniżej

²¹ T. Adamczewski, J. Wójcik, *Zrozumieć cele OZE...*

²² Eurostat, *Share of energy from renewable sources*, (2023), DOI: https://doi.org/10.2908/NRG_IND_REN, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics#Wind_and_water_provide_most_renewable_electricity.3B_solar_is_the_fastest-growing_energy_source.

²³ Instytut Energetyki Odnawialnej, *Rynek fotowoltaiki w Polsce. Fotowoltaika na rynku energii elektrycznej i ciepła*, (2025).

²⁴ Ministerstwo Klimatu i Środowiska, *Polityka energetyczna Polski do 2040 r.* [w:] 2021.

²⁵ Ministry of Climate and Environment, *Energy Policy of Poland until 2040 – 2023 update*, 2023 r.

globalnego scenariusza zeroemisyjnego opracowanego przez Międzynarodową Agencję Energii, który zakłada 60% udziału odnawialnych źródeł energii w światowej produkcji energii elektrycznej w analogicznym horyzoncie czasowym²⁶.

Wybuch wojny w Ukrainie, poprzedzony rosyjskim szantażem gazowym oraz wywołanym przez konflikt kryzysem energetycznym, sprawił, że unijne cele klimatyczne oparte na intensywnym rozwoju odnawialnych źródeł energii (pakiet *Fit for 55*) zostały powiązane z priorytetami w zakresie bezpieczeństwa energetycznego (pakiet *REPowerEU*). W Europie realizacja tych założeń odbywa się przede wszystkim poprzez maksymalne wykorzystanie własnych zasobów OZE, ze szczególnym naciskiem na energię słoneczną²⁷.

W latach 2022–2023 przyjęto szereg inicjatyw politycznych ukierunkowanych na rozwój fotowoltaiki, m.in. *EU Solar Energy Strategy* (Strategię UE na rzecz energii słonecznej), która wyznaczyła ambitny cel osiągnięcia 600 GW mocy zainstalowanej w PV do 2030 r., co oznacza wzrost o 400 GW w porównaniu z 2020 roku²⁸. Istotne znaczenie miały także: *European Solar Rooftops Initiative* (Inicjatywa na rzecz słonecznych dachów) oraz *European Solar Industry Alliance* (program wspierający odbudowę europejskiego przemysłu fotowoltaicznego w ramach REPowerEU), które wytyczały główne kierunki rozwoju sektora PV²⁹.

W 2025 roku odnotowano przyspieszenie transformacji energetycznej Polski. W czerwcu, po raz pierwszy, produkcja energii ze źródeł odnawialnych przewyższyła produkcję energii z węgla. Istotną rolę odegrała energetyka wiatrowa, odpowiadająca za 14% krajowej produkcji czystej energii elektrycznej, natomiast łączny udział energii z wiatru i słońca wyniósł 23%, przekraczając globalną średnią na poziomie 15% odnotowaną w 2024 roku. Na tle państw sąsiednich udział ten wypada zdecydowanie niżej niż w Niemczech, gdzie energia wiatrowa i słoneczna stanowi 43%, lecz jednocześnie jest istotnie wyższy niż np. w Czechach, gdzie osiąga jedynie 6%³⁰.

Na rysunku 5 przedstawiono udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w Polsce i Unii Europejskiej w latach 2016–2023 oraz prognozowane ścieżki realizacji celów politycznych do 2030 roku. Dane historyczne pokazują, że udział OZE w Polsce pozostaje niższy niż średnia unijna – w 2023 r. osiągnął poziom około 17%, podczas gdy w UE 25%. Na tle tych wyników zobrazowano cele wynikające z różnych dokumentów strategicznych:

²⁶ K. Altieri, *2030 Global Renewable Target Tracker*, „Ember-Energy” (2025), <https://ember-energy.org/data/2030-global-renewable-target-tracker/>.

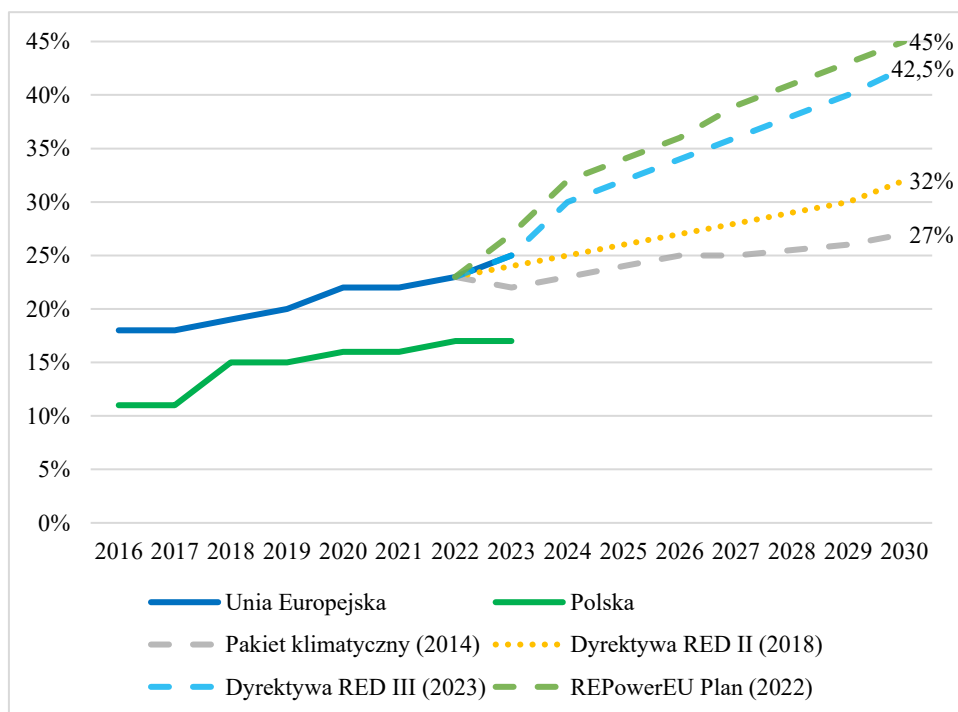
²⁷ European Commission, *REPowerEU Affordable, secure and sustainable energy for Europe*, (2022), https://commission.europa.eu/topics/energy/repowereu_en.

²⁸ A. Widuto, *EU Solar Energy Strategy*, „European Parliament” (2025), <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/package-repowereu-plan/file-eu-solar-strategy>.

²⁹ Solar Power Europe, *Landmark EU Solar Strategy: SolarPower Europe Response*, (2022), <https://www.solarpowereurope.org/press-releases/landmark-eu-solar-strategy-solar-power-europe-response>.

³⁰ P. Czyzak, T. Mindekova, *Poland generated 54% of electricity from coal in 2024, down from 70% just 2 years ago*, „Ember-Energy” (2025), <https://ember-energy.org/countries-and-regions/poland/?utm.com>.

Pakietu klimatyczno-energetycznego z 2014 r. (27%), Dyrektywy RED II z 2018 r. (32%), Dyrektywy RED III z 2023 r. (42,5%) oraz planu REPowerEU z 2022 r. (45%).



Rys. 5. Udział odnawialnych źródeł energii w końcowym zużyciu energii brutto w Polsce i Unii Europejskiej (2016–2030) a cele klimatyczne
Źródło: opracowanie własne

Emisje polskiego sektora energetycznego zmniejszyły się o ok. 30% na przestrzeni ostatnich dwudziestu lat, mimo że w tym czasie rosło zapotrzebowanie na energię elektryczną, a Polska należała do krajów OECD z jednym z najwyższych temp wzrostu PKB. Spadek emisji wiąże się zarówno z dynamicznym rozwojem energetyki wiatrowej i słonecznej, jak i ze stopniowym ograniczaniem produkcji energii z węgla. Mimo że Polska pozostaje drugim co do wielkości producentem węgla w Unii Europejskiej (po Niemczech), odpowiadając za około jedną trzecią jego unijnej produkcji, tempo redukcji udziału tego surowca w krajowym miksie energetycznym jest obecnie szybsze niż u zachodniego sąsiada³¹.

Istotnym wyzwaniem pozostają jednak emisje metanu z kopalń, w których Polska zajmuje pierwsze miejsce w UE – w 2021 roku odpowiadała za blisko dwie trzecie całkowitych emisji tego gazu w sektorze górnictwa węglowego³². Dotychczas skala tych emisji była często niedoszacowywana, jednak sektor górnictwa został już objęty rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1787 w sprawie

³¹ Ibid.

³² S. Assan, *Understanding the EU's Methane Regulation for coal*, „Ember-Energy” (2024), <https://ember-energy.org/latest-insights/eumethane-reg-explained/>.

redukcji emisji metanu w sektorze energetycznym. Rozporządzenie weszło w życie w sierpniu 2024 r., a od 1 stycznia 2025 r. wprowadzono pierwsze szczegółowe obowiązki dotyczące czynnych podziemnych kopalń węgla, obejmujące m.in. ograniczenia w zakresie uwalniania metanu³³.

W lipcu 2025 roku w Polsce przeprowadzono aukcje odnawialnych źródeł energii o łącznym wolumenie 75,9 TWh, z budżetem przekraczającym 31 mld zł. Mechanizm ten miał na celu wsparcie dywersyfikacji krajowego miksu energetycznego poprzez rozwój technologii fotowoltaicznych, wiatrowych, hydroenergetycznych, biopłynowych oraz geotermalnych³⁴. Ostatecznie w ramach aukcji zakontraktowano łącznie 16 TWh energii, z czego dominującą część stanowiły projekty w sektorze fotowoltaiki i energetyki wiatrowej³⁵. Wyniki te wskazują na rosnące znaczenie mechanizmów aukcyjnych jako narzędzi wspierających transformację energetyczną oraz przyspieszających inwestycje w niskoemisyjne technologie w Polsce, a także pokazują dążenie kraju do dywersyfikacji źródeł energii.

W 2025 roku istotnym tematem debaty legislacyjnej były prace nad liberalizacją tzw. zasady 10H, czyli ustawy wiatrakowej, która przez lata ograniczała możliwości inwestycyjne w tym sektorze³⁶ (zasada 10H, wprowadzona w Polsce w 2016 roku, określała minimalną odległość lokalizacji lądowych farm wiatrowych od zabudowań mieszkalnych, wyznaczoną jako dziesięciokrotność całkowitej wysokości turbiny wraz z wirnikiem³⁷).

Nowelizacja ustawy z dnia 9 marca 2023 r. dotycząca inwestycji w zakresie elektrowni wiatrowych wprowadziła częściową liberalizację zasad lokalizacyjnych. Choć utrzymano obowiązującą dotychczas zasadę 10H, umożliwiono sytuowanie turbin wiatrowych w mniejszej odległości od zabudowań, nie bliżej jednak niż 700 metrów, pod warunkiem spełnienia określonych kryteriów. Rozwiązanie to stworzyło warunki do realizacji nowych projektów wiatrowych w Polsce, jednak nadal uznaje się je za niewystarczające w kontekście tempa transformacji energetycznej. Propozycje dalszego złagodzenia przepisów – w tym zniesienie zasady 10H i obniżenie minimalnej odległości do 500 metrów – mogłyby istotnie zwiększyć powierzchnię kraju dostępną pod inwestycje w lądowe farmy wiatrowe, szacunkowo z 2% do około 4% terytorium Polski, co jednocześnie znacząco przyspieszyłoby

³³ Parlament Europejski, *Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1787 z dnia 13 czerwca 2024 r.* [w:] 2024.

³⁴ Enerdata, *Poland will hold its 2025 renewable auctions for 75.9 TWh in early July 2025*, „Enerdata” (2025), <https://www.enerdata.net/publications/daily-energy-news/poland-will-hold-its-2025-renewable-auctions-759-twh-early-july-2025.html?utm.com>.

³⁵ A. Joshi, *Poland awards 16 TWh of renewable energy capacity in latest auctions*, „Mercom” (2025), <https://www.mercomindia.com/poland-16-twh-renewable-energy-latest-auctions?.com>.

³⁶ S. Robak, R. Raczkowski, M. Piekarz, *Development of the Wind Generation Sector and Its Effect on the Grid Operation—The Case of Poland*, „Energies” t. 16 nr 19 (2023), DOI: 10.3390/en16196805, <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/19/6805>.

³⁷ J.K. Kazak i in., *Renewable Energy Policy Planning for Low-Carbon Economy* [w:] *Advances in Transdisciplinary Engineering Volume 45: New Energy and Future Energy Systems*, 2023.

procesy inwestycyjne i przyczyniło się do szybszego wzrostu udziału energii odnawialnej w krajowym miksie energetycznym³⁸.

W marcu 2025 roku rząd przedstawił projekt nowelizacji, mający na celu złagodzenie ograniczeń dla rozwoju lądowej energetyki wiatrowej. Kluczowym elementem propozycji jest odejście od zasady 10H i określenie minimalnej odległości 500 metrów od zabudowań mieszkalnych, ustalonej przez gminy w ramach miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego. Projekt przewiduje również szereg rozwiązań usprawniających proces inwestycyjny, takich jak możliwość stosowania zintegrowanych planów inwestycyjnych czy równoległe prowadzenie procedur środowiskowych i planistycznych. Ułatwienia mają objąć także modernizację istniejących farm wiatrowych, w tym uproszczone procedury dla projektów repoweringowych. Nowelizacja utrzymuje restrykcje w odniesieniu do obszarów chronionych i infrastruktury krytycznej, wprowadzając jednak większą elastyczność np. w negocjowaniu odległości od linii przesyłowych. Szczególną uwagę zwrócono na ochronę terenów Natura 2000, dla których przewidziano obowiązek zachowania 500-metrowej strefy buforowej. Projekt, będący w toku prac parlamentarnych, postrzegany jest jako istotny krok w kierunku zwiększenia atrakcyjności inwestycyjnej sektora OZE i dywersyfikacji krajowego miks energetycznego, przy zachowaniu równowagi między rozwojem energetyki wiatrowej a wymogami ochrony środowiska i bezpieczeństwa³⁹.

Dzięki takiej nowelizacji prawa prognozy wskazują na możliwość osiągnięcia do 2030 roku około 18 GW mocy z lądowych farm wiatrowych, uwzględniając zarówno istniejące, jak i nowo powstające instalacje. Uzupełnienie tego potencjału o planowane 6 GW z morskiej energetyki wiatrowej pozwoliłoby łącznie uzyskać około 24 GW mocy z wiatru. W przypadku braku przyjęcia nowych regulacji scenariusz rozwoju jawi się jednak znacznie mniej korzystnie, gdyż w takim wariantcie do końca obecnej dekady możliwy byłby przyrost jedynie 3–4 GW dodatkowych mocy z lądowych elektrowni wiatrowych⁴⁰.

Jednym z kluczowych instrumentów wsparcia rozwoju energetyki prosumenckiej w Polsce jest program „Mój Prąd”, którego celem jest zwiększenie udziału fotowoltaiki oraz magazynów energii w krajowym miksie energetycznym. Zainicjowany w 2019 r., program⁴¹ przeszedł kilka etapów rozwoju, stopniowo rozszerzając zakres wsparcia – od dofinansowania mikroinstalacji PV po dodatkowe komponenty, takie jak magazyny energii, systemy zarządzania energią czy kolektory

³⁸ TPA Poland, *Wind energy in Poland*, t. 11 nr Wind Industry (2024).

³⁹ K. Jaworecki, D. Markowicz, *Poland submits draft law to bolster the growth of onshore wind energy sector*, „CMS Law-Now” (2025), <https://cms-lawnow.com/en/ealerts/2025/04/poland-submits-draft-law-to-bolster-the-growth-of-onshore-wind-energy-sector?>

⁴⁰ J. Paszynski, *Stawką nowelizacji ustawy wiatrakowej jest ponad 10 GW w lądowej energetyce wiatrowej*, „Ecoekonomia” (2025), <https://ecoekonomia.pl/2025/06/05/bezpieczenstwo-energetyczne-i-gospodarcze-polski-nie-moze-zejsc-z-listy-priorytetow/>.

⁴¹ Ministerstwo Aktywów Państwowych, *Program „Mój Prąd” – założenia szczegółowe*, 2019 r., <https://www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/program-moj-prad-zalozenia-szczegolowe>.

słoneczne, pompy ciepła. Zrealizowana w 2025 roku edycja „Mój Prąd 6.0” przewidywała wsparcie finansowe dla gospodarstw domowych inwestujących w instalacje o mocy do 50 kW wyposażonych w magazyn energii i/lub ciepła, obejmując zarówno zakup, jak i montaż urządzeń⁴². Budżet tej edycji, osiągnął 1,85 mld zł umożliwiając dofinansowanie kilkudziesięciu tysięcy inwestycji prosumenckich⁴³. Popularność programu potwierdzają dane – tylko w początkowej fazie edycji 6.0 wpłynęło ponad 97 tys. wniosków o łącznej wartości przekraczającej 570 mln zł⁴⁴. Program „Mój Prąd” na lata 2024–2027, finansowany jest z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego Celu szczegółowego: 2.2 Wspieranie energii odnawialnej zgodnie z dyrektywą (UE) 2018/2001⁴⁵. W praktyce znaczenie „Mojego Prądu” wykracza poza samą produkcję energii elektrycznej, ponieważ program zwiększa samowystarczalność energetyczną gospodarstw domowych, poprawia stabilność systemu elektroenergetycznego dzięki magazynom energii oraz przyczynia się do redukcji emisji gazów cieplarnianych, wspierając tym samym cele polityki klimatyczno-energetycznej Polski i Unii Europejskiej.

1.2. UWARUNKOWANIA FUNKCJONOWANIA I ROZWOJU PRZEDSIĘBIORSTW OZE W POLSCE

1.2.1. Udział OZE w sektorze energetycznym

Analiza aktualnej sytuacji w polskim sektorze energetycznym wskazuje na głęboką transformację miks paliwowego, w którym maleje rola węgla, rośnie zależność od importu surowców, a jednocześnie stopniowo zwiększa się znaczenie odnawialnych źródeł energii. W 2024 r. zużycie węgla kamiennego w gospodarce spadło o 14% w stosunku do roku poprzedniego i o jedną trzecią względem 2015 r., a jego udział w produkcji energii elektrycznej osiągnął historyczne minimum 56,2%. Równocześnie wzrosło uzależnienie Polski od importu paliw i surowców, które w 2023 r. wynosiło 45% wobec 29% w 2014 r., przy czym głównymi kierunkami dostaw stały się Arabia Saudyjska, Norwegia i Stany Zjednoczone, ale także Dania i Katar. Z końcem 2024 r. całkowicie zrezygnowano z importu surowców z Rosji, poza minimalnym 1% udziałem LPG. W tym samym czasie obserwowano powrót zużycia gazu ziemnego do poziomów sprzed wojny w Ukrainie, przy rosnącej roli gospodarstw domowych oraz sektora przemysłowego. Nowe moce wytwórcze w systemie pozostawały ograniczone – poza OZE oddano jedynie blok gazowy w Gryfinie (1,4 GW). Równolegle spadły ceny uprawnień do

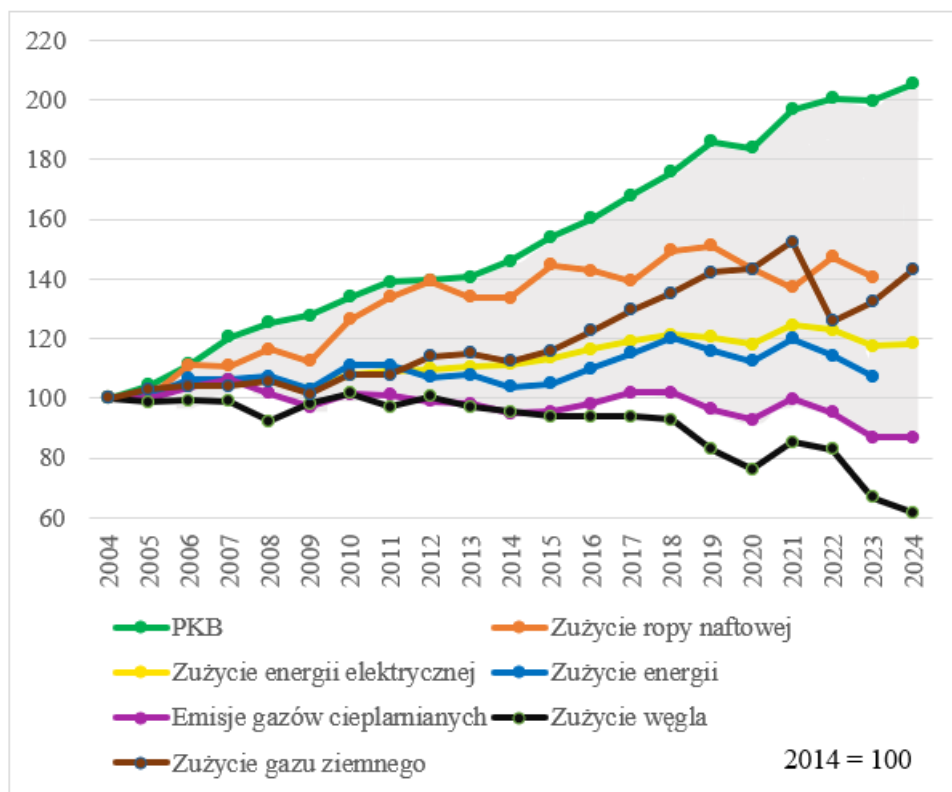
⁴² Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, *Program priorytetowy Mój Prąd*, 2024 r., <https://mojprad.gov.pl/o-programie/>.

⁴³ Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, *Budżet programu Mój Prąd 6.0 wykorzystany w 95 procentach*, 2025 r., <https://www.gov.pl/web/nfosigw/budzet-programu-moj-prad-60-wykorzystany-w-95-procentach>.

⁴⁴ M. Marona, *Mój prąd 6.0: ponad 97 tys. złożonych wniosków*, „solaredge” (2025), <https://www.solaredge.com/pl/blog-solaredge/moj-prad-6.0>.

⁴⁵ Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, *Program priorytetowy Mój Prąd...*

emisji CO₂ do średnio 64,75 euro za tonę, co przełożyło się na dochody budżetu w wysokości 16,6 mld zł. Pomimo tych zmian Polska nadal należy do najbardziej emisyjnych gospodarek świata w przeliczeniu na jednostkę energii pierwotnej, ustępując jedynie Kuwejtowi, RPA, Kazachstanowi oraz Chinom⁴⁶.

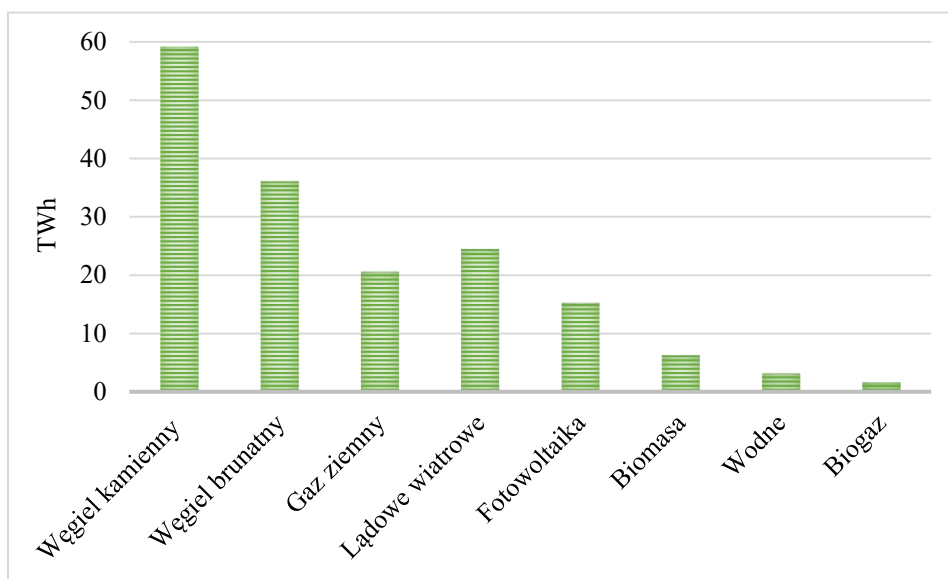


Rys. 6. Wskaźniki transformacji energetycznej w latach 2004 – 2024 w Polsce
Źródło: opracowanie własne na podstawie ARE, GUS, EEA, ARP, ENTSG, KOBIZE i Eurostatu

Na rysunku 6 przedstawiono wskaźniki transformacji energetycznej w latach 2004–2024. Zielony kolor obrazuje wzrost PKB (w cenach stałych), żółty oznacza zużycie energii elektrycznej, niebieski – zużycie energii ogółem, czarny – zużycie węgla, brązowy – gazu ziemnego, a pomarańczowy – ropy naftowej. Emisje gazów cieplarnianych zostały oznaczone kolorem fioletowym. Kluczowym procesem identyfikowanym w tym okresie jest tzw. decoupling gospodarki - mimo systematycznego wzrostu gospodarczego, mierzonego dynamiką PKB, poziom emisji gazów cieplarnianych wykazuje tendencję spadkową (obszar oznaczony na szaro na wykresie).

⁴⁶ K. Kwidziński, M. Dusiło, *Transformacja energetyczna w Polsce. Edycja 2025*, „Forum Energii” (2025), <https://www.forum-energii.eu/transformacja-energetyczna-polski-edycja-2025>.

W 2024 roku Polska odnotowała jeden z najwyższych wskaźników wzrostu gospodarczego w Europie, zajmując piąte miejsce od 2004 roku, za Maltą, Turcją, Irlandią i Kosowem. Rozwój gospodarczy był równolegle związany z rosnącym zużyciem energii i paliw, w szczególności w sektorze transportowym, przy jednoczesnym systematycznym ograniczaniu roli węgla w krajowym miksie energetycznym. Zjawisku temu towarzyszył wzrost wykorzystania odnawialnych źródeł energii, co sprzyjało obniżeniu poziomu emisji gazów cieplarnianych. Polska gospodarka zbliżyła się również do poziomu konsumpcji gazu ziemnego obserwowanego przed wstrzymaniem dostaw z Federacji Rosyjskiej⁴⁷.



Rys. 7. Produkcja energii elektrycznej w 2024 r. wg źródeł

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Forum Energii (2025)

W 2024 roku struktura wytwarzania energii elektrycznej w Polsce uległa istotnym zmianom (rys. 7). Udział węgla w produkcji brutto spadł do 56,2%, co oznacza obniżkę o 4,3 punktu procentowego względem roku 2023. Równocześnie odnotowano wzrost znaczenia odnawialnych źródeł energii, które osiągnęły 29,4% całkowitej produkcji – o 2,3 p.p. więcej niż rok wcześniej. Rekordowy poziom 49,7 TWh sprawił, że energia z OZE przewyższyła wolumen wytwarzany z węgla brunatnego. Szczególne znaczenie miała energetyka wiatrowa, której produkcja osiągnęła historyczny wynik 24,5 TWh, odpowiadając za 14,5% krajowej generacji. Równolegle rekord padł również w przypadku energii elektrycznej z gazu ziemnego, której produkcja sięgnęła 20,6 TWh (12,2%), co wynikało zarówno z uruchomienia nowych bloków w Gryfinie, jak i spadku średnich cen gazu. Z kolei jednostki węglowe odnotowały najniższe w historii wskaźniki wykorzystania mocy – w przypadku węgla kamiennego wyniosły one 31%, zbliżając się do poziomu

⁴⁷ Ibid.

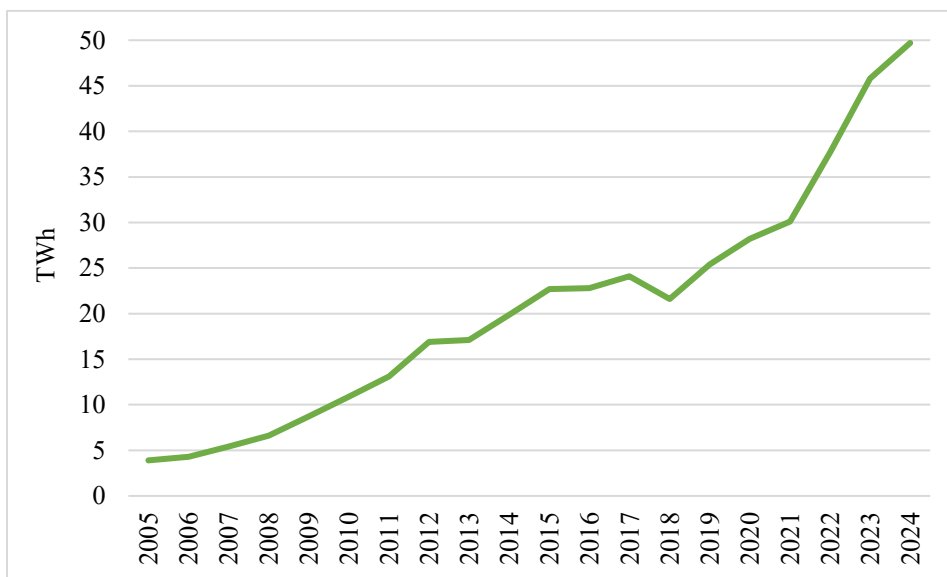
notowanego dla nowoczesnych turbin wiatrowych (27%)⁴⁸. Dynamikę zmian produkcji energii elektrycznej z odnawialnych nośników energii zaprezentowano na rysunku 7. Pierwsze notowane przez Główny Urząd Statystyczny wartości dotyczą roku 2005 i wtedy produkcja energii elektrycznej z OZE wyniosła 3847,3 GWh. Do roku 2017 następował sukcesywny wzrost średniorocznie o 17% (1).

$$T = \sqrt[n-1]{\frac{y_n}{y_1}} - 1 = \sqrt[12]{\frac{24122,1}{3847,3}} - 1 = 0,165 \approx 17\% \quad (1)$$

gdzie:

T – przeciętne tempo zmian zjawiska w czasie (średnia geometryczna),
n – liczba okresów,
y_n – wartość końcowa,
y₁ – wartość początkowa

W 2018 roku wystąpił 10% spadek (w porównaniu do roku poprzedniego) wartości produkcji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii. Jednak przyłączone zostały nowe moce OZE o wartości 55 MW. Był to rekordowo niski wzrost ilości zainstalowanych mocy OZE w Polsce od 2005 roku, zaledwie 0,64% więcej mocy niż w 2017 roku⁴⁹. Po czym rozpoczął się okres kolejnego dynamicznego wzrostu. W latach 2018-2024 wartość produkcji zwiększyła się o 28,1 TWh, czyli o 130%, osiągając 49,7 TWh w 2024 roku (rys. 8).



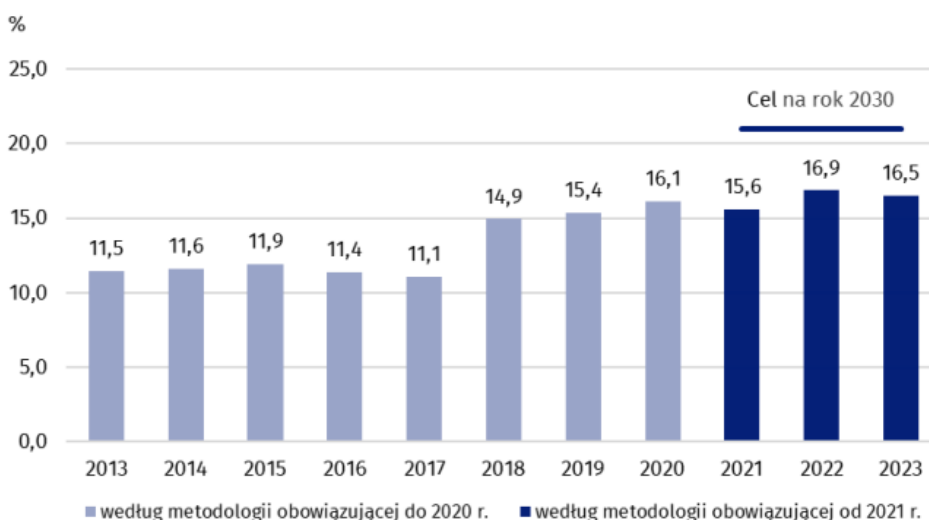
Rys. 8. Produkcja energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii w latach 2005-2024
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z GUS i Forum Energii

⁴⁸ Ibid.

⁴⁹ N. Czechowski, *URE: tylko 55 MW nowych mocy OZE dodano w Polsce w 2018 roku*, „Świat OZE” (2019).

W ostatnich latach udział odnawialnych źródeł energii w polskim miksie energetycznym systematycznie rośnie, choć tempo tego wzrostu pozostaje zróżnicowane w poszczególnych sektorach – elektroenergetyce, ciepłownictwie i transporcie. Zmiany te wynikają zarówno z krajowych polityk energetyczno-klimatycznych, jak i z zobowiązań wobec Unii Europejskiej, w tym realizacji celów wyznaczonych na 2030 r. Wskaźniki dotyczące OZE stanowią istotny element oceny postępów transformacji energetycznej Polski i pozwalają określić skalę wyzwań związanych z dalszą dekarbonizacją gospodarki.

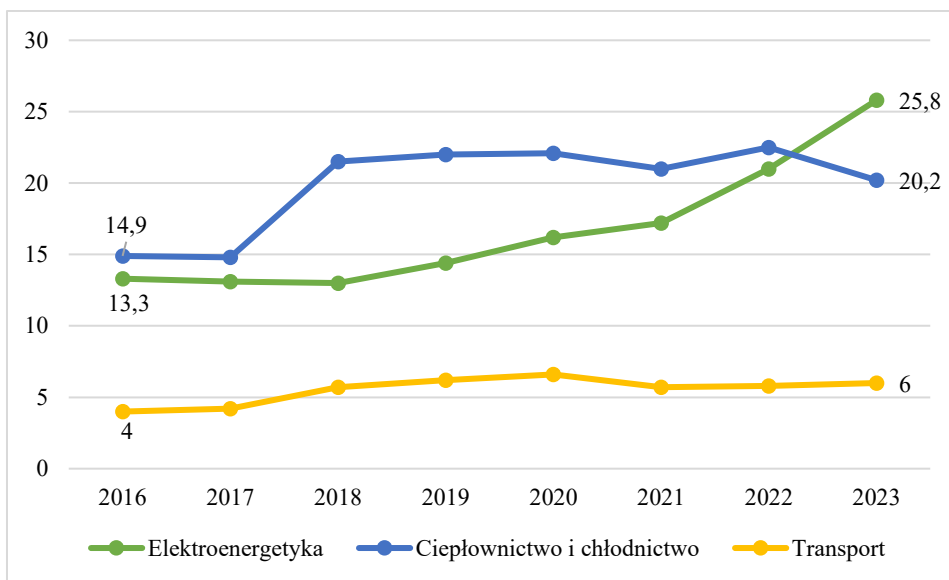
Zgodnie z najnowszym komunikatem GUS, w 2023 r. udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto wyniósł 16,5%, tj. o 0,4 p.p. mniej niż w 2022 r., przy wzroście o 5,0 p.p. względem 2013 r. (rys. 9). W elektroenergetyce wskaźnik ten sięgnął 25,8% (wzrost o 4,8 p.p. r/r), co wynikało jednocześnie ze wzrostu końcowego zużycia energii elektrycznej z OZE o 17,7% oraz spadku całkowitego końcowego zużycia energii elektrycznej o 4,1% (rys. 10).



Rys. 9. Udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w latach 2013-2023

Źródło: Raport GUS: Energia ze źródeł odnawialnych w 2023 r.

W ciepłownictwie i chłodnictwie udział OZE ukształtował się na poziomie 20,2% (spadek o 2,3 p.p. r/r) w warunkach obniżenia zarówno zużycia odnawialnej energii na ogrzewanie i chłodzenie, jak i popytu ogółem w tym segmencie (rys. 10). W transporcie udział OZE wyniósł 6,0% (wzrost o 0,2 p.p. r/r), podczas gdy cel na 2030 r. zapisany w Krajowym planie na rzecz energii i klimatu wynosi 14%, a cel ogólny dla OZE to 21% końcowego zużycia energii brutto. Należy przy tym uwzględnić zmianę metodyki od 2021 r. wynikającą z dyrektywy RED II, która ogranicza porównywalność wskaźników z lat wcześniejszych.

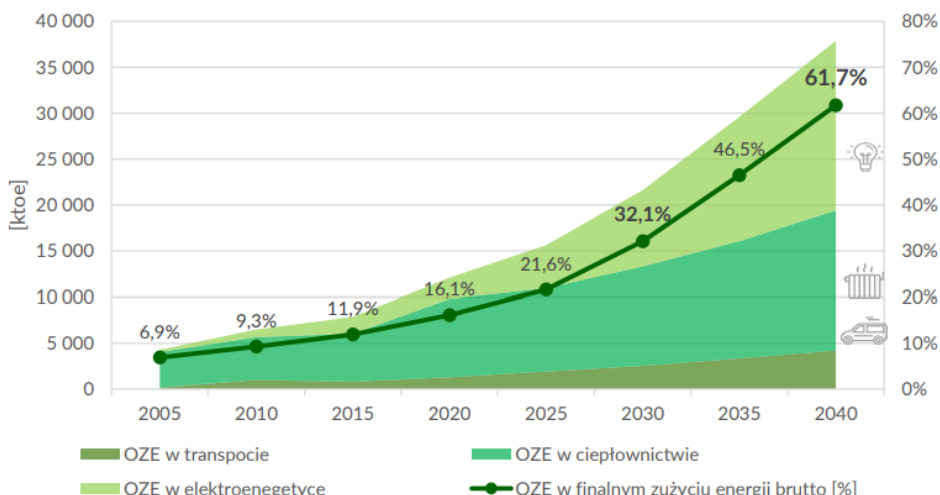


Rys. 10. Udział energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w elektroenergetyce, ciepłownictwie i chłodnictwie oraz w transporcie w latach 2016-2023

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z GUS

Zgodnie z analizami kosztowymi oraz oceną potencjału rozwojowego, możliwe jest osiągnięcie udziału odnawialnych źródeł energii w końcowym zużyciu energii brutto na poziomie około 32% w 2030 roku i blisko 62% w 2040 roku. Wzrost ten dotyczy wszystkich kluczowych sektorów – elektroenergetyki, ciepłownictwa oraz transportu. Wskazany scenariusz WAM (*with additional measures* – „z dodatkowymi środkami”), będący częścią projektu aktualizacji Krajowego planu na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030, przedstawia wizję aktywnej transformacji gospodarki. Zakłada on przyspieszenie procesu dekarbonizacji oraz realizację zobowiązań wynikających z pakietu Fit for 55 (rys. 11)⁵⁰.

⁵⁰ Ministerstwo Klimatu i Środowiska, *Załącznik 1. do aKPEiK Scenariusz aktywnej transformacji (ang. with additional measures, WAM)*, (2025).



Rys. 11. Prognozowany udział OZE w końcowym zużyciu energii brutto w Polsce do 2040 roku w podziale na sektory

Źródło: Krajowy Plan w dziedzinie Energii i Klimatu (KPEiK)

Analiza udziału odnawialnych źródeł energii w miksie energetycznym Polski wskazuje na stopniowy, choć wciąż niewystarczający wzrost znaczenia OZE w krajowym systemie energetycznym. Dynamiczny rozwój technologii fotowoltaicznych i wiatrowych w ostatnich latach stanowi dowód rosnącego potencjału sektora, jednak tempo transformacji energetycznej nadal ograniczają bariery infrastrukturalne, regulacyjne oraz ekonomiczne. Polska wciąż pozostaje krajem o relatywnie wysokim udziale paliw kopalnych w bilansie energetycznym, co utrudnia osiągnięcie ambitnych celów klimatycznych Unii Europejskiej.

Wdrażanie polityki wspierającej rozwój OZE, w tym mechanizmów prosumenckich i inwestycji w sieci przesyłowe, stanowi kluczowy warunek dalszego zwiększania udziału energii odnawialnej w krajowym miksie. Utrzymanie stabilności systemu przy rosnącym udziale źródeł niestabilnych wymaga jednocześnie rozwoju magazynowania energii oraz elastycznych mechanizmów bilansowania. Podsumowując, kierunek zmian w polskim sektorze energetycznym jest zgodny z trendami europejskimi, jednak tempo tych przemian wymaga intensyfikacji działań zarówno na poziomie politycznym, jak i technologicznym.

1.2.2. Struktura technologiczna OZE a profile działalności przedsiębiorstw sektora

Dekarbonizacja sektora energetycznego, rozumiana jako redukcja udziału węgla w wytwarzaniu energii elektrycznej, stanowi zaledwie pierwszy etap transformacji energetycznej. Obecnie w Polsce produkcja energii elektrycznej wynosi około 170 TWh rocznie, z czego blisko 70% pochodzi z węgla, co wymaga jego pilnego

zastąpienia odnawialnymi źródłami energii oraz energetyką jądrową⁵¹. Należy jednak podkreślić, że wyzwania związane z dekarbonizacją wykraczają poza sektor elektroenergetyczny i obejmują również energochłonne gałęzie gospodarki, takie jak przemysł stalowy, aluminiowy, nawozowy, cementowy, transport oraz budownictwo. Pełne odejście od paliw kopalnych w tych branżach będzie wiązało się ze wzrostem zapotrzebowania na energię elektryczną od czterech do nawet dziewięciu razy w stosunku do obecnego poziomu⁵².

W tym kontekście kluczowe znaczenie ma efektywne zarządzanie instalacjami OZE, tak aby optymalizować ich pracę, minimalizować straty i integrować różne źródła energii w systemie elektroenergetycznym. Wymaga to rozwoju narzędzi cyfrowych, elastycznych modeli operacyjnych i systemów magazynowania energii, które umożliwią zbilansowanie rosnącego zapotrzebowania. Jednocześnie proces transformacji generuje koszty społeczne związane m.in. z koniecznością dostosowania rynku pracy, podziałem obciążeń finansowych między gospodarstwa domowe a przemysł, czy akceptacją lokalnych społeczności wobec nowych inwestycji. Odpowiednie mechanizmy wsparcia, w tym programy osłonowe oraz inwestycje w edukację i kompetencje pracowników sektora energetycznego, staną się zatem niezbędnym uzupełnieniem działań technologicznych, aby transformacja przebiegała w sposób sprawiedliwy i społecznie akceptowalny.

W niniejszym podrozdziale przedstawiona zostanie struktura źródeł odnawialnych w Polsce w podziale na poszczególne rodzaje.

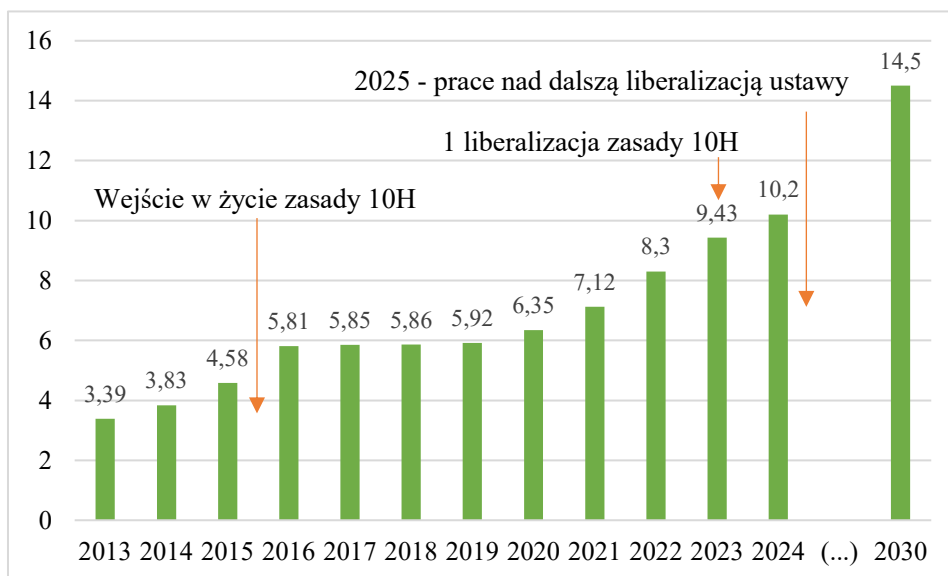
Energia wiatrowa

Energia wiatrowa już dziś stanowi jeden z kluczowych elementów polskiego miksu energetycznego i jej znaczenie będzie się systematycznie zwiększać. Prognozy wskazują, że w najbliższym czasie lądowe farmy wiatrowe mogą stać się drugim co do wielkości źródłem w produkcji energii elektrycznej w Polsce, wyprzedzając węgiel brunatny. Dotychczasowe założenia Polityki Energetycznej Polski przewidywały osiągnięcie 14,5 GW mocy zainstalowanej do 2030 roku, jednak w Krajowym Planie w dziedzinie Energii i Klimatu podniesiono ten cel do około 15,8 GW dla energetyki lądowej oraz 5,9 GW dla morskiej. Rząd, dostrzegając tempo rozwoju sektora, podjął działania zmierzające do aktualizacji tych planów, choć dalsze reformy regulacyjne mogłyby przyspieszyć realizację inwestycji. Według wyliczeń Polskiego Stowarzyszenia Energetyki Wiatrowej pełne wykorzystanie potencjału tej technologii mogłoby pozwolić na osiągnięcie nawet około 18 GW mocy do 2030 roku. Jedną z głównych barier rozwoju energetyki wiatrowej w Polsce pozostaje wyjątkowo długi proces uzyskiwania pozwoleń administracyjnych i środowiskowych, który obecnie może trwać nawet dekadę. Skrócenie tych procedur do 2–3 lat znacząco przyspieszyłoby realizację inwestycji. Proponowane uproszczenia, m.in. w ustawie odległościowej i procedurach planistycznych, mogłyby dostosować krajowe regulacje

⁵¹ B. Supernak, *Produkcja energii elektrycznej wzrosła o 2,1% do 14,76 TWh w 2024, z OZE – 27,1% całości*, „Inwestycje” (2025).

⁵² TPA Poland, *Wind energy in Poland...*

do wymogów dyrektywy RED III, zakładającej wydawanie decyzji dla instalacji w obszarach przyspieszonego rozwoju OZE w ciągu maksymalnie 12 miesięcy⁵³.



Rys. 12. Moc zainstalowana [GW] w elektrowniach wiatrowych w Polsce w latach 2013-2024 wraz z prognozą na rok 2030

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych URE, ARE, PSEW, PEP2040

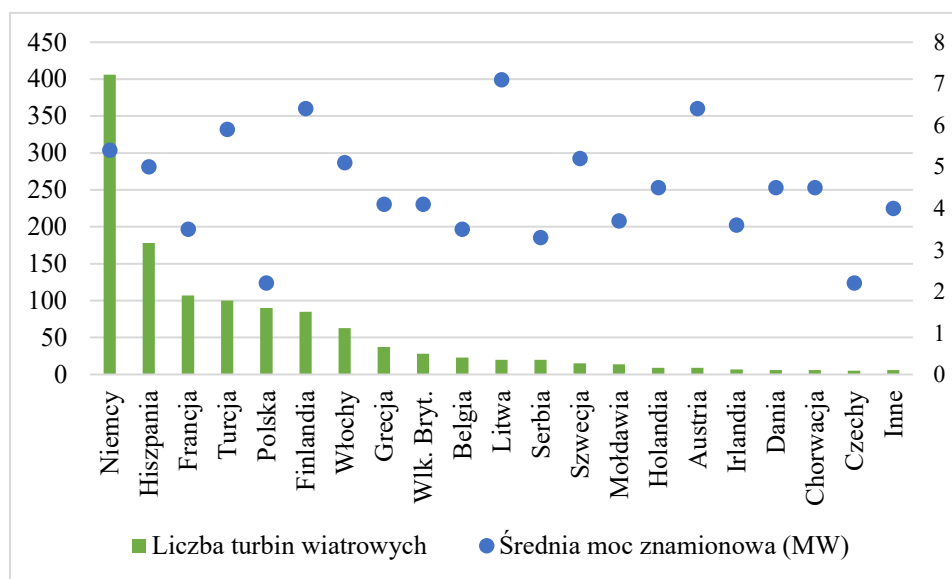
W 2024 r. w Polsce odnotowano spadek dynamiki przyrostu nowych mocy w energetyce wiatrowej – zainstalowano 805 MW wobec 1,2 GW w roku poprzednim. Zgodnie z danymi Wind Europe, łączna moc krajowych elektrowni wiatrowych osiągnęła jednak poziom 10,2 GW, co plasuje Polskę w grupie państw europejskich przekraczających próg 10 GW mocy zainstalowanej w tym sektorze (rys. 12). Raport wskazuje, że jednym z głównych czynników ograniczających potencjał inwestycji pozostaje obowiązująca ustawa odległościowa, która znacząco zawężyła możliwości doboru turbin o większych gabarytach i wyższej mocy. W konsekwencji w Polsce w 2024 r. instalowano jednostki o średniej mocy znamionowej 3,3 MW, podczas gdy na rynku dostępne były lądowe turbiny osiągające 6–7 MW, co pokazuje skalę istniejących barier technologicznych i regulacyjnych⁵⁴.

Pierwsza połowa 2025 roku przyniosła wyraźne przyspieszenie, także dzięki złagodzeniu ustawy 10H. Polska znalazła się w gronie dziesięciu państw o największej nowo zainstalowanej mocy w lądowej energetyce wiatrowej, osiągając wynik 198 MW. Oznacza to, że przyrost mocy w tym okresie był 3,5-krotnie wyższy niż w analogicznym czasie 2024 roku. Zgodnie z prognozami, w całym 2025 r. kraje ujęte w zestawieniu mają łącznie zainstalować ok. 0,6 GW nowych mocy w elektrowniach wiatrowych, z czego Polska odpowiadać ma za dodatkowe 252 MW

⁵³ Ibid.

⁵⁴ Wind Europe, *Wind energy in Europe: 2024 Statistics and the outlook for 2025-2030*, (2025), <https://windeurope.org/data/products/wind-energy-in-europe-2024-statistics-and-the-outlook-for-2025-2030/>.

(rys. 13). Oznacza to, że Polska stopniowo zwiększa tempo rozwoju energetyki wiatrowej, nadrabiając wcześniejsze opóźnienia, a zarazem umacnia swoją pozycję wśród kluczowych rynków wiatrowych Europy. Wyniki te wskazują także na rosnący potencjał inwestycyjny w sektorze lądowych farm wiatrowych w Polsce⁵⁵.



Rys. 13. Liczba nowo zainstalowanych turbin wiatrowych na lądzie i ich średnia moc znamionowa w krajach Europy w pierwszej połowie 2025 r.

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu Wind Europe

Choć w Polsce nie funkcjonują jeszcze morskie farmy wiatrowe, sektor ten rozwija się dynamicznie na etapie przygotowań regulacyjnych i inwestycyjnych. W ramach polityki energetycznej Polski PEP2040 wyznaczono ambitne cele dla offshore, uchwalono plan zagospodarowania obszarów morskich oraz dedykowaną ustawę wspierającą rozwój tej technologii⁵⁶. Przyznano już wsparcie dla siedmiu projektów pierwszej fazy o łącznej mocy 5,9 GW oraz przeprowadzono postępowania dla drugiej fazy obejmującej 5,8 GW. Równolegle rozpoczęto rozbudowę krajowego systemu elektroenergetycznego, w tym budowę dwóch nowych stacji odbierających energię z Bałtyku, a także prace nad portem instalacyjnym w Świnoujściu. Kluczowym elementem koordynacji działań stało się porozumienie sektorowe, podpisane przez ponad 200 podmiotów, tworzące podstawy współpracy administracji i biznesu. Aktualnie procedowana nowelizacja ustawy o OZE zakłada zwiększenie mocy morskich elektrowni wiatrowych do 12 GW do 2030 roku, co znacząco podniesie udział OZE w miksie energetycznym. Jednocześnie eksperci wskazują na konieczność modernizacji infrastruktury przesyłowej oraz zwracają uwagę na ryzyko

⁵⁵ Wind Europe, *Latest wind energy data for Europe*, (2025), <https://windeurope.org/data/products/latest-wind-energy-data-for-europe-autumn-2025/>.

⁵⁶ Ministry of Climate and Environment, *Energy Policy of Poland until 2040 – 2023 update...*

ograniczonej dostępności statków instalacyjnych, które mogą stać się istotnym czynnikiem hamującym tempo realizacji projektów⁵⁷.

22 maja 2021 r. wszedł w życie Plan Zagospodarowania Przestrzennego Polskich Obszarów Morskich (PZPPOM), obejmujący część tekstową i graficzną⁵⁸. Równocześnie uruchomiono publiczny geoportal SIPAM (System Informacji Przestrzennej Administracji Morskiej – rys. 14), który integruje dane przestrzenne z administracji morskiej, prezentując je w czasie rzeczywistym⁵⁹. Portal udostępnia m.in. graficzną część PZPPOM, informacje o obszarach określonych w Ustawach⁶⁰, a także dane dotyczące wydanych pozwoleń i wniosków związanych z układaniem i utrzymywaniem kabli na obszarach morskich. PZPPOM porządkuje polskie wody morskie, przypisując im określone funkcje podstawowe i dopuszczalne oraz ustanawiając warunki i ograniczenia ich realizacji⁶¹.

Wzrost udziału źródeł wiatrowych w systemie elektroenergetycznym podkreśla rosnącą rolę elastyczności i magazynowania energii jako kluczowych uzupełnień technologicznych. Przede wszystkim jednym z największych wyzwań staje się bilansowanie niestabilnej produkcji wiatrowej, szczególnie w okresach słabszego wiatru lub w sytuacjach „dunkelflaute”⁶² - czyli długotrwałych etapów niskiej produkcji zarówno z wiatru, jak i z fotowoltaiki. W takich okresach konieczne są rozwiązania magazynujące, które przechowują nadmiar energii lub wspomagają system w uzupełnianiu deficytów⁶³.

⁵⁷ Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej, *Offshore wind Poland*, (2025), <https://www.psew.pl/przyszlosc-offshore-dzieje-sie-teraz-w-polsce-najwazniejsze-wydarzenie-sektora-offshore-wind-poland-2025/>.

⁵⁸ Ministerstwo Klimatu i Środowiska, *Plan zagospodarowania przestrzennego polskich obszarów morskich*, (2021), <https://www.gov.pl/web/morska-energetyka-wiatrowa/plan-zagospodarowania-przestrzennego-polskich-obszarow-morskich>.

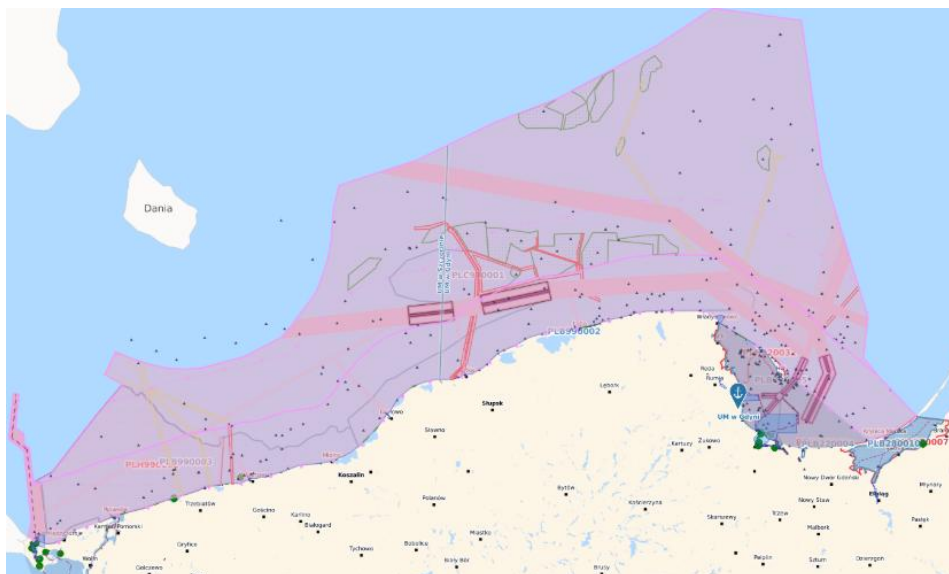
⁵⁹ Ministerstwo Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej (MGMiŻŚ), *System Informacji Przestrzennej Administracji Morskiej (SIPAM)*, (2021), <https://sipam.gov.pl/mapy/geoportal-sipam/>.

⁶⁰ Dz.U. 1991 nr 32 poz. 131, *Ustawa z dnia 21 marca 1991 r. o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej*, (1991); Dz.U. 2021 poz. 234, *Ustawa z dnia 17 grudnia 2020 r. o promowaniu wytwarzania energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych*, (2021).

⁶¹ K. Rachwalska, *Offshore wind power engineering in the Polish exclusive economic zone – current legal status. New “deals” in terms of location approvals*, „Eko-konsult” (2021), <https://ekokonsult.ase.pl/en/offshore-wind-power-engineering-in-the-polish-exclusive-economic-zone-current-legal-status-new-deals-in-terms-of-location-approvals>.

⁶² M. Kittel, A. Roth, W.-P. Schill, *Coping with the Dunkelflaute: Power system implications of variable renewable energy droughts in Europe*, 20 stycznia 2025 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-5760653/v1>.

⁶³ M. Kittel, W.-P. Schill, *Quantifying the Dunkelflaute: An analysis of variable renewable energy droughts in Europe*, 22 lipca 2025 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-7106203/v1>.



Rys. 14. Mapa polskich obszarów morskich

Źródło: System Informacji Przestrzennej Administracji Morskiej (SIPAM)

W roli magazynów energii dominują obecnie baterie elektrochemiczne, technologie hybrydowe (łączące różne typy magazynów) oraz rozwiązania mechaniczne i cieplne. Przegląd technologii hybrydowych wskazuje, że hybrydowe systemy magazynowania (Hybrid Energy Storage Systems, HESS) mogą lepiej dostosować charakterystyki różnych jednostek magazynujących do potrzeb sieci, poprawiając efektywność i zmniejszając koszty⁶⁴. Przykładem praktycznego wdrożenia takiego rozwiązania w Polsce są farmy wiatrowe Bystra, które współpracują z hybrydowym magazynem składającym się z baterii ołowio-wolframowych. Ten największy w Polsce system magazynowania pozwala na przechowywanie energii przez około 4,5 godziny i wspiera stabilność lokalnej sieci, także obniżając koszty energii dla przemysłu i mieszkańców⁶⁵. Sterowanie wektorowe umożliwia redukcję wahań generacji i świadczenie lokalnych usług regulacyjnych. To przykład, jak magazyny mogą „wygładzać” profil wiatru i obniżyć ryzyko przeciążeń sieci w węzłach dystrybucyjnych⁶⁶.

⁶⁴ F. Dehghani, M.A. Shafiyi, *Integration of hybrid renewable energy sources with the power system considering their economic complementarity*, „IET Renewable Power Generation” t. 17 nr 15 (2023), DOI: 10.1049/rpg2.12871, <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1049/rpg2.12871>; P. Hylla i in., *Overview of Hybrid Energy Storage Systems Combined with RES in Poland*, „Energies” t. 16 nr 15 (2023), DOI: 10.3390/en16155792, <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/15/5792>.

⁶⁵ Consortium for Battery Innovation, *Advanced energy storage system: Poland's Wind Farm using the best of both worlds*, (2020), <https://batteryinnovation.org/advanced-energy-storage-system-polands-windfarm-using-the-best-of-both-worlds>.

⁶⁶ Hydrogen Europe, *Hydrogen for an energy resilient Europe*, (2025), https://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2025/07/2025.07_H2forEnergy-Resilience_H2EuropePaper-1.pdf.

Hybrydyzacja z innymi źródłami odnawialnymi, w szczególności z fotowoltaiką, to kolejny kierunek umożliwiający lepsze wykorzystanie energii i redukcję strat konwersyjnych. Systemy łączące wiatr i słońce wraz z magazynowaniem pozwalają na bardziej równomierną produkcję i minimalizują konieczność odcięcia generacji (curtailment) w godzinach nadprodukcji⁶⁷.

W raporcie Parlamentu Europejskiego zauważono, że zapotrzebowanie na elastyczność systemu elektroenergetycznego w Unii Europejskiej, czyli zdolność do szybkiego reagowania na wahania produkcji i zużycia energii, rośnie znacznie szybciej niż dostępne obecnie, tradycyjne źródła elastyczności, takie jak elektrownie gazowe czy elektrownie szczytowo-pompowe. Oznacza to, że sam dotychczasowy zestaw narzędzi regulacyjnych nie wystarczy do utrzymania stabilności sieci przy rosnącym udziale OZE. Dlatego konieczny staje się dynamiczny rozwój nowych form bilansowania systemu: magazynowania energii (krótkoterminowe – baterie, oraz długoterminowe – elektrownie szczytowo-pompowe, wodór, magazyny ciepła); zarządzanie popytem (demand response), czyli włączania odbiorców końcowych do elastycznego reagowania na sygnały cenowe i operacyjne; oraz integracji sektorowej (sector coupling) – łączenia systemu elektroenergetycznego z innymi systemami, np. sieciami ciepłowniczymi, gazowymi czy wodnymi, aby nadwyżki energii mogły być wykorzystane w innych formach (np. produkcja ciepła, wodoru czy magazynowanie w infrastrukturze wodnej). W praktyce oznacza to, że przyszła stabilność europejskich sieci będzie zależeć od wielopoziomowej współpracy między sektorami i technologii, a nie tylko od budowy kolejnych źródeł wytwórczych⁶⁸.

Energia słoneczna

Na koniec pierwszego kwartału 2025 roku moc zainstalowana w fotowoltaice w Polsce osiągnęła poziom 21,8 GW. Struktura rynku wskazuje, że 59% tej wartości stanowiły mikroinstalacje, natomiast 41% farmy fotowoltaiczne i instalacje małoskalowe. W ostatnich latach nastąpiła istotna zmiana, coraz wyraźniej rośnie znaczenie dużych farm PV o mocy powyżej 1 MW, które w 2024 roku odpowiadały już za około połowę nowych przyrostów mocy⁶⁹.

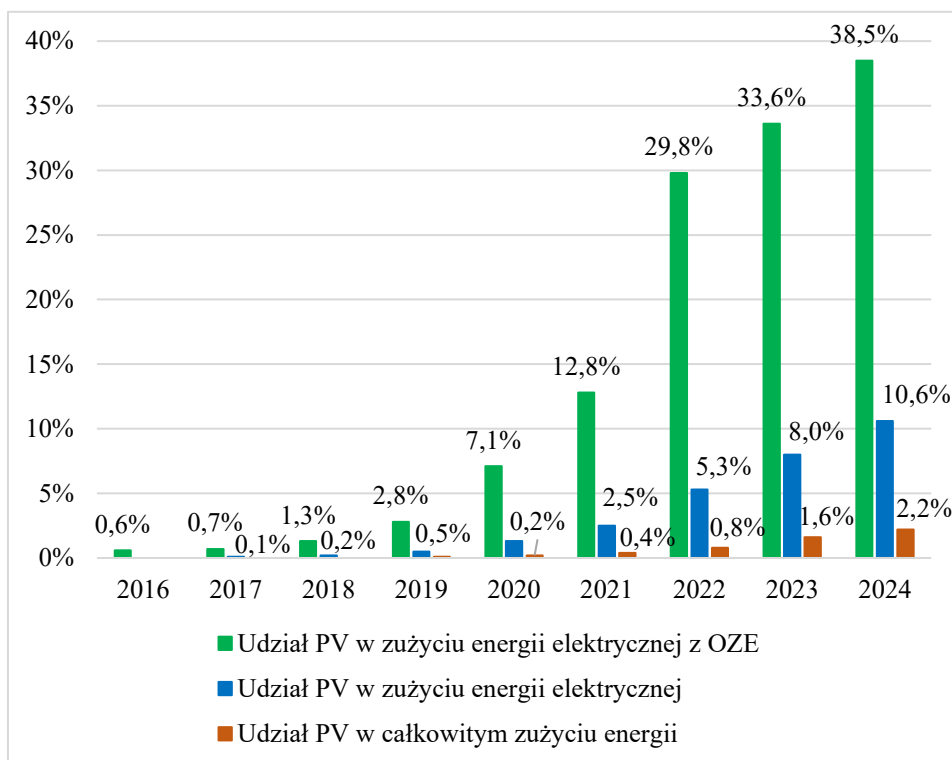
Fotowoltaika ma obecnie kluczową pozycję w krajowym miksie odnawialnych źródeł energii. Odpowiada za 64% całkowitej mocy OZE, a jej udział w produkcji energii elektrycznej z OZE wzrósł do 38,5%. Polska utrzymuje silną pozycję na tle Unii Europejskiej – w 2024 roku zajęła 5. miejsce pod względem przyrostu nowych mocy (3,7 GW), a w ujęciu globalnym 11. miejsce. Na uwagę zasługuje również wysoki wskaźnik mocy PV per capita, który w 2024 roku przewyższał analogiczne

⁶⁷ Q. Hassan i in., *A review of hybrid renewable energy systems: Solar and wind-powered solutions: Challenges, opportunities, and policy implications*, „Results in Engineering” t. 20 (2023), DOI: 10.1016/j.rineng.2023.101621, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S259012302300748X>.

⁶⁸ European Union, *Increasing Flexibility in the EU Energy System*, (2025), [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/ECTI_STU\(2025\)769347](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/ECTI_STU(2025)769347).

⁶⁹ Instytut Energetyki Odnawialnej, *Rynek fotowoltaiki w Polsce. Fotowoltaika na rynku energii elektrycznej i ciepła...*

wartości notowane w Stanach Zjednoczonych i w Chinach⁷⁰. Istotnym czynnikiem determinującym rozwój fotowoltaiki są krajowe cele w zakresie odnawialnych źródeł energii, w których technologia ta odgrywa coraz większą rolę. Na rysunku 14 zaprezentowano dotychczasowy udział fotowoltaiki – zarówno w produkcji energii elektrycznej pochodzącej z OZE (38,5% w 2024 roku), jak i w końcowym zużyciu energii elektrycznej brutto oraz w ogólnym zużyciu energii. Plany rozwojowe dla fotowoltaiki w Unii Europejskiej i w Polsce na kolejne dziesięć lat są równie ambitne, jak dotychczasowe rezultaty ostatnich lat (29 GW nowych mocy PV do 2030 r.). Zaktualizowana strategia przemysłowa Unii Europejskiej stanowi reakcję na dotychczasowe wysokie koszty energii ponoszone przez sektor przemysłowy, natomiast elektryfikacja przemysłu i ciepłownictwa postrzegana jest jako kluczowy sposób wykorzystania energii pochodzącej z instalacji słonecznych i wiatrowych.



Rys. 14. Udział fotowoltaiki w zużyciu energii w Polsce w latach 2016–2024
Źródło: opracowanie własne na podstawie IEO, GUS

W 2024 roku przyłączono do sieci 141,5 tys. nowych mikroinstalacji o łącznej mocy 1,43 GW. Program Mój Prąd objął wsparciem 53,5 tys. instalacji, w tym prawie 10 tys. magazynów energii elektrycznej oraz blisko 4 tys. magazynów ciepła. Średnia moc mikroinstalacji wzrosła do 10,3 kW. System prosumencki nadal opiera się głównie na net-meteringu, jednak wraz ze wzrostem liczby prosumentów

⁷⁰ International Renewable Energy Agency (IRENA), *Renewable capacity statistics 2025*, (2025), <https://www.irena.org/Publications/2025/Mar/Renewable-capacity-statistics-2025>.

(1,53 mln, łączna moc 12,6 GW) rośnie znaczenie modelu net-billing. Nowe instrumenty, takie jak prosument zbiorowy czy wirtualny, klastry energii oraz spółdzielnie energetyczne, nie zdobyły jeszcze szerszego zastosowania, co wskazuje na potrzebę wprowadzenia mechanizmów bardziej rynkowych⁷¹.

Rok 2024 przyniósł przyrost 2,4 GW dużych farm fotowoltaicznych, które stały się głównym czynnikiem wzrostu sektora. Projekty typu ready-to-build i greenfield rozwijają się dynamicznie, choć jednocześnie zauważalny jest spadek liczby pozwoleń budowlanych. W aukcjach OZE przeprowadzonych w 2024 roku, w koszyku obejmującym farmy PV i wiatrowe, zakontraktowano 16 TWh energii w piętnastoletnich umowach, z czego aż 99% dotyczyło projektów fotowoltaicznych. W efekcie wzrosło zainteresowanie systemem aukcyjnym, oferującym stabilniejsze warunki przychodowe w porównaniu do sprzedaży energii na rynku spot czy w ramach kontraktów PPA. Główne bariery rozwoju farm PV w Polsce pozostają jednak związane z ograniczeniami w przyłączeniach do sieci oraz występowaniem curtailmentów⁷².

Wraz z szybkim przyrostem mocy PV i wiatru rośnie zapotrzebowanie na elastyczność i magazynowanie energii w UE; analizy dla instytucji unijnych wskazują, że potrzeby elastyczności do 2030 r. co najmniej się podwoją⁷³, a do 2050 mogą osiągnąć nawet siedmiokrotny wzrost⁷⁴. W Polsce problem uwidocznił się praktycznie – w 2024 r. operator systemu przesyłowego kilkakrotnie redukował generację fotowoltaiczną („PV curtailment”), co pokazało ograniczenia sieci i niedostatek narzędzi bilansowania krótkoterminowego⁷⁵. Rozwój magazynów (krótkiej i długiej pracy), popytowej elastyczności oraz modernizacja sieci to obecnie krytyczne uzupełnienia dla integracji OZE⁷⁶.

Coraz większe znaczenie zyskują hybrydowe instalacje wiatrowo-słoneczne wyposażone w magazyny energii, zapewniające wyższą stabilność i efektywność niż pojedyncze farmy PV. Magazyny bateryjne stają się kluczowym elementem bilansowania systemu elektroenergetycznego i umożliwiają arbitraż cenowy. Do 2029 roku zakontraktowano w ramach rynku mocy 4,3 GW takich projektów, co oznacza przyznanie im wynagrodzenia za gotowość do wsparcia krajowego systemu elektroenergetycznego, a nie za samą produkcję energii. W Polsce rośnie także zainteresowanie alternatywnymi sposobami przyłączy, takimi jak cable

⁷¹ Instytut Energetyki Odnawialnej, *Rynek fotowoltaiki w Polsce. Fotowoltaika na rynku energii elektrycznej i ciepła...*

⁷² Energy Regulatory Office, *2024 RES Auctions: 16 TWh of electricity worth PLN 5.1 billion. The President of URE summarised the results of the RES electricity auction*, (2024).

⁷³ European Commission, *Flexibility requirements and the role of storage in future European power systems*, (2023), <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC130519>.

⁷⁴ European Commission, *Future EU power systems: renewables' integration to require up to 7 times larger flexibility*, (2023).

⁷⁵ M. Maisch, *Polish grid operator switches off gigawatts of PV*, „pv-magazine” (2024), <https://www.pv-magazine.com/2024/03/27/polish-grid-operator-switches-off-gigawatts-of-pv>.

⁷⁶ ENTSO-E Electrifying Europe, *System Flexibility Needs for the Energy Transition*, (2024), <https://www.entsoe.eu/system-flexibility/>.

pooling czy linie bezpośrednie, jednak wymagają one dostosowania regulacji prawnych⁷⁷.

Koszty inwestycji w fotowoltaikę spadają wraz ze wzrostem skali projektów. W 2024 roku średni koszt mikroinstalacji wynosił 4069 PLN/kW, podczas gdy farmy PV realizowane były średnio po 2425 PLN/kW. Najistotniejszym problemem sektora PV stał się w ostatnich latach spadek cen energii w godzinach szczytowej generacji, szczególnie widoczny od 2024 roku. Zjawisko to jest efektem szybkiego przyrostu mocy PV w latach 2021–2023 oraz nadpodaży energii w godzinach największej produkcji. Rozwiązaniem wskazywanym jako najbardziej perspektywiczne jest zielona elektryfikacja ciepłownictwa i przemysłu, pozwalająca efektywnie wykorzystać nadwyżki energii z PV. Szczególną rolę mogą odegrać kotły elektryczne sprzężone z magazynami ciepła dobowymi i sezonowymi, umożliwiające zagospodarowanie letnich nadwyżek energii i wykorzystanie ich w sezonie grzewczym⁷⁸.

Rozwój fotowoltaiki w Polsce wpisuje się w szersze procesy zachodzące w Unii Europejskiej. Wspólnota dąży do zwiększenia udziału OZE oraz elektryfikacji różnych sektorów gospodarki, co ma przełożyć się na spadek kosztów energii cieplnej, wzrost konkurencyjności oraz wzmocnienie niezależności energetycznej. Jednocześnie UE wspiera odbudowę europejskiego przemysłu PV poprzez rozporządzenie Net-Zero Industry Act (NZIA), które wprowadza kryteria pozacenowe do aukcji i sprzyja rozwojowi produkcji komponentów fotowoltaicznych w Europie⁷⁹.

Energia wodna

W krajach Unii Europejskiej występują istotne różnice w stopniu wykorzystania hydroenergetyki. Na wykresie (rys. 15) zaprezentowano łączną produkcję energii elektrycznej z elektrowni wodnych w państwach UE. Liderem w tym zakresie jest Szwecja, osiągająca 68,2 TWh, wyprzedzając Francję (59,4 TWh) oraz Włochy (41,7 TWh). Polska natomiast, z wynikiem 1,7 TWh, plasuje się w końcowej części rankingu. Tak niski poziom produkcji w porównaniu z innymi krajami – również o podobnym ukształtowaniu geograficznym – wskazuje na niewielkie wykorzystanie krajowych zasobów hydroenergetycznych.

⁷⁷ K. Poprawska-Borowiec, *Polska fotowoltaika w europejskiej czołówce*, „Gramzielone” (2025), <https://www.gramzielone.pl/energia-sloneczna/20322198/polska-fotowoltaika-w-europejskiej-czolowce-dynamiczny-rozwoj-i-nowe-wyzwania>.

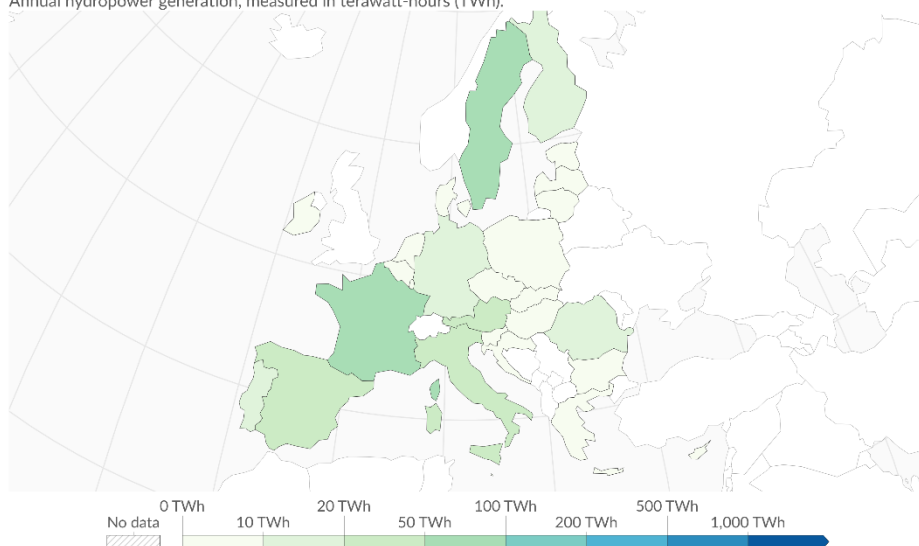
⁷⁸ Instytut Energetyki Odnawialnej, *Rynek fotowoltaiki w Polsce. Fotowoltaika na rynku energii elektrycznej i ciepła...*

⁷⁹ Ibid.

Hydropower generation, 2025

Annual hydropower generation, measured in terawatt-hours (TWh).

Our World
in Data



Data source: Ember (2026); Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2025)

OurWorldinData.org/renewable-energy | CC BY

Rys. 15. Produkcja energii z elektrowni wodnych w Europie (2025)

Źródło: wygenerowano na stronie ourworldindata.org

W tabeli 1 przedstawiono zestawienie ukazujące znaczenie energetyki wodnej w produkcji energii elektrycznej w Polsce, Szwecji oraz w całej Unii Europejskiej. Zgromadzone dane jednoznacznie wskazują na duże rozbieżności zarówno w wartościach bezwzględnych, jak i w proporcjach udziału hydroenergetyki w krajowych i regionalnych miksach energetycznych. W Polsce udział energii wodnej wynosi jedynie 1,21% całkowitej produkcji energii elektrycznej, co odpowiada około 4,2% w strukturze odnawialnych źródeł energii. Tak niski poziom jest rezultatem uwarunkowań naturalnych (nizinny krajobraz, ograniczone zasoby wodne), historycznego uzależnienia od węgla oraz istniejących barier prawno-politycznych. W efekcie hydroenergetyka w Polsce pełni marginalną funkcję w procesie transformacji energetycznej i dekarbonizacji. Odwrotną sytuację obserwuje się w Szwecji, gdzie dominująca pozycja hydroenergetyki wynika zarówno z korzystnych warunków geograficznych (duże zasoby wodne i sprzyjające ukształtowanie terenu), jak i długofalowej polityki wspierającej rozwój dużych elektrowni wodnych. Polska, ze względu na inne warunki naturalne, nie jest w stanie oczywiście osiągnąć szwedzkiego poziomu, jednak zestawienie to podkreśla, jak duże znaczenie mają zarówno czynniki geograficzne, jak i polityczne w kształtowaniu rozwoju hydroenergetyki w Europie. W polskich warunkach realnym kierunkiem pozostaje rozwój małej energetyki wodnej, a także dalsza dywersyfikacja portfela odnawialnych źródeł energii. Na poziomie całej Unii Europejskiej hydroenergetyka zajmuje pozycję pośrednią – odpowiada za około 5,7% całkowitej produkcji energii elektrycznej i 12,8% w obrębie wytwarzania z OZE. Oznacza to, że choć wciąż stanowi istotny element europejskiego systemu energetycznego, jej dalsza ekspansja

jest ograniczona ze względu na warunki geograficzne. Coraz częściej jest ona uzupełniana przez inne technologie odnawialne, przede wszystkim wiatrową i słoneczną.

Tabela 1. Polska, Szwecja i UE – udział hydroenergetyki w miksie energetycznym (2025)

Wskaźnik	Polska	Szwecja	Unia Europejska
Udział OZE w produkcji energii elektrycznej	28.8 %	66.4 %	45.3%
Udział hydroenergetyki w całkowitej produkcji energii elektrycznej	1.21 %	38 %	12.8%
Udział hydroenergetyki w strukturze OZE	4.2%	57.2 %	~28%

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z Eurostat'u

Zgodnie z założeniami zawartymi w kluczowych dokumentach strategicznych, m.in. w *Polityce energetycznej Polski do 2040 roku (PEP 2040)*, jednym z istotnych priorytetów jest stopniowe zwiększanie udziału odnawialnych źródeł energii zarówno w ogólnym zużyciu energii, jak i w produkcji energii elektrycznej. W dokumencie tym jako jeden z celów strategicznych *Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju* wskazano również „rozwój i wykorzystanie potencjału hydroenergetycznego”⁸⁰.

Ramowa Dyrektywa Wodna Unii Europejskiej (2000/60/WE)⁸¹ nakłada na państwa członkowskie obowiązek osiągnięcia „dobrego stanu ekologicznego” wszystkich wód powierzchniowych i podziemnych do 2027 roku, co istotnie wpływa na możliwość realizacji nowych inwestycji hydrotechnicznych w Europie. Choć dyrektywa dopuszcza wyjątki w przypadku nieproporcjonalnych kosztów lub trudności technicznych, jej zapisy dotyczące ciągłości ekologicznej rzek, przepływów minimalnych i stanu hydromorfologicznego stanowią poważne wyzwanie dla rozwoju hydroenergetyki⁸², zwłaszcza w krajach takich jak Polska.

W literaturze podkreśla się, że wymogi środowiskowe, choć kluczowe dla ochrony ekosystemów wodnych, często kolidują z celami transformacji energetycznej, ograniczając budowę nowych obiektów piętrzących lub wymagając kosztownych rozwiązań kompensacyjnych, takich jak przepławki czy systemy obejść biologicznych⁸³. W rezultacie Ramowa Dyrektywa Wodna nie tyle całkowicie blokuje

⁸⁰ Ministry of Climate and Environment, *Energy Policy of Poland until 2040 – 2023 update...*

⁸¹ European Commission, *Water Framework Directive (2000/60/EC)*, (2025).

⁸² K. Huhta, N. Soininen, S. Vesa, *The ecological sustainability of the energy transition in EU law: pro et contra hydropower*, „Journal of Energy & Natural Resources Law” t. 43 nr 1 (2025), DOI: 10.1080/02646811.2024.2331886, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02646811.2024.2331886>.

⁸³ P. Tomczyk, P. Willems, M. Wiatkowski, *Comparative analysis of changes in hydromorphological conditions upstream and downstream hydropower plants on selected rivers in Poland and Belgium*, „Journal of Cleaner Production” t. 328 (2021), DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129524, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652621037033>.

rozwój hydroenergetyki w Polsce, ile wymusza jej przekształcenie w kierunku bardziej zrównoważonych, środowiskowo dostosowanych form⁸⁴.

Hydroenergetyka w Polsce pozostaje sektorem o stosunkowo niewielkim, choć stabilnym znaczeniu w krajowym systemie elektroenergetycznym. Szacuje się, że całkowity potencjał hydroenergetyczny kraju wynosi około 13,7 TWh rocznie. Stopień wykorzystania tego potencjału waha się od 15%⁸⁵ do 20%⁸⁶, zależnie od źródła danych. Ograniczenia rozwoju wynikają głównie z uwarunkowań geograficznych – niewielkich spadków terenu i umiarkowanych przepływów wodnych – które sprawiają, że duże inwestycje hydroenergetyczne są mało opłacalne w porównaniu z krajami górzystymi. Największy potencjał koncentruje się w dorzeczu Wisły i Odry, gdzie funkcjonuje większość istniejących elektrowni wodnych. W efekcie hydroenergetyka pełni w Polsce rolę uzupełniającą wobec innych źródeł odnawialnych⁸⁷.

W 2022 roku krajowe elektrownie wodne wyprodukowały około 2 TWh energii elektrycznej, co odpowiadało blisko 1,1% całkowitej generacji w systemie elektroenergetycznym. W Polsce działa obecnie ponad 770 elektrowni wodnych przepływowych, z których zdecydowana większość to małe obiekty o mocy poniżej 10 MW. Ich łączna moc zainstalowana sięga ok. 937 MW, natomiast największy udział w krajowych mocach hydro mają elektrownie szczytowo-pompowe – łącznie około 1,43 GW⁸⁸. To one właśnie odgrywają szczególną rolę, gdyż pełnią funkcję magazynów energii i w przyszłości mogą stać się ważnym elementem krajowego systemu elektroenergetycznego w Polsce. Wskazuje się przy tym na potencjał adaptacji nieczynnych wyrobisk po kopalniach węgla brunatnego jako lokalizacji dla nowych instalacji. Dzięki dogodnemu położeniu geograficznemu część z tych obszarów mogłaby dodatkowo przynieść pozytywne skutki środowiskowe, m.in. poprzez poprawę funkcjonowania ekosystemów wodnych w centralnej Polsce⁸⁹.

Pośród elektrowni szczytowo-pompowych największą rolę pełnią Żarnowiec i Porąbka-Żar. Elektrownia Żarnowiec dysponuje mocą turbiny ok. 716 MW (a w trybie pompowym nawet do 800 MW) i po modernizacjach oferuje pojemność

⁸⁴ P. Ilnicki i in., *Principles of hydromorphological surveys of Polish rivers*, „Journal of Water and Land Development” t. 14 nr 1 (2010), DOI: 10.2478/v10025-011-0001-9, <http://archive.sciendo.com/JWLD/jwld.2010.14.issue--1/v10025-011-0001-9/v10025-011-0001-9.pdf>.

⁸⁵ K. Błaszczuk, *Wykorzystanie energii wodnej w Polsce: potencjał i wyzwania dla przyszłości*, „Centrumoze” (2025).

⁸⁶ A. Piwowar, M. Dzikuć, *Water Energy in Poland in the Context of Sustainable Development*, „Energies” t. 15 nr 21 (2022), DOI: 10.3390/en15217840, <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/21/7840>.

⁸⁷ K. Błaszczuk, *Wykorzystanie energii wodnej w Polsce: potencjał i wyzwania dla przyszłości...*

⁸⁸ Ibid.

⁸⁹ A. Piasecki, *European Green Deal + Poland + hydroelectric plants = Future?*, „Hungarian Geographical Bulletin” t. 72 nr 4 (2024), DOI: 10.15201/hungeobull.72.4.5, <https://ojs3.mtak.hu/index.php/hungeobull/article/view/12115>.

magazynowania energii sięgającą 3,6 GWh⁹⁰. Porąbka-Żar, zlokalizowana w Górach Beskidzkich i działająca jako jedyny podziemny ESP w Polsce, ma moc rzędu ok. 540 MW i obecnie przechodzi kompleksową modernizację turbozespołów i generatorów, mającą na celu zwiększenie sprawności i wydłużenie żywotności instalacji⁹¹. W modernizację włączana jest także para Solina–Myczkowce, która pełnić może funkcje mieszanej pracy szczytowo-pompowej, co pozwala na wzrost dostępnych usług elastycznościowych (w ramach rynku bilansującego, ESP – Żarnowiec i Porąbka-Żar są już aktywnie zaangażowane w ten obszar). Zatem modernizacja i adaptacja istniejącej infrastruktury hydroenergetycznej stają się jednym z najbardziej realistycznych sposobów zwiększenia „systemowej” elastyczności, wspierając rozwój małej hydroenergetyki i integrację OZE⁹². Rozmieszczenie potencjału hydroenergetycznego w Polsce przedstawiono na rysunku 16.

POTENCJAŁ HYDROENERGETYCZNY



Rys. 16. Potencjał hydroenergetyczny Polski

Źródło: Posiedzenie plenarne Komitetu Gospodarki Energetycznej FSNT NOT, prezentacja dr hab. Janusza Stellera (Polska Akademia Nauk)

⁹⁰ K. Błaszczyk, *Jak działa elektrownia wodna Żarnowiec - tajemnice energii szczytowo-pompowej*, „Centrumoże” (2025).

⁹¹ P. Molenda, *Modernizacja elektrowni Porąbka-Żar – 1 mld zł na podziemny gigant energetyczny w Polsce*, „top-oze” (2024).

⁹² Zespół Ekspertki do spraw Budowy Elektrowni Szczytowo-Pompowych, *Rola elektrowni szczytowo-pompowych w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym: uwarunkowania i kierunki rozwoju*, (2022).

Wyniki badań Piwowar i Dzikuć wskazują, że krajowa hydroenergetyka może odegrać znaczącą rolę w budowie systemu niskoemisyjnego oraz wzmocnieniu bezpieczeństwa energetycznego państwa. Szacuje się, że wzrost produkcji energii z elektrowni wodnych o 5% pozwoliłby ograniczyć emisję dwutlenku węgla o około 140 tys. ton. Jednocześnie energetyka wodna pełni ważną funkcję stabilizującą krajowy system elektroenergetyczny, wspierając jego elastyczność i równowagę⁹³.

W literaturze dotyczącej transformacji energetycznej coraz częściej podkreśla się konieczność budowy wielopoziomowej elastyczności systemu elektroenergetycznego, opartej na współpracy różnych technologii magazynowania i regulacji mocy. W warunkach polskich szczególnie uzasadnione jest połączenie trzech komplementarnych typów zasobów: małej energetyki wodnej (MEW), bateryjnych magazynów energii (BESS) oraz elektrowni szczytowo-pompowych (ESP). Każda z tych technologii pełni odmienną funkcję czasową w bilansowaniu systemu, a ich synergia może zapewnić stabilność Krajowego Systemu Elektroenergetycznego w obliczu rosnącego udziału źródeł niestabilnych, takich jak fotowoltaika i wiatr⁹⁴.

Mała energetyka wodna stanowi źródło energii odnawialnej o wysokiej przewidywalności i możliwości krótkookresowej regulacji. W odróżnieniu od PV czy wiatru, praca elektrowni wodnych jest w dużej mierze sterowalna – pozwala na precyzyjne dostosowanie produkcji do lokalnego zapotrzebowania przy niskich kosztach operacyjnych i bardzo małej emisji CO₂. Tego typu instalacje mogą więc pełnić rolę stabilnych „mikro-magazynów” energii w skali godzinowej, zwłaszcza gdy są zintegrowane z lokalnymi systemami magazynowania krótkiej pracy⁹⁵.

Bateryjne magazyny energii działają w znacznie krótszym horyzoncie czasowym – reagują w sekundach lub minutach, co czyni je kluczowym narzędziem utrzymania częstotliwości i napięcia w sieci. BESS może kompensować szybkie fluktuacje generacji z OZE (np. chwilowe spadki mocy wiatrowych czy wzrosty nasłonecznienia), pełniąc rolę „bufora” dla systemu. Ich pojemność energetyczna jest ograniczona (typowo do kilku godzin pracy), ale dzięki szybkiemu czasowi reakcji i możliwości pracy w trybie automatycznym stanowią niezbędne uzupełnienie zarówno małej energetyki wodnej, jak i dużych magazynów wodnych⁹⁶.

⁹³ A. Piwowar, M. Dzikuć, *Water Energy in Poland in the Context of Sustainable Development...*

⁹⁴ W. Yang i in., *Pumped storage hydropower operation for supporting clean energy systems*, „Nature Reviews Clean Technology” t. 1 nr 7 (2025), DOI: 10.1038/s44359-025-00057-x, <https://www.nature.com/articles/s44359-025-00057-x>.

⁹⁵ S. Thapa, T. Magee, E. Zagana, *Factors That Affect Hydropower Flexibility*, „Water” t. 14 nr 16 (2022), DOI: 10.3390/w14162563, <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/16/2563>.

⁹⁶ Y. Wang i in., *The value of hydropower flexibility for electricity system decarbonization*, „Energy Reports” t. 13 (2025), DOI: 10.1016/j.egyr.2025.02.019, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352484725001027>; Z. Wu i in., *Flexibility definition and improvement of pumped hydro storage: A techno-economic analysis*, „Journal of Energy Storage” t. 93 (2024), DOI: 10.1016/j.est.2024.112078, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352152X24016645>.

Z kolei elektrownie szczytowo-pompowe (ESP) – takie jak Żarnowiec czy Porąbka-Żar – zapewniają magazynowanie energii w skali dobowej i tygodniowej. Działają poprzez pompowanie wody z dolnego zbiornika do górnego w czasie nadwyżki energii (np. w południe przy dużej produkcji PV), a następnie generują energię w okresach zwiększonego zapotrzebowania. Ich ogromna pojemność (rzędu kilku GWh) czyni je najbardziej efektywnym narzędziem bilansowania długookresowego w polskim systemie elektroenergetycznym.

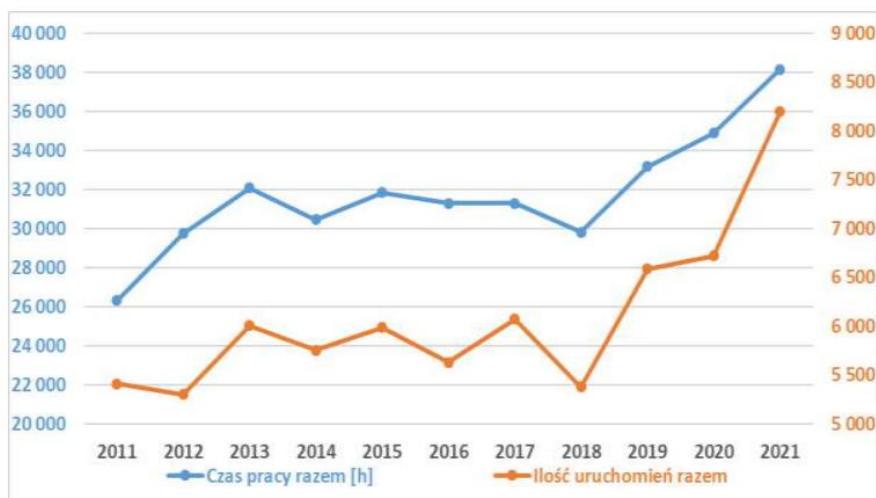
Współdziałanie tych trzech kategorii zasobów – MEW, BESS i ESP – tworzy hierarchiczny system elastyczności: od sekundowych reakcji (BESS), przez regulacje godzinowe (MEW), po magazynowanie wielodniowe (ESP). Taka architektura odpowiada na rosnące potrzeby elastyczności wskazywane w raportach unijnych⁹⁷ i może znacząco ograniczyć zjawiska takie jak redukcje produkcji fotowoltaicznej, które wystąpiły w Polsce w 2024 roku. W tym ujęciu modernizacja i integracja istniejących zasobów wodnych – zarówno małych elektrowni, jak i dużych ESP – stanowi bardziej realne, społecznie akceptowalne i środowiskowo zrównoważone rozwiązanie niż budowa nowych zapór wodnych. Taki model wpisuje się również w strategię „systemowego magazynowania energii”, rozwijaną m.in. przez Hitachi Energy (2023)⁹⁸ i Międzynarodową Agencję Energetyczną (2024)⁹⁹, w której różne technologie magazynowania współdziałają w ramach jednej infrastruktury regulacyjnej.

Znaczenie elektrowni szczytowo-pompowych w krajowym systemie elektroenergetycznym potwierdza poziom ich eksploatacji, przedstawiony na rysunku 17.

⁹⁷ European Commission, *Flexibility requirements and the role of storage in future European power systems...*

⁹⁸ Hitachienergy, *The technologies adding flexibility to the future low-carbon power system*, (2023).

⁹⁹ International Energy Agency (IEA), *Batteries and Secure Energy Transitions*, „World Energy Outlook Special Report” (2024).



Rys. 17. Czas pracy i ilość uruchomień ESP Żarnowiec, Porąbka-Żar, Solina, Dychów w latach 2011-2021

Źródło: Raport „Rola elektrowni szczytowo-pompowych w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym: uwarunkowania i kierunki rozwoju” Zespół Ekspertki do spraw Budowy Elektrowni Szczytowo-Pompowych powołany przez Prezesa Rady Ministrów w 2022 r.

Hydroenergetyka, mimo swojej długiej tradycji i kluczowego znaczenia w rozwoju energetyki odnawialnej w Europie, w Polsce pozostaje sektorem o ograniczonym, choć stabilnym znaczeniu. Wynika to przede wszystkim z uwarunkowań geograficznych i hydrologicznych, które ograniczają możliwości budowy dużych elektrowni wodnych. Udział energii wodnej w krajowym miksie energetycznym utrzymuje się na poziomie ok. 1–1,2%, co stanowi zaledwie kilka procent w strukturze odnawialnych źródeł energii. Jednocześnie obserwuje się rosnące znaczenie małej hydroenergetyki, modernizacji istniejących obiektów oraz rozwoju elektrowni szczytowo-pompowych, które odgrywają coraz istotniejszą rolę w bilansowaniu systemu elektroenergetycznego i magazynowaniu energii.

Regulacje unijne, w tym Ramowa Dyrektywa Wodna, wymuszają przekształcenie krajowej hydroenergetyki w kierunku bardziej zrównoważonych, środowiskowo dostosowanych rozwiązań, ograniczając możliwość realizacji nowych inwestycji hydrotechnicznych. W tych warunkach modernizacja infrastruktury istniejącej oraz integracja hydroenergetyki z innymi technologiami magazynowania energii stają się kluczowym kierunkiem rozwoju. W efekcie sektor ten, choć nie ma potencjału, by znacząco zwiększyć udział w krajowej produkcji energii elektrycznej, pełni coraz ważniejszą funkcję stabilizacyjną i systemową w transformacji energetycznej Polski, wspierając bezpieczeństwo energetyczne i elastyczność Krajowego Systemu Elektroenergetycznego.

Biomasa i biogaz

Zgodnie z obowiązującymi regulacjami prawnymi, pojęcie biomasy zostało precyzyjnie zdefiniowane w ustawie z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (z późniejszymi zmianami), która określa jej zakres, pochodzenie oraz rodzaje materiałów uznawanych za surowce energetyczne pochodzenia biologicznego.

Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii z późn. zmianami:

- Biomasa, to ulegająca biodegradacji część produktów, odpadów lub pozostałości pochodzenia biologicznego z rolnictwa, w tym substancje roślinne i zwierzęce, leśnictwa i związanych działów przemysłu, w tym rybołówstwa i akwakultury, przetworzoną biomasę, w szczególności w postaci brykietu, pelletu, toryfikatu i biowęgla, a także ulegającą biodegradacji część odpadów przemysłowych lub komunalnych pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, w tym odpadów z instalacji do przetwarzania odpadów oraz odpadów z uzdatniania wody i oczyszczania ścieków, w szczególności osadów ściekowych, zgodnie z przepisami o odpadach w zakresie kwalifikowania części energii odzyskanej z termicznego przekształcania odpadów.
- Biomasa pochodzenia rolniczego, to biomasa pochodząca z upraw energetycznych, a także odpady lub pozostałości z produkcji rolnej oraz przemysłu przetwarzającego jej produkty.
- Biogaz, to gaz otrzymywany w procesie fermentacji metanowej surowców roślinnych, zwierzęcych lub odpadów pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, w tym odpadów komunalnych ulegających biodegradacji, osadów ściekowych, odpadów z oczyszczalni ścieków oraz odpadów z przemysłu spożywczego¹⁰⁰.

Mimo że biomasa nie jest jeszcze w pełni wykorzystywana w krajowym sektorze energetyki i ciepłownictwa, jej potencjał predestynuje ją do odegrania kluczowej roli w procesie transformacji energetycznej Polski. Szacunki ekspertów wskazują, że corocznie niewykorzystanych pozostaje od 6 do 10 milionów ton biomasy rolniczej, która mogłaby zostać przeznaczona na cele energetyczne. Znaczące rezerwy tkwią również w uprawach roślin energetycznych — według różnych analiz ich potencjał wytwórczy wynosi od 15 do 25 milionów ton biomasy rocznie. W perspektywie 2–4 lat surowiec ten mógłby pokrywać od 20 do 30% krajowego zapotrzebowania na energię pierwotną. Istotnym elementem krajowych zasobów jest także biomasa leśna, pozyskiwana głównie przez Lasy Państwowe, lecz według danych Stowarzyszenia Leśników i Właścicieli Lasów w lasach prywatnych możliwe byłoby dodatkowe pozyskanie około 5 milionów m³ drewna rocznie, z czego część mogłaby znaleźć zastosowanie energetyczne¹⁰¹.

Zgodnie z analizą opublikowaną przez Centrum Informacji o Rynku Energii (CIRE, 2022), w ostatnich latach obserwuje się wyraźny wzrost wykorzystania

¹⁰⁰ Dz.U.2023.1436, *Ustawa o odnawialnych źródłach energii z dnia 20.02.2015 r., art. 184l ust. 1-2.*

¹⁰¹ Ł. Ściubak i in., *Raport Biomasa w Polsce*, „Biomass Media Group” (2023).

biomasy leśnej w polskiej energetyce zawodowej. Zwiększone zużycie tego surowca wynika z rosnącego zapotrzebowania na stabilne, sterowalne źródła energii odnawialnej, które mogą wspierać system elektroenergetyczny w okresach niskiej produkcji z wiatru i słońca. Eksperti zwracają jednak uwagę, że część wykorzystywanej biomasy pochodzi z drewna pełnowartościowego, co rodzi wątpliwości w zakresie jej zrównoważonego pozyskiwania. Mimo kontrowersji środowiskowych biomasa leśna pozostaje istotnym elementem krajowego miksu OZE, a dalszy rozwój tego segmentu wymaga dopracowania systemu certyfikacji i nadzoru nad pochodzeniem surowca¹⁰².

Biomasa wyróżnia się spośród innych źródeł odnawialnych wysoką stabilnością i pełną sterowalnością procesu wytwarzania energii, niezależnie od warunków meteorologicznych. Instalacje biomasowe można elastycznie uruchamiać i zatrzymywać, dostosowując ich pracę do bieżącego zapotrzebowania, bez konieczności budowy dodatkowych magazynów energii¹⁰³. Tego typu rozwiązania stanowią szczególnie perspektywiczną alternatywę dla modernizacji polskiego ciepłownictwa, opartego obecnie w dużej mierze na węglu.

Doświadczenia krajów zachodnioeuropejskich, takich jak Wielka Brytania, Dania, Niemcy czy Austria, dowodzą, że długofalowa polityka wsparcia i stabilne otoczenie regulacyjne sprzyjają rozwojowi infrastruktury dedykowanej wykorzystaniu biomasy w energetyce¹⁰⁴. Polska, dysponując znacznym potencjałem surowcowym, wymaga spójnych i przewidywalnych mechanizmów polityczno-prawnych, które umożliwią strategiczne inwestycje w tym obszarze¹⁰⁵.

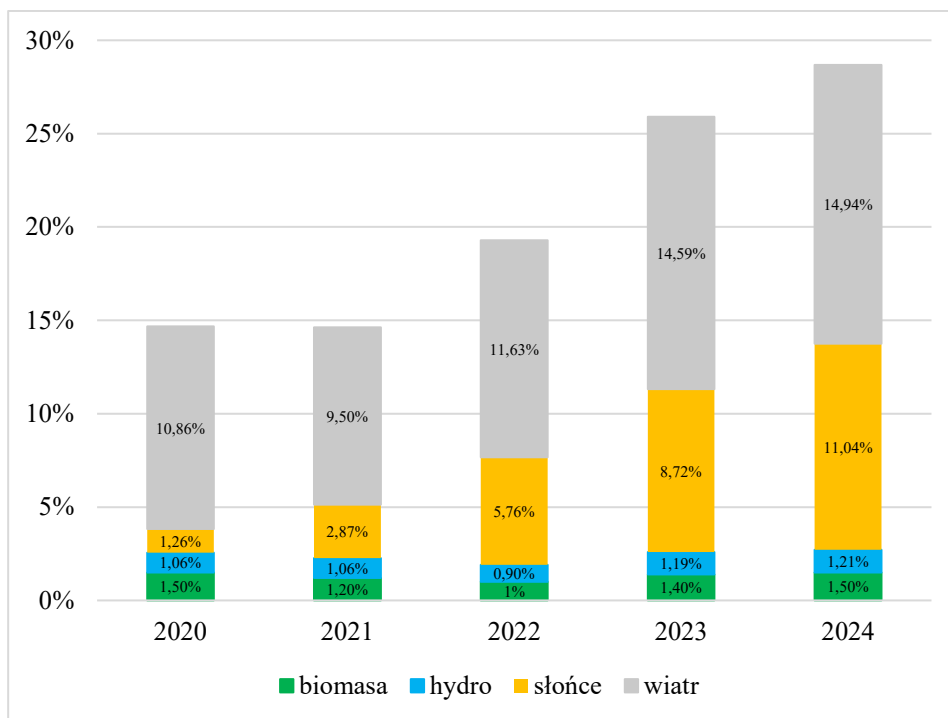
Rysunek 18 przedstawia zmiany w strukturze produkcji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii w Polsce w latach 2020–2024. W tym okresie widoczny jest systematyczny wzrost całkowitego udziału OZE – z nieco ponad 14% w 2020 roku do blisko 29% w 2024 roku. Jednak biomasa, jak i hydroenergetyka utrzymują stabilne, niewielkie udziały – odpowiednio około 1,5% i 1,2% – co wskazuje, że ich potencjał wzrostu jest ograniczony.

¹⁰² Centrum Informacji Rynku Energii, *Rośnie ilość biomasy leśnej spalanej w energetyce*, „Agencja Rynku Energii” (2022).

¹⁰³ A. Purkus i in., *Contributions of flexible power generation from biomass to a secure and cost-effective electricity supply—a review of potentials, incentives and obstacles in Germany*, „Energy, Sustainability and Society” t. 8 nr 1 (2018), DOI: 10.1186/s13705-018-0157-0, <https://energysustainsoc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13705-018-0157-0>.

¹⁰⁴ International Energy Agency (IEA), *Flexible bioenergy policies in different countries Summary report*, „IEA Bioenergy: Task 44 Flexible Bioenergy and System Integration” (2025).

¹⁰⁵ M. Banja i in., *Biomass for energy in the EU – The support framework*, „Energy Policy” t. 131 (2019), DOI: 10.1016/j.enpol.2019.04.038, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421519302873>; F. Wu, S. Pfenninger, *Challenges and opportunities for bioenergy in Europe: National deployment, policy support, and possible future roles*, „Bioresource Technology Reports” t. 22 (2023), DOI: 10.1016/j.biteb.2023.101430, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2589014X23001019>.

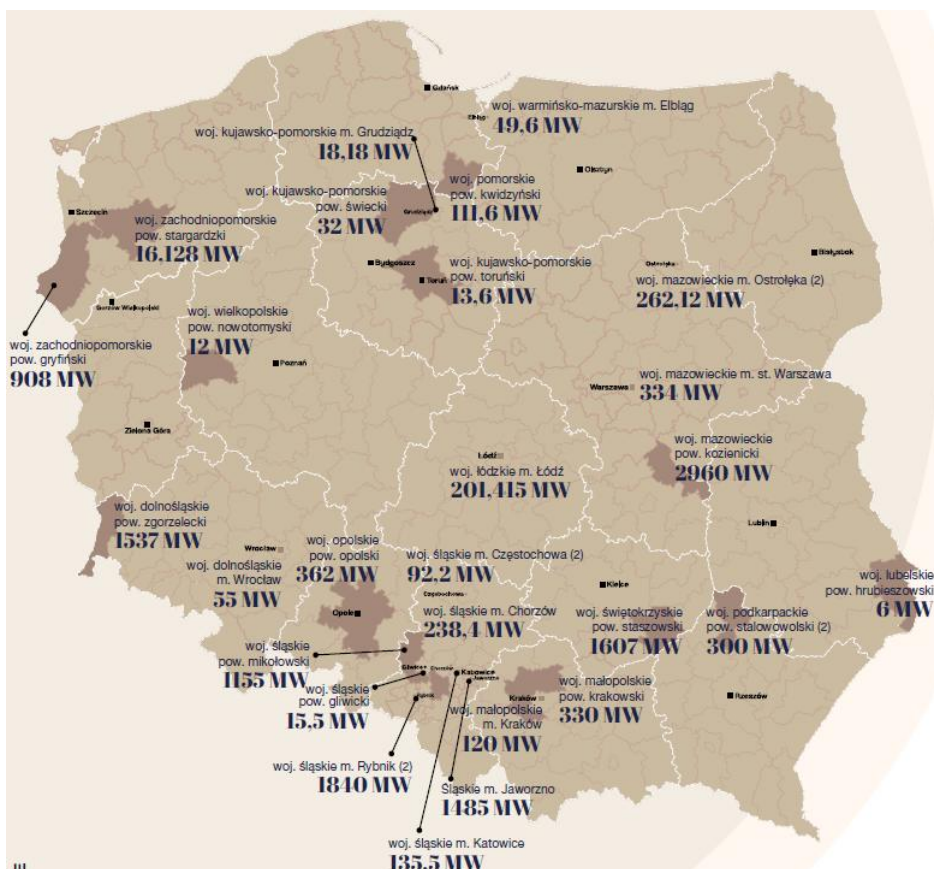


Rys. 18. Udział odnawialnych źródeł energii (słońce, wiatr, biomasa i hydroenergia) w produkcji energii elektrycznej w Polsce w latach 2020-2024
Źródło: opracowanie własne

Schipfer i współautorzy wskazują, że bioenergia ma potencjał pełnienia roli elastycznego źródła energii w systemach z rosnącym udziałem OZE. Dzięki technologiom kogeneracyjnym i możliwości łączenia z magazynami ciepła może ona stabilizować produkcję energii w okresach wahań generacji z wiatru i słońca. Autorzy podkreślają, że elastyczna bioenergia stanowi istotny element przyspieszający transformację energetyczną i poprawiający efektywność wykorzystania zasobów¹⁰⁶.

Na mapie (rys. 19) przedstawiono lokalizacje 32 instalacji współpalających biomasę lub biogaz z innymi paliwami, o łącznej mocy zainstalowanej wynoszącej 1419,243 MW (stan na 2022 r.).

¹⁰⁶ F. Schipfer i in., *Status of and expectations for flexible bioenergy to support resource efficiency and to accelerate the energy transition*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” t. 158 (2022), DOI: 10.1016/j.rser.2022.112094, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032122000247>.



Rys. 19. Instalacje współpalające biomasę lub biogaz z innymi paliwami (stan na 12.04.22 r.)
Źródło: Urząd Regulacji Energetyki

Na kolejnej mapie (rys. 20) zaprezentowano rozmieszczenie 55 instalacji spalających samą biomasę na terenie Polski, o łącznej mocy zainstalowanej wynoszącej 1512,305 MW (stan 2022 r.), co obrazuje skalę i geograficzne zróżnicowanie wykorzystania biomasy w krajowej energetyce.

Największym zasobem biomasy w kraju jest słoma – jej krajowy potencjał oceniono na ponad 34 mln ton rocznie, z czego około 30% wykorzystuje się w rolnictwie, a pozostała część może zostać przeznaczona na cele energetyczne. Oprócz słomy istotnym źródłem są odpady drzewne, których potencjał szacowany jest na ok. 87,8 PJ rocznie, głównie w regionach o największej lesistości (zachodniopomorskie, warmińsko-mazurskie, lubuskie, wielkopolskie, dolnośląskie i pomorskie)¹⁰⁸.

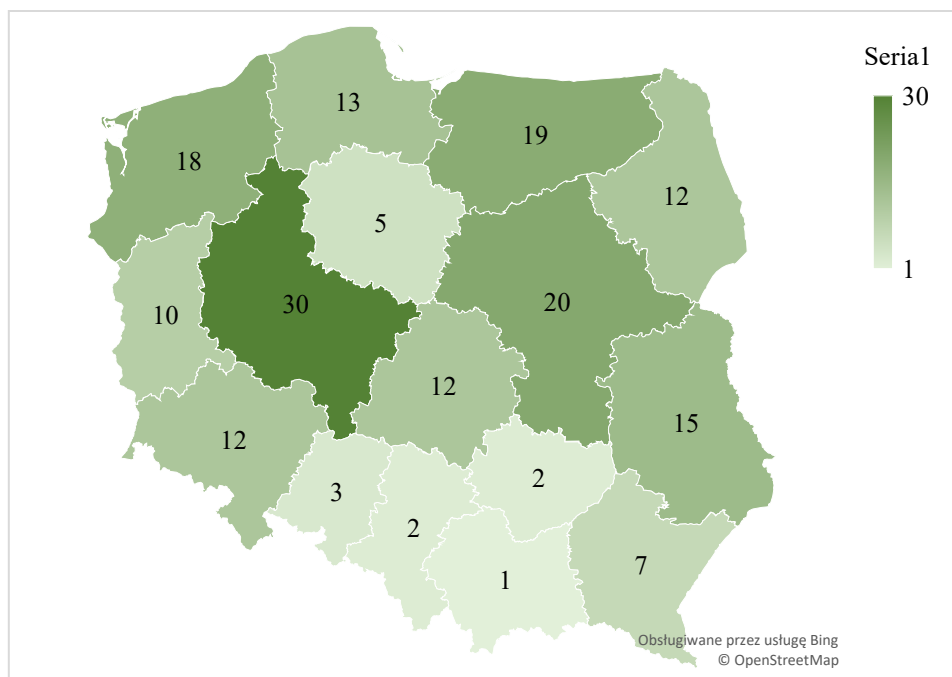
Raport Biomasa w Polsce zwraca uwagę na niewykorzystany potencjał biomasy rolnej, w tym siana i zagajników wieloletnich. Plantacje energetyczne zajmują zaledwie 0,13% powierzchni użytków rolnych, mimo że mogłyby znacząco zwiększyć krajową podaż surowca. Jednocześnie Polska wciąż boryka się z brakiem jednolitej bazy danych o dostępności biomasy oraz niedoborem krajowego surowca, co po 2022 roku zaostriżyło się w wyniku wstrzymania importu z Białorusi, Rosji i Ukrainy. Według szacunków branży, na rynku brakuje ok. 3,5 mln ton biomasy rocznie, a ceny pelletu i zrębki drzewnej w latach 2021–2022 wzrosły nawet czterokrotnie. Szczególny nacisk położono na biomasę agro, która – w opinii autorów raportu – może odegrać kluczową rolę w dekarbonizacji ciepłownictwa i elektroenergetyki. W Polsce marnuje się 6–10 mln ton biomasy rolniczej rocznie, która mogłaby zostać wykorzystana do celów energetycznych, a dodatkowo możliwe byłoby pozyskanie 15–25 mln ton biomasy z plantacji energetycznych spełniających wymogi RED II i RED III. Według danych URE cytowanych w raporcie, biomasa i biogaz odpowiadają za niewielką część mocy zainstalowanej w systemie aukcyjnym OZE – odpowiednio 26,4 MW i 57,2 MW w latach 2016–2020. Potwierdza to, że mimo dużego potencjału surowcowego, technologie te są nadal marginalnie wykorzystywane w porównaniu z fotowoltaiką i energetyką wiatrową¹⁰⁹.

Raport krytycznie ocenia brak stabilnych warunków inwestycyjnych i systemowych zachęt dla biomasy, zwracając uwagę, że wcześniejsze błędy regulacyjne („Lex Energa”) doprowadziły do upadku ok. 90% plantatorów biomasy energetycznej. Autorzy postulują utworzenie Narodowego Programu Biomasy Agro dla Energetyki, obejmującego cały łańcuch – od upraw i przetwórstwa po modernizację energetyki zawodowej i lokalnej. Biogaz i biomasa agro mogą odegrać ważną rolę w lokalnych systemach ciepłowniczych, zwłaszcza na terenach wiejskich i w regionach o dużym udziale rolnictwa. Biomasa jest jedynym krajowym źródłem OZE, które zapewnia energię dyspozycyjną i może zastąpić paliwa kopalne w ciepłownictwie bez konieczności magazynowania energii¹¹⁰.

¹⁰⁸ Ł. Ściubak i in., *Raport Biomasa w Polsce...*

¹⁰⁹ Ibid.

¹¹⁰ Ibid.



Rys. 21. Mikrobiogazownie rolnicze na terenie Polski, stan na 2024 r.
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Regulacji Energetyki

Na dzień 31 grudnia 2024 r. w Polsce funkcjonowało 65 mikrobiogazowni rolniczych (rys. 21). Z przekazanych danych Krajowego Ośrodka Wsparcia Rolnictwa (KOWR, 2025) wynika, że rok 2024 był rekordowy dla sektora biogazu rolniczego w Polsce. Wytworzona moc w biogazowniach rolniczych była ponad dwukrotnie wyższa niż dekadę wcześniej, a roczna produkcja odnawialnego gazu osiągnęła poziom ok. 690 mln m³. Mimo to, w kraju nadal nie powstała żadna biometanownia oparta na biogazie rolniczym, co wskazuje na wciąż niewykorzystany potencjał sektora. Według stanu na 24 marca 2025 r. w rejestrze KOWR figuruje 181 biogazowni rolniczych, należących do 151 podmiotów. Zdecydowana większość z nich (143) prowadzi działalność wyłącznie w zakresie produkcji energii elektrycznej, natomiast jedynie 7 podmiotów deklaruje dodatkowe wykorzystanie biogazu (np. spalanie w kotłach lub sprzedaż innym wytwórcom). W 2024 r. do produkcji biogazu wykorzystano 7,55 mln ton surowców, z czego ok. 92% stanowiły odpady. Największy udział miały: wywar pogorzelniany (20,17%), pozostałości owocowo-warzywne (16,13%) oraz gnojowica (15,8%). W procesie fermentacji uzyskano 468,5 mln m³ biogazu, z czego 451 mln m³ przeznaczono na produkcję energii elektrycznej, a resztę – na cele technologiczne lub sprzedaż innym odbiorcom. Łącznie wytworzono ponad 1012 GWh energii elektrycznej, z czego około 841 GWh trafiło do krajowego systemu elektroenergetycznego. W procesie powstało również ponad 6 mln ton pofermentu, wykorzystywanego jako nawóz organiczny. Dane te potwierdzają, że polski sektor biogazu rolniczego dynamicznie się rozwija, jednak jego pełny potencjał – zwłaszcza w kontekście produkcji biometanu i regionalnej samowystarczalności energetycznej – pozostaje w dużej mierze niewykorzystany.

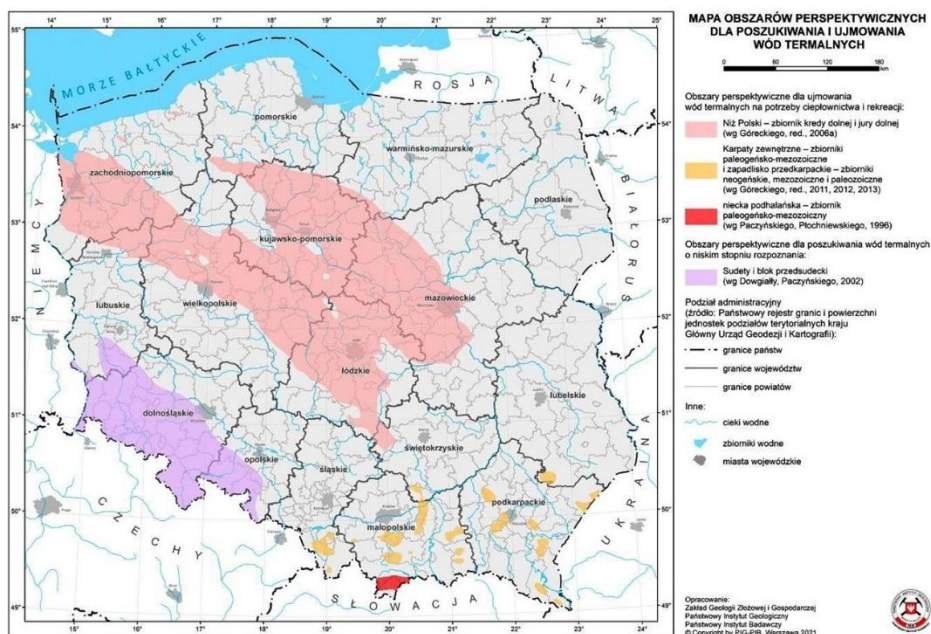
Geotermia

Energia geotermalna, zgodnie z ustawą o odnawialnych źródłach energii z 20 lutego 2015 r., zaliczana jest do odnawialnych źródeł energii. Stanowi ona naturalne ciepło zgromadzone pod powierzchnią Ziemi, wytwarzane głównie w wyniku rozpadu pierwiastków promieniotwórczych, takich jak potas, uran i tor, oraz w mniejszym stopniu z energii słonecznej przenikającej w głąb skorupy ziemskiej i procesów geofizycznych zachodzących we wnętrzu planety. Wraz z głębokością temperatura Ziemi rośnie przeciętnie o 25–30°C na kilometr, a w niektórych rejonach przekracza 40°C/km, co sprzyja eksploatacji zasobów geotermalnych. Wytwarzanie energii elektrycznej z geotermii jest opłacalne głównie na obszarach, gdzie występują złoża pary o temperaturze przekraczającej 150°C. W przypadku niższych temperatur stosuje się tzw. układy binarne, w których obieg ciepła opiera się na dwóch czynnikach roboczych – wodzie geotermalnej oraz substancji o znacznie niższej temperaturze wrzenia, umożliwiającej efektywne przekształcanie energii cieplnej w elektryczną¹¹¹.

Polska dysponuje znacznym potencjałem geotermalnym. Badania geologiczne wskazują, że złoża wód termalnych występują na ponad połowie powierzchni kraju, a około 25% obszaru ma warunki do ich wykorzystania w ciepłownictwie. Najbardziej perspektywiczne regiony to Niż Polski i Podhale, gdzie temperatury złóż sięgają od 30 do 130°C. Według raportu Forum Energii udział geotermii w krajowym miksie OZE wynosi ok. 0,3%, co stanowi jedną dziesiątą średniej unijnej. Szacuje się jednak, że zasoby eksploatacyjne mogą pokryć 20–30% krajowego zapotrzebowania na ciepło. Coraz większe zainteresowanie inwestycjami w tym obszarze przejawiają samorządy, a Państwowy Instytut Geologiczny wraz z Ministerstwem Klimatu i NFOŚiGW prowadzi program oceny potencjału geotermalnego gmin, w ramach którego ok. 40% lokalizacji uzyskało pozytywną ocenę do dalszych prac inwestycyjnych¹¹². Jedna z map stworzona przez Państwowy Instytut Geologiczny Państwowego Instytutu Badawczego została przedstawiona na rysunku 22.

¹¹¹ G. Litke, *Geotermia w Polsce*, „Bank Ochrony Środowiska” (2024).

¹¹² P. Kleinschmidt, *Geotermia – stabilny grunt w ciepłownictwie. Rola geotermii w transformacji sektora ciepła*, „Forum Energii” (2024).



Rys. 22. Mapa obszarów perspektywicznych dla poszukiwania i ujmowania wód termalnych
Źródło: Państwowy Instytut Geologiczny

W Polsce, ze względu na umiarkowane temperatury złóż, energia geotermalna wykorzystywana jest obecnie głównie w celach grzewczych, leczniczych oraz rekreacyjnych. Na terenie kraju działa obecnie siedem ciepłowni geotermalnych o łącznej mocy zainstalowanej 131,9 MWt (tab. 2).

Tabela 2. Elektrownie geotermalne zlokalizowane na terenie Polski, stan na 2025 r.

Nazwa ciepłowni geotermalnej i rok uruchomienia	Temperatura złoże [°C]	Wydajność [m³/h]	Moc zainstalowana [MWt]
PEC Geotermia Podhalańska SA (Podhale) - 1993	82–86	960	70,0
Geotermia Pyrzyce Sp. z o.o. - 1996	61	360	6,0
Geotermia Mazowiecka SA (Mszczonów) - 2000	42	60	3,7
Geotermia Uniejów Sp. z o.o. - 2001	68	120	3,2
G-TERM ENERGY Sp. z o.o. (Stargard) - 2006	83	180	18,5
Geotermia Poddębice Sp. z o.o. - 2013	68	252	10,0
Geotermia Toruń Sp. z o.o. - 2022	61	320	21,5

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Regulacji Energetyki

Sektor geotermalny w Polsce znajduje się w fazie stabilnego, choć wciąż ograniczonego rozwoju. Kraj dysponuje znacznym potencjałem zasobów ciepłych, jednak ich wykorzystanie pozostaje w dużej mierze skoncentrowane na celach ciepłowniczych i rekreacyjnych. Udział geotermii w krajowym miksie energetycznym jest nadal marginalny (ok. 0,3%), mimo że zasoby eksploatacyjne mogłyby pokryć znaczną część zapotrzebowania na ciepło. Rozwój sektora napędzają przede wszystkim inicjatywy samorządowe oraz wsparcie instytucjonalne PIG-PIB i NFOŚiGW, które prowadzą systematyczne badania i oceny potencjału geotermalnego gmin. W kontekście transformacji energetycznej geotermia stanowi ważne uzupełnienie krajowego systemu OZE, oferując stabilne, niezależne od warunków pogodowych źródło ciepła, o wysokim potencjale lokalnym i niskim oddziaływaniu środowiskowym.

Jednocześnie należy podkreślić, że intensyfikacja eksploatacji zasobów geotermalnych wiąże się z pewnym poziomem niepewności i potencjalnym ryzykiem środowiskowym. Długotrwałe wykorzystanie złóż może wpływać na bilans i jakość wód podziemnych, a w skrajnych przypadkach prowadzić do zmian ciśnienia i temperatury w warstwach wodonośnych. Skala tych oddziaływań jest trudna do jednoznacznego oszacowania, ponieważ zależy od lokalnych warunków geologicznych i technologii eksploatacji. Z tego względu rozwój geotermii w Polsce powinien być oparty na zasadach zintegrowanego zarządzania zasobami wodno-energetycznymi, łączącego aspekty techniczne, środowiskowe i społeczne w ramach długofalowej strategii zrównoważonego wykorzystania energii¹¹³.

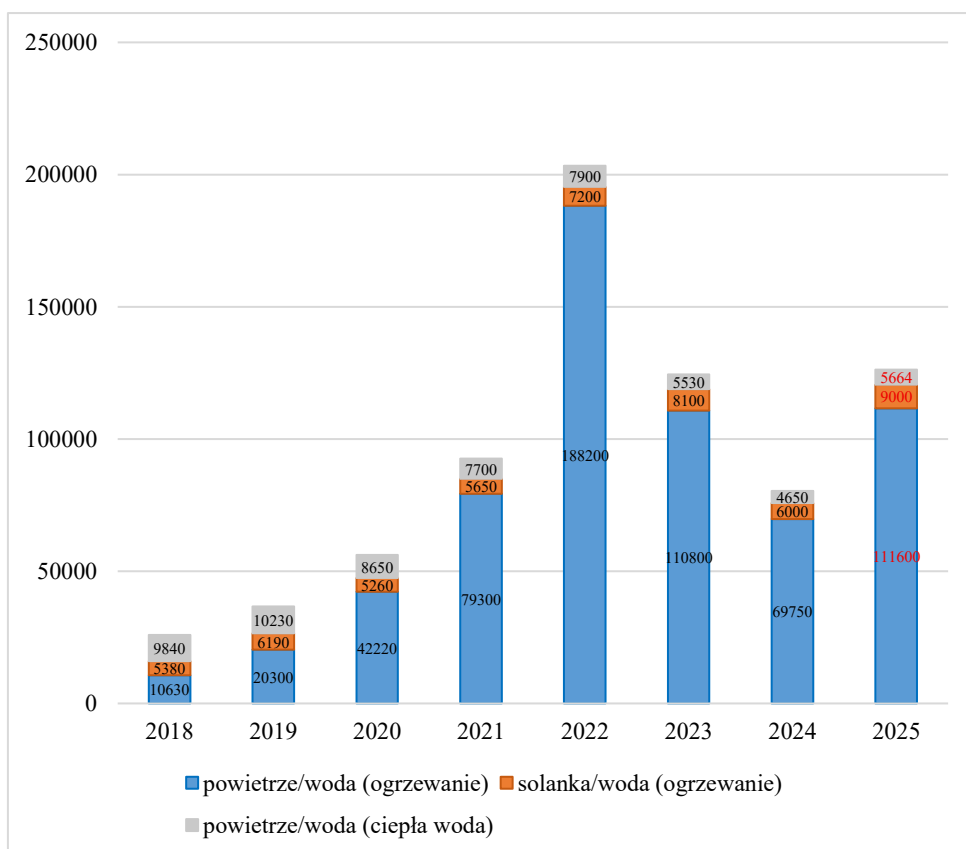
Pompy ciepła

Rok 2022 stanowił moment przełomowy w rozwoju krajowego rynku pomp ciepła, który osiągnął wówczas rekordowy poziom sprzedaży (rys. 23). Wzrost ten był wynikiem zarówno rosnącej świadomości ekologicznej społeczeństwa i kampanii promujących odejście od paliw kopalnych, jak i czynników zewnętrznych, takich jak niepewność energetyczna czy zapowiedzi programów wsparcia inwestycji proekologicznych. Technologia, dotychczas postrzegana jako rozwiązanie niszowe, zyskała status kluczowego elementu transformacji energetycznej w sektorze grzewczym. Jak wskazuje raport Stowarzyszenia Producentów i Importerów Urządzeń Grzewczych, po okresie intensywnego wzrostu nastąpiło gwałtowne spowolnienie koniunktury. W 2024 roku sprzedaż pomp ciepła spadła średnio o 33% w porównaniu z rokiem poprzednim, co oznacza powrót do poziomu z 2021 roku – ostatniego sezonu względnej stabilności w branży. Szczególnie silny regres

¹¹³ M. Bošnjaković, M. Stojkov, *Environmental Impact of Geothermal Power Plants*, „Tehnicki vjesnik - Technical Gazette” t. 26 nr 5 (2019), DOI: 10.17559/TV-20180829122640, <https://hrcak.srce.hr/226053>; L. Pająk i in., *Review of the Low-Enthalpy Lower Cretaceous Geothermal Energy Resources in Poland as an Environmentally Friendly Source of Heat for Urban District Heating Systems*, „Energies” t. 13 nr 6 (2020), DOI: 10.3390/en13061302, <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/6/1302>; M. Tyszer i in., *Geothermal Water Management Using the Example of the Polish Lowland (Poland)—Key Aspects Related to Co-Management of Drinking and Geothermal Water*, „Energies” t. 13 nr 10 (2020), DOI: 10.3390/en13102412, <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/10/2412>.

odnotowano w segmencie pomp powietrze–woda (spadek o ok. 40%), natomiast segment gruntowych pomp ciepła utrzymał stabilność, a w ostatnim kwartale roku wykazał wzrost sprzedaży o 17% w stosunku do kwartału wcześniejszego¹¹⁴.

Kryzys z 2024 roku był konsekwencją nadmiernej dynamiki rynku, braku jednolitych regulacji oraz niedostatecznego przygotowania systemowego, a także ograniczoną dostępność wykwalifikowanych instalatorów, niedostosowanie łańcuchów dostaw oraz wzrost liczby błędów montażowych i projektowych. Jak podkreśla SPIUG, przyczyną problemów nie była sama technologia, lecz sposób jej wdrażania – zbyt szybki, niekontrolowany i pozbawiony spójnych ram organizacyjnych, co doprowadziło do utraty zaufania wśród inwestorów i użytkowników końcowych¹¹⁵.



Rys. 23. Liczba sprzedanych pomp ciepła w Polsce w latach 2018-2024 oraz optymistyczna prognoza na rok 2025

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu SPIUG (2024)

¹¹⁴ Stowarzyszenie Producentów i Importerów Urządzeń Grzewczych (SPIUG), *Raport rynek urządzeń grzewczych w Polsce 2024*, (2025), <https://www.slideshare.net/slideshow/raport-rynek-urzaden-grzewczych-w-polsce-2024/280967742>.

¹¹⁵ Ibid.

Rynek pomp ciepła w Polsce w latach 2022–2024 przeszedł bardzo dynamiczną, a zarazem niestabilną fazę rozwoju. Początkowy boom inwestycyjny, napędzany czynnikami społecznymi, ekonomicznymi i politycznymi, ujawnił duży potencjał tej technologii w procesie dekarbonizacji budynków i rozwoju niskoemisyjnego ciepłownictwa. Jednocześnie brak dostosowanych regulacji, niedostateczne zaplecze wykonawcze i problemy logistyczne w łańcuchach dostaw doprowadziły do spowolnienia i utraty zaufania inwestorów.

Zarówno analiza rynku, jak i dane raportu SPIUG wskazują, że przyszłość pomp ciepła w Polsce zależeć będzie od skutecznego zarządzania ich wdrażaniem – obejmującego stabilne ramy regulacyjne, systemowe wsparcie finansowe oraz rozwój kompetencji technicznych wśród instalatorów. Pomimo chwilowego załamania, technologia ta pozostaje jednym z filarów transformacji energetycznej w sektorze grzewczym i ma potencjał do dalszego rozwoju, o ile zostanie objęta długofalową strategią zarządczą i integracją z krajową polityką energetyczną.

Termiczne przekształcanie odpadów

Odpady zmieszane pochodzące z gospodarstw domowych mają bardzo ograniczony potencjał recyklingowy – jedynie niewielka ich część może zostać ponownie wykorzystana, natomiast pozostałe kieruje się do procesów odzysku energii. Odpady o wartości opałowej przekraczającej 6 MJ/kg trafiają do spalarni, które można określić jako elektrociepłownie zasilane paliwem alternatywnym, czyli odpadami nienadającymi się do recyklingu. Proces spalania odbywa się w temperaturach dochodzących do 1100°C, w wyniku czego oprócz popiołu, żużlu i gazów (tzw. ubocznych produktów spalania, UPS) powstaje również energia cieplna i elektryczna. Dzięki temu spalarnie stanowią ważne ogniwo zarówno systemu gospodarowania odpadami, jak i lokalnych systemów energetycznych.

Polskie spalarnie odpadów funkcjonują w większości jako instalacje odzysku energii. Uzyskane w procesie spalania ciepło trafia do sieci ciepłowniczych, natomiast energia elektryczna częściowo pokrywa zapotrzebowanie samej instalacji, a jej nadwyżki wprowadzane są do krajowej sieci elektroenergetycznej¹¹⁶. W 2023 roku około 20% odpadów komunalnych (2,7 mln ton) zostało poddanych termicznemu przekształceniu z odzyskiem energii, przy czym tylko 1% spalono bez jej odzysku. Zmieszane odpady komunalne są paliwem o wysokiej kaloryczności – ich wartość opałowa wynosi średnio 7–12 MJ/kg, czyli porównywalnie z węglem brunatnym¹¹⁷.

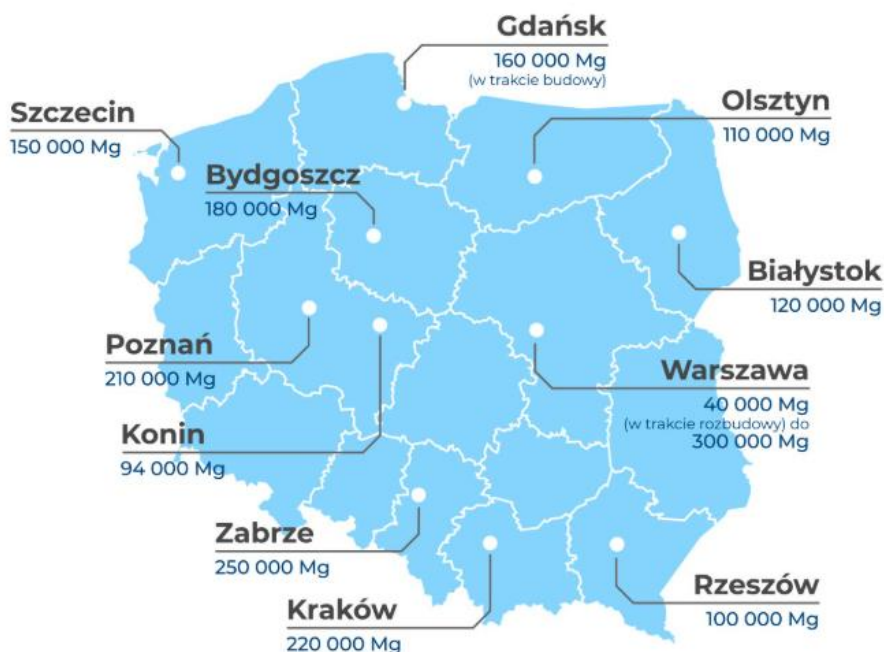
W 2022 roku ze spalania jednego kilograma odpadów komunalnych uzyskiwano średnio 5,7 kJ energii, przy czym najwyższą efektywność – około 9,7 kJ/kg – osiągnięto w Miejskim Zakładzie Gospodarki Odpadami Komunalnymi w Koninie. Instalacja Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych w Olsztynie dostarcza obecnie ciepło dla około 35% mieszkańców miasta, natomiast krakowska Ekospalarnia pokrywa blisko 10% jego zapotrzebowania na ciepło systemowe. Z kolei nowo powstały Port Czystej Energii w Gdańsku został zaprojektowany tak,

¹¹⁶ G. Wielgosiński, O. Namiecińska, *Czym różni się spalarnia zmieszanych odpadów komunalnych od spalarni RDF?*, „Nowa Energia” t. 1 nr 61 (2018).

¹¹⁷ Główny Urząd Statystyczny, *Ochrona środowiska 2023*, (2023).

aby zaspokajać potrzeby energetyczne około 54 tysięcy gospodarstw domowych, dostarczając zimą ciepło do 19 tysięcy budynków oraz latem ciepłą wodę do 70 tysięcy mieszkań¹¹⁸.

W Polsce obecnie działa dziesięć instalacji termicznego przekształcania odpadów, zlokalizowanych w Warszawie (2001), Białymstoku, Bydgoszczy, Krakowie, Koninie, Poznaniu, Szczecinie (uruchomionych w latach 2015-2017), Rzeszowie (2017), Zabrzu (2018) i Olsztynie (2025). Do końca 2025 roku do eksploatacji zostanie oddany gdański Port Czystej Energii, uznawany za najnowocześniejszy obiekt tego typu w kraju. W Warszawie trwa z kolei rozruch rozbudowanej spalarni ZUSOK, która po modernizacji zwiększy swoje moce przerobowe z 60 do ponad 300 tys. ton rocznie (rys. 24). Łączna zdolność przetwarzania odpadów w polskich spalarniach wynosi obecnie około 1,4 mln ton rocznie. Zgodnie z założeniami Krajowego planu gospodarki odpadami 2028, do 2034 roku moce te powinny wzrosnąć do ok. 4,2 mln ton, co oznacza konieczność ich niemal trzykrotnego zwiększenia¹¹⁹.



Rys. 24. Instalacje termicznego przekształcania odpadów w Polsce, stan na wrzesień
Źródło: SPEO

¹¹⁸ Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy (IOŚ-PIB), *Termiczne przekształcanie odpadów komunalnych w Polsce w 2022 r.*, „Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej” (2023).

¹¹⁹ Stowarzyszenie Producentów Energii z Odpadów (SPEO), *Trzy nowe instalacje będą otwarte w 2025 roku*, (2025).

Skład spalin emitowanych z instalacji termicznego przekształcania odpadów jest poddawany ciągłemu monitoringowi, a wyniki pomiarów są dostępne nie tylko dla operatorów zakładów, lecz także dla właściwych organów państwowych, co umożliwia bieżącą kontrolę przestrzegania norm środowiskowych. Co istotne, dane dotyczące emisji można obserwować w czasie rzeczywistym na stronach internetowych poszczególnych instalacji, m.in. Ekospalarni w Krakowie, ITPOK w Poznaniu czy ZTPOK w Bydgoszczy. W 2022 roku całkowita emisja dioksyn i furanów w Polsce wyniosła 282,43 g. Z tej wartości jedynie 46,6 g, czyli około 16,5%, pochodziło z procesów związanych z gospodarką odpadami, a zaledwie 4,24 g (1,5%) z samego spalania i spopielenia odpadów. Zdecydowanie największy udział w emisji tych związków miało spalanie paliw, które odpowiadało za około 221,35 g, czyli 78% całkowitej emisji¹²⁰.

Na tle krajów Europy Środkowo-Wschodniej Polska wypada korzystnie – państwa takie jak Ukraina, Białoruś czy Rosja nie posiadają żadnych spalarni odpadów, natomiast Słowacja ma dwie, a Czechy cztery instalacje. W porównaniu z Europą Zachodnią skala ta jest jednak wciąż niewielka: w Niemczech działa 98 spalarni¹²¹, we Francji 126, w Szwajcarii 30, we Włoszech 39, a w Wielkiej Brytanii 40. Łącznie w całej Europie funkcjonuje ponad 500 tego typu zakładów¹²².

Powstające w procesie żuźle i popioły paleniskowe nie są klasyfikowane jako odpady niebezpieczne – po odpowiednim oczyszczeniu, segregacji i uzyskaniu wymaganych certyfikatów mogą być ponownie wykorzystane, m.in. w budownictwie drogowym, inżynierii lądowej czy przy rekultywacji terenów pogórnich. Z kolei pyły kotłowe i popioły lotne ze względu na swoje właściwości zaliczane są do odpadów niebezpiecznych i po procesie unieszkodliwienia trafiają na specjalistyczne składowiska. Spalanie odpadów odbywa się nie tylko w klasycznych spalarniach, ale również w cementowniach, które w najnowocześniejszych rozwiązaniach funkcjonują jako instalacje bezodpadowe – popioły i żuźle służą tam jako surowiec do produkcji klinkieru, a uzyskane ciepło przetwarzane jest na energię elektryczną wykorzystywaną w procesach technologicznych zakładu¹²³.

Cementownie w Polsce wykorzystują rocznie około 1,65 mln ton paliw alternatywnych, z czego blisko 1 mln ton stanowi frakcja palna wydzielona z odpadów komunalnych, a pozostałą część – odpady przemysłowe, takie jak guma czy tworzywa sztuczne. Szacuje się, że frakcja palna nienadająca się do recyklingu stanowi około 30% ogólnej masy odpadów komunalnych, co odpowiada około 4,5 mln ton rocznie. Z powodu ograniczonych mocy przerobowych krajowych instalacji, każdego roku ok. 2 mln ton tej frakcji wciąż pozostaje niewykorzystane¹²⁴.

¹²⁰ Ministerstwo Klimatu i Środowiska, *Raport syntetyczny: "Krajowy bilans emisji SO₂, NO_x, CO, NH₃, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 1990 - 2020*, (2022).

¹²¹ P. Hockenot, *Waste to Energy – Controversial power generation by incineration*, „Clean Energy Wire” (2021), <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/waste-energy-controversial-power-generation-incineration>.

¹²² Confederation of European Waste-to-Energy Plants (CEWEP), *Waste to Energy in Europe in 2022*, <https://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2025/02/EU-Map-2022.pdf>.

¹²³ Cemex, *Raport: RDF - alternatywa dla kopalnego paliwa*, „Cementownia Chełm” (2024).

¹²⁴ G. Wielgoński, *Jak wygląda rynek RDF w Polsce?*, „Magazyn Biomasa” (2024).

Instalacje prosumenckie i klastry energii

W tradycyjnym modelu polskiej elektroenergetyki podaż energii opierała się wyłącznie na dużych jednostkach konwencjonalnych – elektrowniach, elektrociepłowniach oraz spółkach przesyłowych i dystrybucyjnych, w większości kontrolowanych przez Skarb Państwa. Odbiorcy energii pełnili rolę biernych konsumentów, pozbawionych wpływu na kształtowanie cen czy mechanizmy rynku. Sytuacja zmieniła się wraz z rozwojem energetyki rozproszonej i prosumenckiej, której istotą jest wytwarzanie energii z lokalnie dostępnych źródeł, w wielu lokalizacjach, na potrzeby własne oraz społeczności, przy jednoczesnym włączeniu do sieci dystrybucyjnej¹²⁵.

Nowe technologie umożliwiające wytwarzanie energii elektrycznej w skali mikro, takie jak instalacje fotowoltaiczne czy małe turbiny wiatrowe, a także regulacje prawne nakładające obowiązek przyłączania tych źródeł do sieci przez operatorów dystrybucyjnych, trwale zmieniły polski rynek energii. W tym kontekście wprowadzono pojęcie „prosumenta”, które odnosi się do odbiorcy energii będącego jednocześnie jej producentem na własne potrzeby z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii. Termin ten wywodzi się z połączenia słów „producent” i „konsument”. Zgodnie z polską ustawą prosumentem jest odbiorca końcowy, który wytwarza energię wyłącznie z OZE w mikroinstalacji o mocy poniżej 50 kWe, przyłączonej do sieci elektroenergetycznej o napięciu niższym niż 110 kV. W przypadku odbiorców instytucjonalnych lub przedsiębiorców dodatkowym warunkiem jest to, by produkcja energii na potrzeby własne nie stanowiła dominującej części ich działalności gospodarczej¹²⁶.

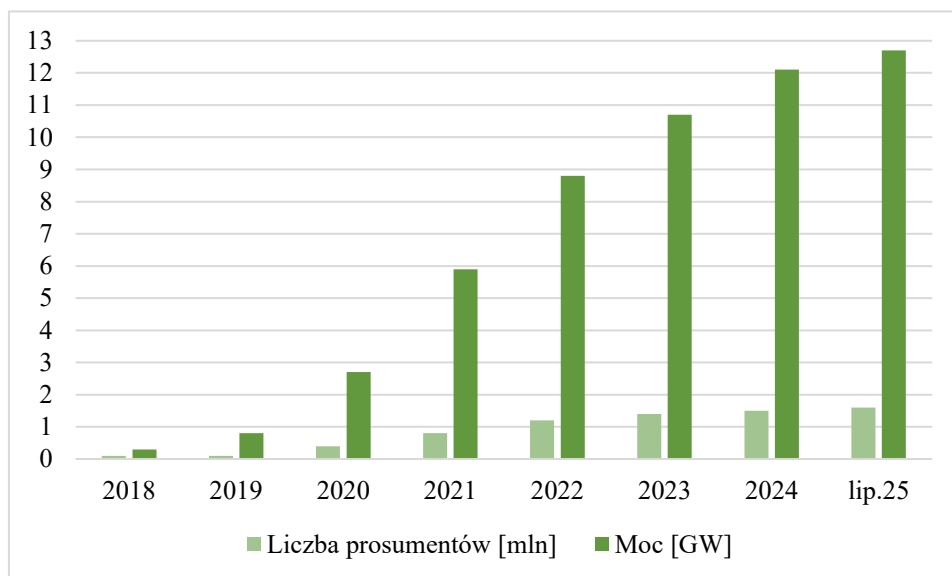
Dynamiczny rozwój energetyki prosumenckiej stał się możliwy dzięki wsparciu legislacyjnemu, które uregulowało zasady sprzedaży energii przez odbiorców końcowych, wprowadziło nowe modele rozliczeń oraz określiło ramy współpracy pomiędzy prosumentami, sprzedawcami energii a operatorami systemów dystrybucyjnych. Kluczowe znaczenie miały także instrumenty finansowe, umożliwiające pokrycie części kosztów budowy instalacji wytwarzających energię elektryczną z odnawialnych źródeł.

Pod koniec 2024 r. całkowita moc zainstalowana w systemie prosumenckim osiągnęła poziom 12,1 GW, co oznacza wzrost o 12,9% w stosunku do roku poprzedniego, odpowiadający przyrostowi o 1,4 GW (rys. 25). Na tę wartość składa się niemal 1,5 mln instalacji, których liczba zwiększyła się w ciągu roku o 9,9%. Strukturalnie dominują wśród nich mikroinstalacje fotowoltaiczne, które stanowią praktycznie całość – 99,99%. Łączna produkcja energii elektrycznej przez prosumentów została oszacowana na około 10,5 TWh, z czego 2,6 TWh przeznaczono na autokonsumpcję, co odpowiada 1,5% krajowego zużycia energii, które nie wymagało przesyłu przez Krajowy System Elektroenergetyczny. Do sieci wprowadzono natomiast 7,9 TWh energii elektrycznej wytworzonej przez

¹²⁵ M. Niestępska, *Společności energetyczne w Polsce. Od teorii do praktyki*, „Kierunek Energetyka” t. 5 nr 6 (2024).

¹²⁶ Dz.U.2023.1436, *Ustawa o odnawialnych źródłach energii z dnia 20.02.2015 r., art. 184l ust. 1-2*.

prosumentów, co odpowiadało 4,7% całkowitej produkcji energii elektrycznej w Polsce w 2024 r.¹²⁷.



Rys. 25. Liczba prosumentów oraz zainstalowana moc w instalacjach prosumenckich
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Agencji Rynku Energii

Agencja Rynku Energii publikuje bieżące dane dotyczące krajowego rynku energetycznego, obejmujące również statystyki prosumenckie. W najnowszym zestawieniu z lipca 2025 r. zaprezentowano szczegółowy podział mocy zainstalowanej w poszczególnych rodzajach odnawialnych źródeł energii, przedstawiony w tabeli 3.

Tabela 3. Prosumenci energii odnawialnej wg źródeł energii, stan na lipiec 2025

Rodzaj elektrowni prosumenckiej	Moc zainstalowana [MW]
Wodna	0,72
Wiatrowa	0,55
Fotowoltaiczna	12661,96
Hybrydowa	1,01
Biogazowa	1,2
Biomasowa	0,03
Inne	2,23

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Agencji Rynku Energii

W literaturze wskazuje się, że dynamiczny rozwój instalacji prosumenckich w Polsce ujawnił również zjawisko nieuczciwych praktyk ze strony części wytwórców energii odnawialnej. Kontrole operatorów systemów dystrybucyjnych w 2023 r. wykazały m.in. przypadki zawyżania mocy instalacji względem zgłoszeń,

¹²⁷ K. Kwidziński, M. Dusiło, *Transformacja energetyczna w Polsce. Edycja 2025...*

zaniżania autokonsumpcji, nieuprawnionych zmian w konfiguracji falowników czy ingerencji w układy pomiarowe. Takie działania nie tylko naruszają obowiązujące przepisy, ale również stwarzają ryzyko destabilizacji pracy sieci elektroenergetycznej, prowadząc do przeciążeń czy wyłączeń. Mogą one skutkować sankcjami administracyjnymi (np. karami za brak zgłoszenia zmian technicznych), a w skrajnych przypadkach także odpowiedzialnością karną, jeżeli wiążą się z oszustwem lub narażeniem na szkodę sprzedawcy zobowiązanego. Problem ten ujawnia znaczenie precyzyjnych regulacji, efektywnego nadzoru oraz egzekwowania standardów technicznych w systemie prosumenckim, zwłaszcza w kontekście obowiązujących zasad net-billingu, które mogą generować dodatkowe straty finansowe w przypadku manipulacji¹²⁸.

Transformacja ta stała się możliwa dzięki zmianom technologicznym (spadek kosztów fotowoltaiki, rozwój mikroinstalacji) oraz regulacyjnym, takim jak wprowadzenie zasady dostępu stron trzecich do sieci (TPA) czy mechanizmów wsparcia dla OZE i prosumentów. W konsekwencji na rynku pojawiły się nowe podmioty – indywidualni prosumenci, spółdzielnie energetyczne, klastry energii oraz społeczności energetyczne, których funkcjonowanie wspierają przepisy ustawy o OZE oraz unijna dyrektywa RED III.

Rozwój energetyki rozproszonej niesie ze sobą korzyści w postaci redukcji strat przesyłowych, poprawy bezpieczeństwa energetycznego oraz ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. Wzmacnia także lokalne bilansowanie popytu i podaży, a dzięki większej świadomości energetycznej konsumentów sprzyja bardziej racjonalnemu wykorzystaniu energii. Jednocześnie rozwój ten musi odbywać się z poszanowaniem stabilności krajowego systemu elektroenergetycznego, co wymaga wprowadzania mechanizmów ochronnych i regulacyjnych wspierających bezpieczną integrację rozproszonych źródeł wytwórczych¹²⁹.

Studium przypadku Ciechanowskiego Klastra Energii ukazuje istotne rozbieżności pomiędzy zapisami ustawowymi dotyczącymi wsparcia dla społeczności energetycznych a praktyką ich wdrażania. Choć ustawa o odnawialnych źródłach energii formalnie przewiduje mechanizmy zachęt, takie jak system upustów, ich stosowanie pozostaje w zawieszeniu z powodu przedłużających się procedur prenotyfikacyjnych i notyfikacyjnych w Komisji Europejskiej. W efekcie regulacje mają charakter wyłącznie teoretyczny, a zarejestrowane klastry, pomimo zawierania nowych umów z operatorami sieci dystrybucyjnych, nie mogą realnie korzystać z przewidzianych narzędzi wsparcia. Dodatkową barierą są przepisy o zamówieniach publicznych, które utrudniają lokalne bilansowanie popytu i podaży energii. Analiza wskazuje, że obecne ramy prawne stwarzają pole niepewności i ryzyka, szczególnie dla podmiotów niedysponujących profesjonalnym zapleczem eksperckim, co może prowadzić do rozczarowania i zniechęcenia potencjalnych inicjatorów. Jednocześnie pozytywnie oceniono współpracę z regulatorem i operatorem systemu

¹²⁸ M.J. Dębowski, *Nieuczciwe praktyki prosumentów energii odnawialnej z perspektywy publicznoprawnej*, „Zeszyty Prawnicze” t. 25 nr 1 (2025), DOI: 10.21697/zp.2025.25.1.03, <https://czasopisma.uksw.edu.pl/index.php/zp/article/view/15217>.

¹²⁹ M. Niestępska, *Klastry energii w Polsce. Doświadczenia Ciechanowskiego Klastra Energii pierwszego zarejestrowanego przez Prezesa URE*, „Nowa Energia” t. 4 nr 95 (2024).

dystrybucyjnego, co pokazuje, że praktyczne wdrożenie przepisów jest możliwe, lecz wymaga usprawnienia procesów administracyjnych i stabilniejszych mechanizmów wsparcia¹³⁰.

Obecnie w URE zarejestrowanych jest 10 klastrów (tab. 4). Najstarszym zarejestrowanym jest Ciechanowski Klaster Energii, którego case study zostało wcześniej opisane a najkrócej funkcjonującym Klaster Energii Jaćwing w województwie podlaskim.

Tabela 4. Klastry energii zarejestrowane w Polsce

Lp.	Nazwa klastra energii	Województwo	Obszar	Data wpisu do rejestru
1	Ciechanowski Klaster Energii	mazowieckie	Powiat suwalski; Urząd Gminy Szypliszki, Urząd Gminy Rutka-Tartak, Energia Przyszłości Filipów Sp. z o. o., WWP "American-Plastic Bis" Andrzej Markiewicz.	07.03.2024
2	Klaster Energii w Gliwicach	śląskie	Smart EPC Sp. z o. o.; Gliwice - miasto; Katowicka Specjalna Strefa Ekonomiczna S.A. Podstrefa Gliwice; Śląskie Centrum Logistyki S.A.; Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej-Gliwice Sp. z o. o. ; Przedsiębiorstwo Komunikacji Miejskiej Sp. z o. o; Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o. o; Przedsiębiorstwo Zagospodarowania Odpadów Sp. z o. o.; Śląska Sieć Metropolitalna Sp. z o. o.; ZPBE Energopomiar Sp. z o. o.	29.07.2024
3	Zielona Energia Turek	wielkopolskie	Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej i Mieszkaniowej Sp. z o. o.; Gmina Miejska Turek	23.09.2024

¹³⁰ Ibid.

4	Białostocki Klaster Energii- Ekooper	podlaskie	Uniwersytet Medyczny w Białymstoku; Gmina Zabłudów; Politechnika Białostocka; Zakład Doskonalenia Zawodowego w Białymstoku	27.09.2024
5	Klaster Energii Powiatu Monieckiego	podlaskie	Gminy: Goniądz, Jasionówka, Jaświły, Krypno, Mońki; Moniecka Spółdzielnia Mleczarska w Mońkach; Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej w Mońkach Sp. z o. o.	18.10.2024
6	Ruda Śląska Klaster Energii i Wodoru	śląskie	Miasto Ruda Śląska; Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Rudzie Śląskiej; Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Mieszkaniowej Towarzystwo Budownictwa Społecznego Sp. z o. o.; Aquadrom; Prezero Service Południe Sp. z o. o.; Węgłokoks Energia ZCP Sp. z o. o.	29.11.2024
7	Klaster Energii Clip Swarzędz	wielkopolskie	Gmina Swarzędz; Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Handlowe "Trak" Sp. z o. o.; Radaway Sp. z o. o.; Clip Logistyka Sp. z o. o.; STS Centrum Dystrybucji Samochodów Sp. z o. o.; Clip Terminals Sp. z o. o.; STS Logistic Sp. z o. o.; MB Poznań Sp. z o. o; Clip Ubezpieczenia Sp. z o. o	11.02.2025
8	Klaster Powiatu Białostockiego	podlaskie	Powiat Białostocki, Dom Pomocy Społecznej w Choroszczy i Uhowie, I Liceum Ogólnokształcące im. Adama Mickiewicza w Łapach, Centrum Kształcenia Zawodowego Łapach, Zespół Szkół w Czarnej Białostockiej, Dom Dziecka w Supraślu, Dom Pomocy Społecznej Jawor w	18.06.2025

			Jałówce, Zespół Szkół Mechanicznych im. Stefana Czarnieckiego w Łapach , Powiatowy Zarząd Dróg w Białymstoku, Powiatowy Środowiskowy Dom Pomocy w Łązniach	
9	Szczecinecki Klaster Energetyczny	zachodniopomorskie	Gmina Szczecinek, Invest Park Szczecinek Sp. z o. o.	22.07.2025
10	Klaster Energii Jaćwing	podlaskie	WWP "American-Plastic Bis" Andrzej Markiewicz, Energia Przyszłości Filipów Sp. z o. o, Urząd Gminy Szypliszki, Urząd Gminy Rutka-Tartak	22.08.2025

Źródło: opracowanie własne na podstawie rejestru Urzędu Regulacji Energetyki, stan na wrzesień 2025

Rozwój energetyki prosumenckiej i klastrów energii w Polsce stanowi jedno z kluczowych ogniw transformacji w kierunku zdecentralizowanego i obywatelskiego modelu wytwarzania energii. System prosumencki, w którym odbiorcy stają się jednocześnie producentami, przyczynił się do istotnej zmiany struktury krajowego sektora elektroenergetycznego – zarówno technologicznie, jak i społecznie. Dynamiczny wzrost liczby mikroinstalacji fotowoltaicznych (ponad 12 GW mocy zainstalowanej na koniec 2024 r.) dowodzi rosnącej roli obywateli w kształtowaniu krajowego bilansu energetycznego.

Klastry energii, choć wciąż w fazie rozwoju instytucjonalnego, pokazują potencjał współpracy lokalnej w zakresie bilansowania i zarządzania energią na poziomie regionalnym. Wymagają jednak doprecyzowania ram prawnych i usprawnienia procedur administracyjnych, które obecnie ograniczają skuteczność ich funkcjonowania. Integracja prosumentów, społeczności energetycznych i klastrów w spójny system zarządzania energią może w przyszłości stać się istotnym elementem wzmacniającym bezpieczeństwo energetyczne i stabilność Krajowego Systemu Elektroenergetycznego.

1.2.3. Produkcja energii w województwie kujawsko-pomorskim na tle innych województw w Polsce

W porównaniu z innymi województwami, kujawsko-pomorskie w latach 2005–2011 wyróżniało się jako krajowy lider pod względem produkcji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł, co obrazuje tabela 5. Zmiana nastąpiła dopiero w 2012 roku, kiedy to wyższe wolumeny energii odnawialnej odnotowano w województwach zachodniopomorskim i śląskim. W kolejnych latach istotny wzrost potencjału w tym zakresie zanotowały także regiony łódzki, mazowiecki, pomorski, świętokrzyski oraz wielkopolski. Trend ten jest konsekwencją ogólnokrajowego rozwoju sektora OZE,

a jednocześnie potwierdza, że województwo kujawsko-pomorskie już we wczesnym etapie transformacji energetycznej charakteryzowało się znacznym potencjałem w zakresie wykorzystania odnawialnych źródeł energii oraz odgrywało istotną rolę w krajowym miksie energetycznym, skutecznie wykorzystując lokalny potencjał OZE.

Tabela 5. Produkcja energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych w Polsce oraz poszczególnych województwach w latach 2005-2012

Województwo	2005 [GWh]	2006 [GWh]	2007 [GWh]	2008 [GWh]	2009 [GWh]	2010 [GWh]	2011 [GWh]	2012 [GWh]
POLSKA	3 847,3	4 291,2	5 429,3	6 606,0	8 678,7	10 888,8	13 136,9	16 878,9
DOLNOŚLĄSKIE	207,2	207,5	257,4	272,0	446,7	658,9	703,5	897,0
KUJAWSKO-POMORSKIE	1 197,9	1 178,7	1 362,6	1 269,2	1 528,1	2 098,2	2 063,3	1 865,8
LUBELSKIE	9,1	16,9	20,7	35,8	16,7	14,5	18,3	31,8
LUBUSKIE	151,8	150,5	156,4	150,5	163,7	197,1	191,2	287,5
ŁÓDZKIE	58,0	65,3	94,7	141,0	224,2	429,8	603,0	1 165,1
MAŁOPOLSKIE	480,4	489,9	602,0	597,1	692,5	783,8	868,6	886,3
MAZOWIECKIE	181,9	174,1	314,6	555,6	720,9	1 010,6	1 194,1	1 698,5
OPOLSKIE	142,0	206,9	248,8	255,2	286,8	269,6	308,8	340,6
PODKARPACKIE	172,3	177,3	177,8	211,5	267,2	315,7	319,7	342,5
PODLASKIE	8,3	8,8	9,9	60,3	217,5	236,3	388,9	435,3
POMORSKIE	364,5	392,9	515,9	717,4	724,4	770,1	1 002,3	1 215,8
ŚLĄSKIE	101,8	241,4	331,8	464,3	1 090,6	1 519,7	1 678,1	2 223,7
ŚWIĘTOKRZYSKIE	326,8	375,7	396,4	611,2	758,1	821,6	883,9	1 265,7
WARMIŃSKO-MAZURSKIE	49,4	56,0	74,4	65,4	142,5	137,5	452,1	554,8
WIELKOPOLSKIE	90,4	136,0	314,9	513,8	586,4	927,6	1 009,5	1 319,3
ZACHODNIOPOMORSKIE	305,5	413,2	551,0	685,7	812,3	697,6	1 451,7	2 349,3

Źródło: opracowanie własne na podstawie Eurostat

Województwo kujawsko-pomorskie, pomimo krótkotrwałego spadku w 2012 roku, w kolejnych latach systematycznie zwiększało moc zainstalowaną w odnawialnych źródłach energii, co pozwoliło mu utrzymać wysoką pozycję w krajowym rankingu regionów pod względem wytwarzania energii elektrycznej z OZE. W 2022 roku osiągnęło ono czwartą lokatę w Polsce, z produkcją na poziomie 4442,8 GWh. Obecnie jednak najwyższe wartości generacji energii odnawialnej notują inne regiony – zachodniopomorskie (7272,9 GWh w 2023 roku), wielkopolskie (7319,1 GWh w 2023 roku) oraz pomorskie (4504,9 GWh w 2023 roku) (tabela 6). W analizie rozwoju sektora istotne znaczenie ma jednak nie tylko wolumen produkcji, lecz także udział OZE w całkowitej generacji energii elektrycznej. Pod tym względem w 2023 roku liderem pozostawało województwo warmińsko-mazurskie, w którym energia odnawialna stanowiła aż 97,6% całkowitej produkcji. Wysokie wartości odnotowano także w województwie podlaskim (85,4%), natomiast województwo kujawsko-pomorskie osiągnęło udział na poziomie 53%¹³¹ (rys. 27).

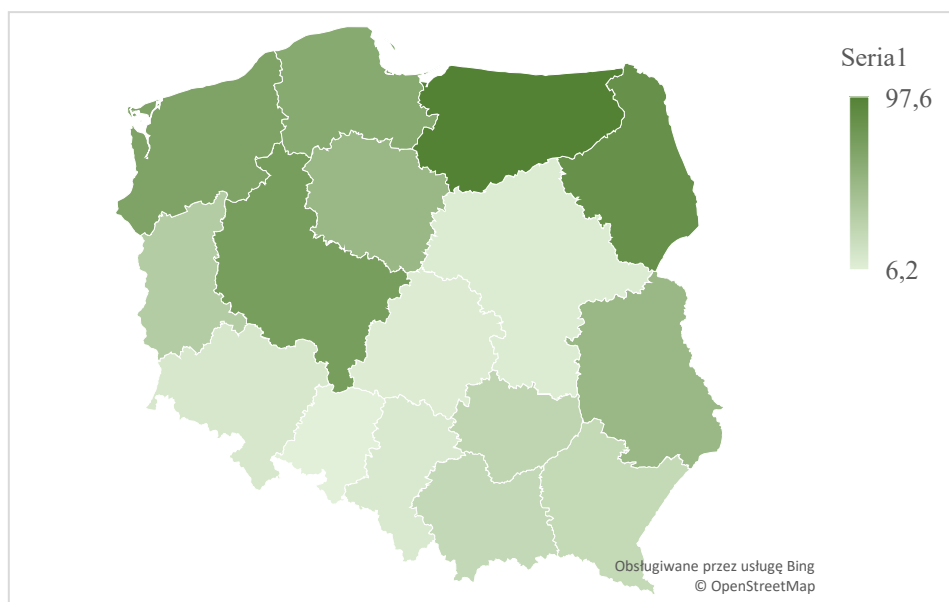
¹³¹ Główny Urząd Statystyczny [na:] <https://stat.gov.pl/>.

Tabela 6. Produkcja energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych w Polsce oraz poszczególnych województwach w latach 2012-2023

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]
POLSKA	16 878,9	17 066,6	19 841,2	22 684,1	22 807,4	24 122,1	21 617,2	25 354,0	28 226,6	30 460,7	37 671,0	45 801,1
DOLNOŚLĄSKIE	897,0	763,1	1 055,9	1 013,0	708,2	803,5	644,3	769,7	885,1	1 263,5	1 592,2	1 793,8
KUJAWSKO-POMORSKIE	1 865,8	2 148,1	2 212,6	2 558,2	3 090,7	3 699,7	3 311,2	3 520,8	3 694,0	3 795,5	3 912,6	4 442,8
LUBELSKIE	31,8	47,7	55,1	103,9	426,9	521,1	473,3	567,8	597,3	689,8	981,1	1 562,2
LUBUSKIE	287,5	312,1	290,9	360,4	631,7	697,2	655,1	730,6	762,3	873,1	1 192,6	1 460,2
ŁÓDZKIE	1 165,1	953,0	927,2	1 223,3	1 410,8	1 659,0	1 466,1	1 805,3	1 827,4	1 867,7	2 230,0	2 874,4
MAŁOPOLSKIE	886,3	480,7	590,8	463,1	491,1	523,2	413,1	545,0	697,5	810,0	1 098,1	1 255,5
MAZOWIECKIE	1 698,5	1 800,1	1 982,7	1 872,1	1 437,4	1 645,7	1 450,2	1 748,6	1 984,1	2 011,1	2 460,6	2 946,5
OPOLSKIE	340,6	444,2	558,3	628,2	590,8	469,8	521,6	499,5	549,2	607,5	725,6	802,9
PODKARPACKIE	342,5	394,6	459,8	574,1	653,0	675,4	568,8	658,9	783,8	787,9	1 067,5	888,7
PODLASKIE	435,3	600,0	654,7	850,7	815,3	649,0	717,5	975,6	1 047,5	1 068,5	1 290,0	1 709,6
POMORSKIE	1 215,8	1 343,8	1 550,0	1 949,3	2 225,5	2 409,0	2 104,2	2 430,3	2 928,8	3 377,3	4 037,4	4 504,9
ŚLĄSKIE	2 223,7	1 548,9	1 761,5	1 597,5	1 118,0	897,0	803,1	947,8	1 469,4	1 664,9	2 242,5	2 308,8
ŚWIĘTOKRZYSKIE	1 265,7	1 745,2	2 416,4	2 717,2	2 343,1	2 068,6	1 822,1	2 024,0	2 112,9	2 290,1	2 035,5	2 226,8
WARMIŃSKO-MAZURSKIE	554,8	549,8	746,0	949,6	975,7	1 127,8	969,2	1 307,1	1 294,0	1 510,9	1 978,4	2 431,9
WIELKOPOLSKIE	1 319,3	1 280,6	1 489,9	1 957,5	1 977,2	1 816,7	2 092,6	2 422,9	2 619,6	3 047,9	4 727,4	7 319,1
ZACHODNIOPOMORSKIE	2 349,3	2 654,6	3 089,7	3 866,1	3 912,0	4 459,6	3 604,8	4 400,1	4 973,7	4 795,0	6 099,6	7 272,9

Źródło: opracowanie własne na podstawie Eurostat

Zmiany wolumenu produkcji energii z OZE w poszczególnych województwach przekładają się bezpośrednio na ich zróżnicowany udział procentowy w całkowitej generacji energii elektrycznej, co obrazuje rysunek 26.



Rys. 26. Udział energii odnawialnej w produkcji energii elektrycznej ogółem wg województw w roku 2023

Źródło: opracowanie własne

Na mapie pokazano silne zróżnicowanie regionalne udziału OZE w produkcji energii elektrycznej – najwyższe wartości odnotowano w północno-wschodniej i północno-zachodniej Polsce, gdzie energia odnawialna stanowi dominujące źródło wytwarzania, natomiast w centralnej i południowej części kraju udział ten pozostaje

relatywnie niski. Wskazuje to na przestrzenne dysproporcje w wykorzystaniu potencjału odnawialnych źródeł energii

1.3. REGIONALNE UWARUNKOWANIA I KIERUNKI ROZWOJU PRZEDSIĘBIORSTW SEKTORA OZE W WOJEWÓDZTWIE KUJAWSKO-POMORSKIM

W województwie kujawsko-pomorskim rozwój rozproszonej generacji energii z odnawialnych źródeł zwiększa znaczenie modernizacji sieci przesyłowych i dystrybucyjnych, które były projektowane głównie z myślą o jednokierunkowych przepływach energii z dużych jednostek wytwórczych do odbiorców końcowych. Rosnący udział instalacji fotowoltaicznych, biogazowych i biomasowych powoduje, że regionalny system elektroenergetyczny musi być coraz lepiej przystosowany do zmiennych i zdecentralizowanych dostaw energii. W tym kontekście szczególnego znaczenia nabierają inteligentne systemy zarządzania energią, cyfryzacja sieci oraz rozwój lokalnych magazynów energii, które mogą wspierać stabilność systemu i zwiększać efektywność wykorzystania energii odnawialnej¹³².

Wzrost liczby instalacji OZE potęguje bowiem problem niedopasowania między momentem wytwarzania energii a szczytowym zapotrzebowaniem odbiorców. Ciekawą koncepcję w tym zakresie przedstawili badacze Piotr Brzeziński i Przemysław Strzelecki, proponując adaptację wieży ciśnień w Wąbrzeźnie na magazyn szczytowo-pompowy wykorzystujący glikol zamiast wody. Rozwiązanie to pozwala zwiększyć sprawność systemu o ok. 11% oraz zapewnia jego funkcjonowanie w niższych temperaturach, bez konieczności dodatkowego ogrzewania. Przekształcenie istniejącej infrastruktury wodociągowej w obiekty do magazynowania energii wiąże się z niewielką ingerencją w ich strukturę, umożliwia zachowanie wartości architektonicznych, a jednocześnie ogranicza koszty i czas wdrożenia¹³³. Takie innowacyjne koncepcje pokazują kierunki przyszłych badań i rozwoju technologii, które mogą znacząco zwiększyć elastyczność i odporność systemu energetycznego zarówno na poziomie regionalnym, jak i krajowym.

W strategii rozwoju województwa kujawsko-pomorskiego do roku 2030 („Strategia Przyspieszenia 2030+”) przewidziano osiągnięcie pełnej samowystarczalności energetycznej oraz dążenie do neutralności emisyjnej. Realizacja tych celów ma być oparta przede wszystkim na wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii, w tym intensywnym rozwoju instalacji fotowoltaicznych i geotermalnych. Ważnym elementem przyjętej koncepcji jest także włączenie spółdzielni mieszkaniowych w system energetyki rozproszonej, co ma

¹³² M. Niestępska, *Klastry energii w Polsce. Doświadczenia Ciechanowskiego Klastra Energii pierwszego zarejestrowanego przez Prezesa URE...*

¹³³ P. Brzeziński, P. Strzelecki, *Wodociągowa wieża ciśnień w Wąbrzeźnie jako szczytowo-pompowy magazyn energii*, „BUILDER” t. 327 nr 10 (2024), DOI: 10.5604/01.3001.0054.7325, <https://builderscience.pl/gicid/01.3001.0054.7325>.

sprzyjać lokalnemu bilansowaniu energii i wzmacniać transformację regionu w kierunku gospodarki niskoemisyjnej¹³⁴.

Województwo kujawsko-pomorskie dysponuje sprzyjającymi uwarunkowaniami naturalnymi oraz dostępem do instrumentów wsparcia finansowego, co stwarza dogodne warunki do dalszej ekspansji odnawialnych źródeł energii w różnych sektorach. Realizacja tych ambicji będzie jednak uzależniona od utrzymania stabilnego systemu finansowania oraz konsekwentnego wdrażania właściwie zaplanowanych strategii inwestycyjnych. Zakładane kierunki transformacji niosą za sobą nie tylko perspektywę zwiększenia niezależności energetycznej, lecz także istotne korzyści środowiskowe, takie jak ograniczenie śladu węglowego i spowolnienie procesu zmian klimatycznych. Przejście w stronę gospodarki o obiegu zamkniętym wymaga podjęcia zdecydowanych działań już na wczesnym etapie.

Rozwój małych i rozproszonych instalacji OZE sprzyja wzmacnianiu bezpieczeństwa energetycznego, redukując uzależnienie od dużych, scentralizowanych jednostek wytwórczych. Lokalne źródła odnawialne pozwalają na większą elastyczność w dostawach energii, co ma szczególne znaczenie wobec ograniczeń związanych z infrastrukturą przesyłową.

Oprócz rozwoju poszczególnych gałęzi odnawialnych źródeł energii, istotnym elementem krajobrazu energetycznego województwa kujawsko-pomorskiego pozostaje jedyny w regionie Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych (ZTPOK) w Bydgoszczy, zarządzany przez spółkę miejską ProNatura. Obiekt ten odgrywa ważną rolę zarówno w kontekście redukcji ilości odpadów deponowanych na składowiskach, jak i w lokalnym bilansie energetycznym. Rocznie instalacja przetwarza około 180 tys. ton odpadów, wytwarzając przy tym 648 tys. GJ energii cieplnej oraz 54 tys. MWh energii elektrycznej¹³⁵. Władze zakładu deklarują dalsze działania na rzecz zwiększenia sprawności i efektywności energetycznej, obejmujące m.in. modernizację generatora oraz dostosowanie infrastruktury do zmieniających się regulacji środowiskowych. W przyszłości potencjał rozwoju zakładu wiąże się przede wszystkim z podnoszeniem wskaźników energetycznych i optymalizacją procesów gospodarki odpadami, zgodnie z trendami obserwowanymi w innych polskich spalarniach¹³⁶.

Województwo kujawsko-pomorskie charakteryzuje się dobrze rozwiniętą infrastrukturą sprzyjającą wykorzystaniu biomasy, obejmującą zarówno zakłady przetwórstwa rolno-spożywczego generujące odpady organiczne, jak i lokalne kotłownie opalane tym surowcem. Polityka energetyczna regionu koncentruje się na zwiększaniu efektywności energetycznej oraz intensyfikacji wykorzystania biomasy

¹³⁴ Zarząd Województwa Kujawsko-Pomorskiego, *Plan realizacji ustaleń Strategii rozwoju województwa kujawsko-pomorskiego do 2030 roku – Strategia Przyspieszenia 2030+*, 2021 r., https://kujawsko-pomorskie.pl/wp-content/uploads/pliki/2022/planowanie/20221102_strategia/plan_realizacji_srw_2030.pdf.

¹³⁵ D. Lisiecka, *Ile ITPO potrzeba, żeby zagospodarować odpady 2 milionów Polaków?*, „Magazyn Biomasa” (2024), <https://magazynbiomasa.pl/ile-itpo-potrzeba-zeby-zagospodarowac-odpady-2-milionow-polakow/>.

¹³⁶ M. Banaś i in., *Energy Efficiency Analysis of Waste-to-Energy Plants in Poland*, „Energies” t. 17 nr 10 (2024), DOI: 10.3390/en17102390, <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/10/2390>.

w produkcji energii cieplnej i elektrycznej. Dalszy rozwój tego sektora będzie jednak uzależniony od poziomu wsparcia dla odnawialnych źródeł energii, a także od modernizacji istniejących instalacji biogazowych i zakładów przetwórczych¹³⁷. Rozbudowa potencjału biogazowni w nadchodzących latach może nie tylko wzmocnić samowystarczalność energetyczną gospodarstw rolnych, lecz także stworzyć dodatkowe miejsca pracy, co ma szczególne znaczenie dla rozwoju obszarów wiejskich.

Skuteczna optymalizacja działań na rzecz transformacji energetycznej wymaga synergii pomiędzy wiedzą o lokalnych realiach a specjalistycznym zapleczem eksperckim, które pozwala identyfikować zarówno potencjalne szanse, jak i ukryte zagrożenia. Kluczowe znaczenie ma w tym kontekście rozwój współpracy pomiędzy jednostkami samorządu terytorialnego a ośrodkami naukowymi. Samorządy odgrywają ważną rolę koordynacyjną i wspierającą w procesie wdrażania OZE, m.in. poprzez organizację punktów doradczych oraz aktywne pozyskiwanie środków finansowych na rozwój projektów energetyki odnawialnej¹³⁸.

Dominacja elektrowni węglowych – zarówno opalanych węglem kamiennym, jak i brunatnym – oraz brak energetyki jądrowej powodują, że polski system elektroenergetyczny charakteryzuje się wysoką emisyjnością. W związku z tym dynamiczny rozwój energetyki wiatrowej staje się nieuniknionym kierunkiem działań w najbliższych dekadach. Źródła wiatrowe będą odgrywać kluczową rolę w zaspokajaniu rosnącego zapotrzebowania na energię elektryczną i staną się jednym z filarów transformacji energetycznej¹³⁹. Ocena perspektyw rozwoju OZE na poziomie krajowym i regionalnym powinna uwzględniać nie tylko lokalne zasoby, lecz także szersze europejskie trendy technologiczne i inwestycyjne.

Prognozy Polskiego Stowarzyszenia Energetyki Wiatrowej wskazują, że sektor energetyki wiatrowej w Polsce stoi przed perspektywą szeroko zakrojonych inwestycji obejmujących zarówno infrastrukturę techniczną, transfer i rozwój wiedzy, jak i kształcenie wysoko wykwalifikowanej kadry. Znaczną część tych przedsięwzięć będzie można realizować przy wsparciu mechanizmów zachęt podatkowych oraz programów dotacyjnych. Prognozy rozwojowe wskazują, że do roku 2040 segmenty lądowej i morskiej energetyki wiatrowej mogą przyczynić się do powstania blisko 200 tysięcy nowych miejsc pracy, a także wygenerować ponad 450 mld PLN wartości dodanej dla polskiej gospodarki. Realizacja tego potencjału wymaga jednak budowy odpornego, zrównoważonego i konkurencyjnego łańcucha dostaw, który będzie stanowił fundament stabilnego rozwoju sektora¹⁴⁰, a także właściwego zarządzania kosztami społecznymi, obejmującymi zarówno konieczność dostosowania rynku

¹³⁷ B. Igliński i in., *Renewable energy in the Kujawsko-Pomorskie Voivodeship (Poland)*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” t. 14 nr 4 (2010), DOI: 10.1016/j.rser.2009.12.005, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032109002858>.

¹³⁸ M. Kocór i in., *Spółeczny wymiar rozwoju energetyki rozproszonej w Polsce – kluczowe czynniki i wyzwania*, „Energetyka Rozproszona” nr 5–6 (2021), DOI: 10.7494/er.2021.5-6.105, <https://journals.agh.edu.pl/article/view/4748>.

¹³⁹ TPA Poland, *Wind energy in Poland...*

¹⁴⁰ Ibid.

pracy, jak i łagodzenia skutków transformacji w regionach dotychczas silnie uzależnionych od węgla.

W świetle najnowszych analiz europejskich dotyczących rozwoju systemów elektroenergetycznych, jednym z kluczowych kierunków transformacji energetyki odnawialnej staje się rozwój rozwiązań zwiększających elastyczność systemu oraz zdolność do magazynowania energii. Raport *Ember* wskazuje, że potrzeby elastyczności w Unii Europejskiej mogą do 2030 roku co najmniej się podwoić, a ich zaspokojenie będzie wymagało szybkiego rozwoju technologii bateryjnych, elastyczności po stronie popytu (DSF) oraz utrzymania roli elektrowni szczytowo-pompowych jako magazynów energii o długim czasie pracy¹⁴¹. Z kolei analizy ENTSO-E (2024) i JRC (2023) podkreślają, że magazynowanie energii stanie się jednym z filarów integracji odnawialnych źródeł w europejskim systemie elektroenergetycznym¹⁴². W Polsce widać już pierwsze oznaki wdrażania tego trendu – w 2023 roku niemal jedna czwarta zakontraktowanej mocy w krajowym rynku mocy przypadła na projekty magazynów bateryjnych, a inwestycje w tego typu instalacje zostały uwzględnione w Krajowym Planie Odbudowy¹⁴³.

W kontekście tych kierunków rozwoju należy zwrócić uwagę, że także w województwie kujawsko-pomorskim wskazane jest planowanie przedsięwzięć wzmacniających lokalną elastyczność systemu elektroenergetycznego. Region dysponuje znacznym potencjałem integracji źródeł odnawialnych – zarówno wiatrowych, jak i hydroenergetycznych – co w połączeniu z rozwojem magazynów energii mogłoby ograniczyć straty związane z nadprodukcją energii oraz zwiększyć stabilność lokalnych sieci dystrybucyjnych. Kierunek ten jest spójny z ogólnoeuropejską strategią „czystej elastyczności” (clean flexibility), zakładającą synergiczne wykorzystanie źródeł OZE, magazynów bateryjnych oraz zasobów regulacyjnych po stronie odbiorców energii¹⁴⁴. W perspektywie kolejnych lat rozwój regionalnych programów wspierających magazynowanie energii, modernizację infrastruktury sieciowej i wdrażanie technologii inteligentnego zarządzania popytem stanowić będzie istotny element wzmacniający konkurencyjność i odporność energetyczną województwa.

W kontekście transformacji energetycznej oraz dynamicznych zmian geopolitycznych szczególnego znaczenia nabiera rozwój lokalnych źródeł energii opartych na surowcach odnawialnych i zasadach gospodarki o obiegu zamkniętym. Dla województwa kujawsko-pomorskiego oznacza to konieczność inwestowania w technologie umożliwiające wytwarzanie taniej i niskoemisyjnej energii z zasobów dostępnych w regionie, zwłaszcza z biomasy rolniczej, leśnej i odpadowej. Produkcja energii w takich systemach powinna charakteryzować się minimalnym wpływem na środowisko oraz dążeniem do pełnej neutralności klimatycznej.

¹⁴¹ B. Petrovich, H. Fox, *Making clean power flexy*, „Ember-Energy” (2024), <https://ember-energy.org/latest-insights/making-clean-power-flexy/>.

¹⁴² ENTSO-E *Electrifying Europe, System Flexibility Needs for the Energy Transition...*; European Commission, *Flexibility requirements and the role of storage in future European power systems...*

¹⁴³ B. Petrovich, H. Fox, *Making clean power flexy...*

¹⁴⁴ International Energy Agency (IEA), *Batteries and Secure Energy Transitions...*

Szczególnie perspektywiczne są lokalne układy kogeneracyjne o małej i średniej mocy, które mogą zasilać przedsiębiorstwa przemysłowe, ciepłownie komunalne oraz społeczności wiejskie. Ich funkcjonowanie w oparciu o biomasę z najbliższego otoczenia pozwala nie tylko ograniczyć koszty transportu surowca, ale również wzmocnić lokalną gospodarkę rolną i leśną. Wykorzystanie odpadów organicznych oraz ciepła odpadowego z procesów przemysłowych, a także przekazywanie nadwyżek energii do lokalnych sieci elektroenergetycznych i ciepłowniczych, przyczynia się do wzrostu samowystarczalności energetycznej regionu.

Inwestycje w biomasę w województwie kujawsko-pomorskim powinny być zatem postrzegane nie tylko jako element dekarbonizacji, ale również jako narzędzie budowy lokalnej odporności energetycznej i konkurencyjności gospodarczej. Rozwój infrastruktury wykorzystującej biomasę wpisuje się w europejskie kierunki transformacji ku energetyce rozproszonej i może stanowić ważny filar regionalnej strategii zrównoważonego rozwoju.

Przeprowadzona w niniejszym rozdziale analiza stanu odnawialnych źródeł energii w Polsce i w województwie kujawsko-pomorskim pozwala dostrzec zarówno dynamiczny rozwój tego sektora, jak i złożoność wyzwań, które mu towarzyszą. Proces zwiększania udziału energii odnawialnej w bilansie energetycznym regionu niesie ze sobą nie tylko korzyści gospodarcze i środowiskowe, lecz także szereg konsekwencji społecznych, wymagających pogłębionej analizy z perspektywy zarządzania. W związku z tym kolejny podrozdział pracy poświęcony jest wyzwaniom zarządczym oraz barierom rozwojowym odnawialnych źródeł energii.

1.4. WYZWANIA ZARZĄDCZE I BARIERY ROZWOJU PRZEDSIĘBIORSTW SEKTORA OZE

Rozwój OZE to proces uwarunkowany przez współwystępowanie barier administracyjnych, politycznych, sieciowo-infrastrukturalnych oraz społeczno-ekonomicznych. Gajdzik i in. podkreślają, że skala i rodzaj przeszkód mają charakter zróżnicowany przestrzennie, a ich znaczenie ujawnia się przede wszystkim na poziomie poszczególnych państw lub grup państw. Szczególne znaczenie autorzy przypisują barierom administracyjnym, które obejmują złożoność i czasochłonność procedur, koszty administracyjne, trudności związane z integrowaniem instalacji OZE z planowaniem przestrzennym i środowiskowym, konflikty z podmiotami trzecimi oraz ograniczoną przejrzystość procedur. A zatem tempo rozwoju OZE zależy nie tylko od finansowania i dostępności technologii, lecz także od sprawności instytucjonalnej państwa i jakości procedur administracyjnych¹⁴⁵.

Drugą ważną kategorię stanowią bariery polityczne związane z brakiem realistycznej strategii klimatycznej lub strategii rozwoju OZE, niestabilnością polityki wsparcia, niewłaściwie funkcjonującymi systemami wsparcia, nieadekwatnym wynagradzaniem energii z OZE oraz niedostosowaniem ram politycznych do

¹⁴⁵ B. Gajdzik i in., *Barriers to Renewable Energy Source (RES) Installations as Determinants of Energy Consumption in EU Countries*, „Energies” t. 16 nr 21 (2023), DOI: 10.3390/en16217364, <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/21/7364>.

rzeczywistego tempa rozwoju rynku odnawialnego. Takie ujęcie pozwala zauważyć, że problem nie sprowadza się wyłącznie do samego istnienia polityki publicznej, lecz dotyczy także jej trwałości, przewidywalności i zgodności z realiami rynkowymi¹⁴⁶.

Istotne miejsce w strukturze ograniczeń zajmują także bariery sieciowo-infrastrukturalne, tj. niewystarczająca infrastruktura sieciowa, wolne tempa jej rozwoju, wysokie koszty przyłączenia, nieprzejrzyste procedury przyłączeniowe oraz ograniczone zdolności systemu elektroenergetycznego do absorpcji energii z OZE. W konsekwencji rozwój OZE okazuje się zależny nie tylko od decyzji inwestorów czy instrumentów wsparcia, lecz również od gotowości infrastrukturalnej systemu energetycznego oraz sprawności działania operatorów sieciowych¹⁴⁷. Li zwraca również uwagę na przeszkody wynikające z trudności w rozwoju technologii magazynowania energii¹⁴⁸.

Dobrym przykładem jest sektor energetyki wiatrowej w Europie, rozwijający się bardzo prężnie i wymagający spójnej polityki oraz znaczącego wsparcia publicznego. Choć większość turbin wykorzystywanych na kontynencie powstaje w europejskich fabrykach, łańcuch dostaw boryka się już z poważnymi ograniczeniami – w zakresie fundamentów offshore, statków instalacyjnych czy komponentów, które coraz częściej sprowadzane są z Chin. Aby sprostać planowanej skali inwestycji, niezbędne są ogromne nakłady w infrastrukturę, porty, sieci, zaplecze logistyczne oraz kształcenie wykwalifikowanej kadry. Wsparciem dla sektora ma być przygotowywany *Net-Zero Industry Act*, wprowadzający możliwość stosowania pozacenowych kryteriów w aukcjach OZE, co ma promować wartość społeczną, gospodarczą i środowiskową projektów. Unia Europejska zakłada, że do 2030 r. energetyka wiatrowa ma zaspokajać 43% zapotrzebowania na energię elektryczną, co oznacza konieczność budowy około 35 GW nowych mocy rocznie¹⁴⁹.

Szczególnie interesująca jest jednak grupa barier społeczno-ekonomicznych, ponieważ wykracza ona poza klasyczne ujęcie regulacyjno-techniczne. Gajdzik i in. wykazują, że rozwój OZE pozostaje silnie powiązany z poziomem rozwoju społecznego, poziomem dochodów, tempem wzrostu gospodarczego oraz sytuacją rynkową. Z ich badań wynika, że wysoki poziom rozwoju społecznego sprzyja większemu wykorzystaniu OZE. Jednocześnie w mniej zamożnych gospodarkach szczególnego znaczenia nabiera wzrost PKB per capita, który może stawać się istotnym warunkiem przyspieszenia inwestycji w OZE. Ważnym uzupełnieniem tej perspektywy jest analiza nadwyżki mocy na rynku OZE, która w państwach o wysokim udziale OZE lub o szczególnie szybkim wzroście tego udziału może być istotnym czynnikiem wpływającym na dalszy rozwój sektora. W takim ujęciu rozwój OZE może być hamowany nie tylko przez niedobór inwestycji,

¹⁴⁶ Ibid.

¹⁴⁷ Ibid.

¹⁴⁸ W. Li, *Energy Finance and Carbon Finance: Key Roles of the Financial Community in Addressing Climate Change*, „International Journal of Social Sciences and Public Administration” t. 2 nr 2 (2024), DOI: 10.62051/ijsspa.v2n2.43, <https://wepub.org/index.php/IJSSPA/article/view/762>.

¹⁴⁹ TPA Poland, *Wind energy in Poland...*

lecz również przez niepewność i napięcia wynikające z niedopasowania strukturalnego rynku i zaburzonej równowagi systemowej¹⁵⁰.

W odniesieniu do Polski Gajdzik i in. dostarczają szczególnie użytecznych ustaleń. Polska została zaliczona do grupy państw, w których bariery administracyjne wywierają bardzo silny wpływ na rozwój OZE, a równocześnie znaczącą rolę odgrywają bariery polityczne oraz czynniki społeczno-ekonomiczne. Autorzy podkreślają także, że w państwach Unii Europejskiej o relatywnie niższym poziomie zamożności, do których zaliczono również Polskę, tempo wzrostu gospodarczego pozostaje istotnym czynnikiem sprzyjającym zwiększaniu udziału OZE w konsumpcji energii. W praktyce oznacza to, że w polskich warunkach rozwój odnawialnych źródeł energii zależy nie tylko od samej dostępności technologii i kapitału, lecz także od jakości procedur administracyjnych, stabilności polityki publicznej oraz ogólnego poziomu rozwoju społeczno-gospodarczego¹⁵¹.

Rozwój OZE w modelach zdecentralizowanych, w tym w ramach wspólnot energii odnawialnej również napotyka liczne bariery regulacyjne, prawne, finansowe, techniczne i społeczne. Ahmed i in. zwrócili uwagę m.in. na trudnościach w zapewnieniu akceptacji społecznej, niedoborach kompetencji oraz nierównym rozkładzie kosztów i korzyści między uczestnikami. Wskazuje się również na problemy z wdrażaniem modeli peer-to-peer (sposób komunikacji sieciowej lub wymiany zasobów, w którym użytkownicy łączą się bezpośrednio między sobą, z pominięciem centralnego serwera), zbiorowej autokonsumpcji oraz złożoność organizacyjną i administracyjną procesów tworzenia wspólnot energetycznych. Wolniejsze tempo rozwoju tych rozwiązań wynika także z barier wdrożeniowych na poziomie krajowym i lokalnym, obejmujących problemy z inteligentnym opomiarowaniem, przyłączaniem nowych systemów do sieci, czasochłonnymi procedurami administracyjnymi, niejasnością przepisów oraz niedostateczną wiedzą o korzyściach ekonomicznych. Dodatkowo rozwój wspólnot energii może wiązać się z wyzwaniem sieciowymi, takimi jak wzrost strat, pogorszenie profilu napięciowego i zwiększenie obciążeń linii¹⁵².

Li wskazuje na wyzwania o charakterze strategiczno-zarządczym. Obejmują one potrzebę prowadzenia decyzji inwestycyjnych w warunkach wysokiej niepewności, włączania ryzyk klimatycznych i regulacyjnych do procesów zarządzania ryzykiem oraz uwzględniania ich w procedurach due diligence. Jednocześnie podkreśla znaczenie przejrzystych i stabilnych ram politycznych, współpracy między instytucjami publicznymi, inwestorami i biznesem, a także rozwijania innowacji i technologii wspierających transformację energetyczną¹⁵³.

Z perspektywy przedsiębiorstw sektora OZE jednym z podstawowych wyzwań zarządczych pozostaje budowa i utrzymanie odpowiednio wykwalifikowanej kadry.

¹⁵⁰ B. Gajdzik i in., *Barriers to Renewable Energy Source (RES) Installations as Determinants of Energy Consumption in EU Countries...*

¹⁵¹ Ibid.

¹⁵² S. Ahmed, A. Ali, A. D'Angola, *A Review of Renewable Energy Communities: Concepts, Scope, Progress, Challenges, and Recommendations*, „Sustainability” t. 16 nr 5 (2024), DOI: 10.3390/su16051749, <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/5/1749>.

¹⁵³ W. Li, *Energy Finance and Carbon Finance: Key Roles of the Financial Community in Addressing Climate Change...*

W Raporcie IRENA¹⁵⁴ wskazano, że szybki wzrost sektora odnawialnych źródeł energii wyprzedza rozwój zasobów kompetencyjnych, a niedobory pracowników o kwalifikacjach technicznych stają się realnym ograniczeniem dalszego rozwoju. W konsekwencji przedsiębiorstwa muszą nie tylko pozyskiwać specjalistów, lecz także planować rozwój kompetencji, identyfikować luki kwalifikacyjne oraz integrować szkolenia, reskilling i upskilling z planowaniem projektów i inwestycji. Autorzy raportu podkreślają przy tym, że skuteczna realizacja projektów OZE zależy od dostępności odpowiednich umiejętności na rynku pracy, a działania w tym zakresie wymagają lepszej koordynacji pomiędzy sferą edukacji, zatrudnienia i energetyki.

Drugim istotnym obszarem jest zdolność przedsiębiorstwa do funkcjonowania w warunkach złożonego otoczenia organizacyjnego i przemysłowego. Skala korzyści gospodarczych i zatrudnieniowych zależy nie tylko od liczby instalacji, lecz także od rozwoju krajowych i regionalnych łańcuchów dostaw oraz od powiązania polityki wdrożeniowej z polityką przemysłową. Z punktu widzenia przedsiębiorstwa oznacza to potrzebę budowania stabilnych relacji z dostawcami, partnerami i wykonawcami oraz działania w warunkach często niepełnych lub fragmentarycznych zdolności produkcyjnych. Jednocześnie powodzenie transformacji energetycznej wymaga odpowiedniej infrastruktury, zdolnych instytucji oraz akceptacji społecznej i aktywnego udziału interesariuszy, co sprawia, że przedsiębiorstwo musi łączyć sprawność operacyjną z umiejętnością współpracy z otoczeniem. Raport akcentuje również, że rozwój OZE nie powinien być prowadzony wyłącznie według logiki redukcji kosztów i maksymalizacji zysków. W ujęciu przedsiębiorstwa oznacza to potrzebę takiego zarządzania, które poza efektywnością ekonomiczną uwzględnia także lokalną wartość dodaną, jakość miejsc pracy, korzyści społeczne oraz trwałość relacji z interesariuszami. Tym samym wyzwania zarządcze przedsiębiorstw sektora OZE obejmują nie tylko organizację procesów technicznych i finansowych, lecz także zdolność do łączenia celów ekonomicznych z odpowiedzialnością społeczną i organizacyjną¹⁵⁵.

Kadenic i in. podkreślili, że zarządzanie wdrażaniem nowych technologii OZE ma charakter wielopoziomowy i wykracza poza samą organizację oraz samą technologię. Obejmuje ono jednocześnie wymiar społeczno-polityczny, rynkowy i wspólnotowy, co oznacza konieczność uwzględniania nie tylko kwestii technicznych i finansowych, lecz także regulacji, polityki publicznej, warunków rynkowych, społeczności lokalnych, mediów oraz innych grup interesariuszy. W tym ujęciu skuteczne zarządzanie technologią OZE oznacza zarządzanie relacjami w złożonym układzie podmiotów oddziałujących na projekt na różnych poziomach. Kadenic i in. zaakcentowali przy tym, że zarządzanie powinno mieć charakter proaktywny, a więc rozpoczynać się jeszcze przed wdrożeniem technologii. Wczesne rozpoznanie czynników akceptacji i oporu oraz identyfikacja kluczowych interesariuszy pozwalają

¹⁵⁴ International Renewable Energy Agency (IRENA), *Renewable Energy and Jobs Annual Review 2024*, 2024 r., https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Oct/IRENA_Renewable_energy_and_jobs_2024.pdf.

¹⁵⁵ Ibid.

ograniczać ryzyko wzrostu kosztów, opóźnień i konfliktów społecznych na dalszych etapach realizacji projektu¹⁵⁶.

Istotnym elementem tego podejścia jest systematyczna analiza interesariuszy. Kadenic i in. wskazali, że skuteczne zarządzanie w OZE powinno opierać się na mapowaniu grup funkcjonujących w trzech wymiarach: społeczno-politycznym, rynkowym i wspólnotowym oraz na doborze odmiennych strategii postępowania wobec nich. Oznacza to, że zarządzanie nie może sprowadzać się do jednolitego schematu działania wobec wszystkich interesariuszy, lecz wymaga zróżnicowania strategii w zależności od potencjału współpracy i potencjału zagrożenia poszczególnych grup. Autorzy wskazali także, że proces ten ma charakter dynamiczny, ponieważ pozycja interesariuszy może zmieniać się wraz z przechodzeniem od etapu rozwoju technologii do fazy jej implementacji. Szczególnie dotyczy to społeczności lokalnych, organizacji pozarządowych i mediów, które początkowo mogą pozostawać na marginesie projektu, a następnie stać się istotnym źródłem oporu lub wsparcia¹⁵⁷.

Z perspektywy zarządczej ważne jest również to, że akceptacja technologii nie zależy wyłącznie od ilości przekazywanej informacji. Postawy wobec nowych technologii energetycznych kształtowane są także przez emocje, percepcję ryzyka, zaufanie, sposób prowadzenia dialogu oraz medialne obrazy technologii. Dlatego skuteczne zarządzanie wymaga nie tylko dostarczania informacji obiektywnej i wiarygodnej, lecz także wczesnego angażowania obywateli, wspierania partycypacji, uwzględniania współwłasności i współdecydowania oraz świadomego kształtowania komunikacji z otoczeniem. Jednocześnie autorzy podkreślają, że poziomy społeczno-polityczny, rynkowy i wspólnotowy pozostają ze sobą powiązane, dlatego zarządzanie w OZE powinno mieć charakter systemowy, integrujący relacje z administracją, rynkiem i społecznością lokalną, a nie traktować tych obszarów jako odrębnych pól działania. W tym sensie zarządzanie w sektorze OZE ma charakter systemowy i relacyjny, a jego jakość współdecyduje o skali społecznych konsekwencji działalności przedsiębiorstwa¹⁵⁸.

W tym kontekście istotne staje się uwzględnienie społecznych konsekwencji działalności przedsiębiorstw. Dlatego w kolejnych podrozdziałach omówione zostaną koszty społeczne i ich znaczenie w zarządzaniu przedsiębiorstwem.

¹⁵⁶ M.D. Kadenic i in., *Proactive understanding of the multi-level stakeholder acceptance of a novel renewable energy technology: Chemical storage of solar energy*, „Energy Research & Social Science” t. 108 (2024), DOI: 10.1016/j.erss.2023.103370, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214629623004309>.

¹⁵⁷ Ibid.

¹⁵⁸ Ibid.

2. EKONOMICZNO-ORGANIZACYJNY OBSZAR ZARZĄDZANIA KOSZTAMI SPOŁECZNYMI W PRZEDSIĘBIORSTWACH SEKTORA OZE

2.1. TEORIE ODPOWIEDZIALNEGO I ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU PRZEDSIĘBIORSTW JAKO PODSTAWA ZARZĄDZANIA KOSZTAMI SPOŁECZNYMI

Zarządzanie kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora odnawialnych źródeł energii wymaga osadzenia w szerszym kontekście współczesnych teorii odpowiedzialnego i zrównoważonego rozwoju organizacji. Koszty społeczne nie są wyłącznie efektem ubocznym działalności gospodarczej, lecz elementem, który może być świadomie kształtowany i minimalizowany poprzez strategie zarządcze oparte na wartościach społecznych i środowiskowych.

W tym kontekście kluczowe znaczenie mają koncepcje społecznej odpowiedzialności biznesu (CSR) oraz zrównoważonego rozwoju (ZR), które stanowią teoretyczne i praktyczne ramy dla integrowania celów ekonomicznych z troską o otoczenie społeczne i przyrodnicze. Obie te idee ewoluowały od podejść etycznych i filantropijnych do spójnych modeli zarządzania strategicznego, w których interesy przedsiębiorstwa są analizowane w relacji do szerokiego kręgu interesariuszy. W dalszej części podrozdziału przedstawiono istotę koncepcji CSR i ZR, ich wzajemne powiązania oraz znaczenie dla przedsiębiorstw działających w sektorze OZE, w których decyzje inwestycyjne i operacyjne w sposób bezpośredni wpływają na warunki życia społeczności lokalnych i stan środowiska naturalnego.

Historia idei zrównoważonego rozwoju sięga czasów starożytnych, gdy myśliciele tacy jak Platon, Strabon czy Pliniusz Starszy dostrzegali skutki nadmiernej eksploatacji zasobów – wylesiania, erozji gleb czy degradacji środowiska – i zalecali bardziej umiarkowane gospodarowanie naturą. W kolejnych wiekach obawy o wyczerpywanie się surowców, zwłaszcza drewna, skłoniły europejskich myślicieli do refleksji nad odpowiedzialnym użytkowaniem zasobów. Przełomowym momentem było wprowadzenie przez Hansa Carla von Carlowitza pojęcia *nachhaltende Nutzung*, czyli zrównoważonego użytkowania lasów, uznawanego za pierwszy nowoczesny wyraz idei zrównoważonego rozwoju. W XVIII i XIX wieku problem nadmiernej eksploatacji zasobów powracał w kontekście przyrostu ludności (Malthus), niedoboru surowców i wzrostu przemysłowego. Myśliciele tacy jak Jevons czy Marsh ostrzegali przed skutkami nieograniczonego zużycia węgla i degradacji środowiska, apelując o racjonalne gospodarowanie zasobami. Ich publikacje nadały problemowi trwałe miejsce w debacie publicznej. Na przełomie XIX i XX wieku autorzy tacy jak Wallace, Veblen, Pigou czy Kapp rozwijali myśl o konieczności równowagi między wzrostem gospodarczym a ochroną środowiska. W rezultacie zrodził się sposób myślenia, który – wzmacniany przez rewolucję przemysłową, urbanizację i rosnącą konsumpcję –

przygotował grunt pod współczesne rozumienie koncepcji zrównoważonego rozwoju jako harmonijnego łączenia celów ekonomicznych, społecznych i ekologicznych¹⁵⁹.

Koncepcja zrównoważonego rozwoju (*sustainable development*) stanowi obecnie kluczowy paradygmat łączący aspekty gospodarcze, środowiskowe i społeczne. Choć idee ograniczeń wzrostu i ochrony zasobów istniały już wcześniej, to właśnie w latach 70. XX wieku, m.in. za sprawą raportu *The Limits to Growth*, dyskusje dotyczące ograniczeń wzrostu gospodarczego w kontekście środowiska zyskały globalny zasięg i stały się fundamentem współczesnych debat o rozwoju zrównoważonym¹⁶⁰. Najczęściej przywoływana definicja zrównoważonego rozwoju pochodzi z raportu Światowej Komisji ds. Środowiska i Rozwoju ONZ (tzw. Raport Brundtland): „Zrównoważony rozwój to taki rozwój, który zaspokaja potrzeby obecnego pokolenia, nie ograniczając możliwości przyszłych pokoleń do zaspokajania ich własnych potrzeb”¹⁶¹.

Współcześnie koncepcja ta jest rozwijana w dokumentach ONZ, UE¹⁶² oraz OECD¹⁶³ i stanowi podstawę większości polityk gospodarczych i ekologicznych. Komisja Europejska w dokumencie *European Green Deal* wskazuje, że zrównoważony rozwój wymaga integracji trzech filarów – gospodarczego, społecznego i środowiskowego – tak, by wzrost gospodarczy odbywał się przy poszanowaniu granic ekologicznych planety i z poszanowaniem zasad sprawiedliwości społecznej¹⁶⁴. Zależności te ilustruje rysunek 27 przedstawiający klasyczny model zrównoważonego rozwoju, w którym nakładające się sfery społeczeństwa, środowiska i ekonomii tworzą wspólny obszar równowagi. To właśnie w tym punkcie przecięcia trzech wymiarów znajduje się idea zrównoważonego rozwoju – rozumianego jako harmonijne łączenie celów gospodarczych z ochroną środowiska i dobrobytem społecznym.

¹⁵⁹ J.A. Du Pisani, *Sustainable development – historical roots of the concept*, „Environmental Sciences” t. 3 nr 2 (2006), DOI: 10.1080/15693430600688831, <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15693430600688831>.

¹⁶⁰ D.H. Meadows i in., *The Limits to Growth*, Universe Books 1972; J. Mensah, *Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review*, „Cogent Social Sciences” t. 5 nr 1 (2019), DOI: 10.1080/23311886.2019.1653531, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311886.2019.1653531>; J.A. Du Pisani, *Sustainable development – historical roots of the concept...*

¹⁶¹ Report of the World Commission on Environment and Development, *Our Common Future*, „Oxford University Press” (1987), <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>.

¹⁶² M. Dulak, M. Kułakowska, *Poland's Governmental Response to the European Green Deal: Discursive Strategies prior to the Russian Invasion of Ukraine in February 2022*, „Politics in Central Europe” t. 20 nr 1 (2024), DOI: 10.2478/pce-2024-0007, <https://www.sciendo.com/article/10.2478/pce-2024-0007>.

¹⁶³ OECD, *Frameworks to Measure Sustainable Development*, 2000 r.

¹⁶⁴ B. Purvis, Y. Mao, D. Robinson, *Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins*, „Sustainability Science” t. 14 nr 3 (2019), DOI: 10.1007/s11625-018-0627-5, <http://link.springer.com/10.1007/s11625-018-0627-5>.



Rys. 27. Trzy filary zrównoważonego rozwoju

Źródło: opracowanie własne

W literaturze zarządzania podkreśla się, że idea zrównoważonego rozwoju przenosi ciężar odpowiedzialności za stan środowiska i jakość życia na wszystkie podmioty gospodarcze, nie tylko państwo. Jak zauważył Hopwood et al., zrównoważony rozwój stał się nie tylko ideą polityczną, ale również modelem zarządzania organizacjami, opartym na równoważeniu celów ekonomicznych z wartościami społecznymi i środowiskowymi¹⁶⁵.

W kontekście energetyki odnawialnej zrównoważony rozwój ma szczególne znaczenie, gdyż działalność przedsiębiorstw OZE bezpośrednio oddziałuje na lokalne społeczności i ekosystemy. Dążenie do minimalizacji kosztów społecznych – takich jak degradacja krajobrazu, konflikty przestrzenne czy utrata miejsc pracy w tradycyjnych sektorach – jest spójne z zasadą tzw. „potrójnej odpowiedzialności” (*triple bottom line*), która zakłada, że organizacja powinna równocześnie tworzyć wartość ekonomiczną, społeczną i ekologiczną¹⁶⁶.

Zrównoważony rozwój zakłada integrację polityki środowiskowej i gospodarczej, która umożliwia osiągnięcie celów ekonomicznych z poszanowaniem granic ekologicznych. Współczesne podejście do planowania rozwoju, zwłaszcza w sektorze energetyki odnawialnej, wymaga uwzględnienia wzajemnych powiązań między czynnikami technologicznymi, społecznymi i środowiskowymi. Jak podkreślili Wang i współautorzy, skuteczne wdrażanie technologii OZE wymaga starannego planowania, które optymalizuje korzyści ekonomiczne i społeczne w ramach realizacji Celów Zrównoważonego Rozwoju (SDG)¹⁶⁷. Po trzecie, zasadniczym wymiarem zrównoważonego rozwoju jest włączenie społeczne, obejmujące walkę z nierównościami oraz zapewnienie, że

¹⁶⁵ B. Hopwood, M. Mellor, G. O'Brien, *Sustainable development: mapping different approaches*, „Sustainable Development” t. 13 nr 1 (2005), DOI: 10.1002/sd.244, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sd.244>.

¹⁶⁶ G. de A. Melo i in., *Socioeconomic Impacts of Renewable Energy Plants Through the Lens of the Triple Bottom Line*, „Sustainability” t. 17 nr 11 (2025), DOI: 10.3390/su17114864, <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/11/4864>.

¹⁶⁷ Q. Wang, R. Huang, R. Li, *Renewable energy and sustainable development goals: Insights from <scp>latent dirichlet allocation</scp> thematic and bibliometric analysis*, „Sustainable Development” t. 32 nr 6 (2024), DOI: 10.1002/sd.3027, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sd.3027>.

procesy rozwojowe przynoszą korzyści wszystkim grupom społecznym, w tym społecznościom zagrożonym marginalizacją. Lam zwrócił uwagę, że transformacja energetyczna – w tym odchodzenie od paliw kopalnych na rzecz OZE – może prowadzić do strukturalnych zmian na rynku pracy, jednak odpowiednia polityka informacyjna i wspieranie kapitału społecznego stanowią kluczowe elementy skutecznego zarządzania tym procesem¹⁶⁸. Wspomniane zasady stanowią spójny zestaw norm i wartości, które ukierunkowują polityki publiczne oraz działania przedsiębiorstw na rzecz harmonijnego współistnienia rozwoju gospodarczego, dobrobytu społecznego i ochrony środowiska.

Odnawialne źródła energii stanowią kluczowy element realizacji koncepcji zrównoważonego rozwoju. Ich wykorzystanie jest postrzegane jako strategiczna alternatywa dla paliw kopalnych, które pozostają głównym czynnikiem przyczyniającym się do zmian klimatycznych i degradacji ekosystemów. Jak wskazali Taşkın i współautorzy, wzrost udziału energii odnawialnej w bilansie energetycznym państw członkowskich OECD przyczynia się do tzw. *zielonego wzrostu* (green growth), wzmacniając zarówno odporność gospodarczą, jak i innowacyjny potencjał gospodarek dążących do transformacji energetycznej. Autorzy ci zwracili jednak uwagę, że rozwój sektora OZE wiąże się z szeregiem wyzwań infrastrukturalnych i ekonomicznych, w tym z wysokimi kosztami początkowymi oraz krótkookresowymi perturbacjami na poziomie lokalnych gospodarek. Mimo to w dłuższej perspektywie korzyści wynikające z wdrażania technologii odnawialnych – takich jak poprawa bezpieczeństwa energetycznego, dywersyfikacja źródeł energii i redukcja emisji – zdecydowanie przeważają nad kosztami przejściowymi, co potwierdza ich spójność z założeniami zrównoważonego rozwoju¹⁶⁹.

Z kolei Lukashkevych i współautorzy podkreślili znaczenie innowacyjnego zarządzania transformacją energetyczną, które łączy wdrażanie nowoczesnych technologii z mechanizmami finansowymi wspierającymi adaptację do zmienności produkcji energii odnawialnej. Wskazują oni, że tylko integracja innowacji technologicznych, ekonomicznych i regulacyjnych może zapewnić trwałą i zrównoważoną dostępność do energii przy jednoczesnym ograniczeniu presji na środowisko¹⁷⁰. W rezultacie energia odnawialna stanowi nie tylko ścieżkę dekarbonizacji gospodarki, lecz także narzędzie równoważenia celów

¹⁶⁸ V. Lam, *Change Management In the Energy Sector In Guyana: A Shift From Fossil To Renewable Energy Mix*, „Texila International Journal of Management” t. 10 nr 1 (2024), DOI: 10.21522/TIJMG.2015.10.01.Art006, <https://www.texilajournal.com/management/article/2462-change-management-in>.

¹⁶⁹ D. Taşkın, G. Vardar, B. Okan, *Does renewable energy promote green economic growth in OECD countries?*, „Sustainability Accounting, Management and Policy Journal” t. 11 nr 4 (2020), DOI: 10.1108/SAMPJ-04-2019-0192, <http://www.emerald.com/sampj/article/11/4/771-798/456646>.

¹⁷⁰ Y. Lukashkevych i in., *Innovation In The Energy Sector: The Transition To Renewable Sources As A Strategic Step Towards Sustainable Development*, „AFRICAN JOURNAL OF APPLIED RESEARCH” t. 10 nr 1 (2024), DOI: 10.26437/ajar.v10i1.665, <https://ajaronline.com/index.php/AJAR/article/view/665>.

ekonomicznych, społecznych i ekologicznych, co czyni ją jednym z kluczowych filarów współczesnego paradygmatu zrównoważonego rozwoju.

Choć zrównoważony rozwój zajmuje coraz ważniejsze miejsce w strategiach gospodarczych i korporacyjnych, wdrażanie zrównoważonych praktyk nadal napotyka liczne ograniczenia natury społecznej i ekonomicznej. Dynamiczny rozwój technologii odnawialnych nie przekłada się w pełni na ich płynną implementację – proces ten wciąż blokują bariery o charakterze społecznym i ekonomicznym. W literaturze przedmiotu podkreśla się, że społeczna akceptacja projektów OZE pozostaje jednym z kluczowych czynników warunkujących sukces transformacji energetycznej¹⁷¹. Czynniki takie jak percepcja sprawiedliwości dystrybucyjnej, transparentność procesów decyzyjnych czy zgodność inwestycji z lokalnymi wartościami i potrzebami znacząco wpływają na poziom akceptacji społecznej¹⁷². Badania wskazują również, że angażowanie społeczności lokalnych – poprzez partycypację w planowaniu inwestycji, edukację i współwłasność projektów – sprzyja budowaniu zaufania oraz zmniejszaniu konfliktów przestrzennych i krajobrazowych¹⁷³.

W ujęciu globalnym rośnie znaczenie koncepcji sprawiedliwej transformacji energetycznej, w której kluczową rolę odgrywa równowaga między korzyściami a kosztami społecznymi projektów¹⁷⁴. Brak adekwatnych mechanizmów włączenia społecznego może prowadzić do utrwalania nierówności, szczególnie w regionach wiejskich i gospodarkach rozwijających się, gdzie potencjał OZE nie zawsze przekłada się na realne korzyści ekonomiczne¹⁷⁵. Dlatego coraz częściej postuluje się, aby projekty OZE były realizowane w oparciu o partycypacyjne modele zarządzania i powiązane z lokalnym rozwojem gospodarczym. Takie podejście nie tylko zwiększa efektywność wdrożeń technologii, ale również wzmacnia społeczne fundamenty zrównoważonego rozwoju.

Równocześnie, jak zauważył Moore, nierówności gospodarcze pozostają istotną barierą w upowszechnianiu technologii odnawialnych, zwłaszcza w krajach rozwijających się. Projekty realizowane na obszarach wiejskich mogą sprzyjać

¹⁷¹ A. Milani, F. Dessi, M. Bonaiuto, *A meta-analysis on the drivers and barriers to the social acceptance of renewable and sustainable energy technologies*, „Energy Research & Social Science” t. 114 (2024), DOI: 10.1016/j.erss.2024.103624, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214629624002159>.

¹⁷² J. Osei, K. Brown, M. Nejati, *Understanding the factors affecting social acceptance of Solar Energy Technologies*, „Energy Strategy Reviews” t. 61 (2025), DOI: 10.1016/j.esr.2025.101861, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211467X2500224X>.

¹⁷³ P. Romero-Lankao i in., *Community Engagement and Equity in Renewable Energy Projects: A Literature Review*, „National Renewable Energy Laboratory” (2023), <https://docs.nrel.gov/docs/fy23osti/87113.pdf>.

¹⁷⁴ Gordon Institute of Business Science University of Pretoria, *The role of stakeholder engagement in the energy transition towards a more inclusive energy transition*, (2024).

¹⁷⁵ M. Segreto i in., *Trends in Social Acceptance of Renewable Energy Across Europe—A Literature Review*, „International Journal of Environmental Research and Public Health” t. 17 nr 24 (2020), DOI: 10.3390/ijerph17249161, <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/24/9161>.

tworzeniu miejsc pracy i dywersyfikacji gospodarki, jednak ich sukces zależy od istnienia sprzyjających ram instytucjonalnych oraz aktywnego udziału społeczności lokalnych. Brak dostosowania działań do kontekstu społeczno-ekonomicznego może prowadzić do pogłębiania nierówności i utraconych korzyści rozwojowych, osłabiając efektywność strategii zrównoważonego rozwoju¹⁷⁶.

Współcześnie koncepcja zrównoważonego rozwoju znajduje swoje praktyczne odzwierciedlenie w modelu gospodarki o obiegu zamkniętym (Circular Economy, CE), który stanowi narzędzie wdrażania zasad równowagi pomiędzy wzrostem gospodarczym, ochroną środowiska i dobrostanem społecznym. Model ten, promowany przez Komisję Europejską¹⁷⁷ oraz organizacje międzynarodowe¹⁷⁸, zakłada maksymalne wydłużenie cyklu życia produktów i materiałów, ograniczenie ilości odpadów oraz ponowne wykorzystanie surowców i energii w zamkniętych obiegach. W przeciwieństwie do tradycyjnego modelu liniowego „weź–wytwórz–wyrzuć”, gospodarka cyrkularna promuje ponowne projektowanie procesów w sposób umożliwiający odzysk wartości z materiałów i komponentów¹⁷⁹.

W kontekście odnawialnych źródeł energii podejście to ma szczególne znaczenie – pozwala minimalizować wpływ inwestycji na środowisko poprzez planowanie cyklu życia instalacji, projektowanie komponentów pod kątem recyklingu oraz ponowne wykorzystanie surowców strategicznych. Tym samym gospodarka o obiegu zamkniętym stanowi praktyczną implementację idei zrównoważonego rozwoju, przenosząc ją z poziomu koncepcji na konkretne rozwiązania technologiczne i organizacyjne w sektorze energetyki. Dzięki temu możliwe staje się nie tylko ograniczanie śladu węglowego i materiałowego, ale także zwiększenie efektywności wykorzystania zasobów, co stanowi fundament długofalowego zarządzania jakością środowiskową i społeczną.

Zgodnie z najnowszym ujęciem Figge i in., gospodarka o obiegu zamkniętym powinna być rozumiana jako system wielopoziomowy, w którym celem jest nie tylko ograniczenie przepływu surowców, lecz ich zamknięcie i optymalizacja w całym cyklu życia. Figge i in. wskazali także, że pełna cyrkularność jest ideałem – w praktyce gospodarka cyrkularna zmniejsza zapotrzebowanie na surowce pierwotne,

¹⁷⁶ C. Moore, *Renewable Energy Adoption and Its Effect on Rural Development in United States*, „Journal of Developing Country Studies” t. 8 nr 2 (2024), DOI: 10.47604/jdcs.2674, <https://www.iprjb.org/journals/index.php/JDCS/article/view/2674>.

¹⁷⁷ European Commission, *Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe*, (2020).

¹⁷⁸ Ellen MacArthur Foundation, *Completing the picture: How the circular economy tackles climate change*, (2019).

¹⁷⁹ M. Geissdoerfer i in., *The Circular Economy – A new sustainability paradigm?*, „Journal of Cleaner Production” t. 143 (2017), DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.048, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652616321023>; J. Kirchherr, D. Reike, M. Hekkert, *Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions*, „Resources, Conservation and Recycling” t. 127 (2017), DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344917302835>.

ograniczając emisje i odpady¹⁸⁰. Gospodarka o obiegu zamkniętym wyznacza systemowe ramy zrównoważonego rozwoju, natomiast społeczna odpowiedzialność biznesu przenosi te zasady na poziom praktyki organizacyjnej i etycznego zarządzania wpływem przedsiębiorstw.

Koncepcja społecznej odpowiedzialności biznesu (CSR, ang. *Corporate Social Responsibility*) stanowi współcześnie jedno z kluczowych podejść w zarządzaniu organizacjami, integrując cele ekonomiczne z troską o środowisko naturalne i dobro wspólne. CSR zakłada, że przedsiębiorstwo nie funkcjonuje w izolacji, lecz jest częścią szerszego systemu społeczno-gospodarczego, w którym jego decyzje wywierają wpływ na różnorodne grupy interesariuszy¹⁸¹. W ujęciu klasycznym model CSR opiera się na czterech wymiarach odpowiedzialności: ekonomicznej, prawnej, etycznej i filantropijnej¹⁸², jednak współczesne podejścia rozszerzają go o aspekt strategiczny, wskazując, że działania prospołeczne mogą stanowić źródło przewagi konkurencyjnej.

Instrumentalne ujęcie koncepcji społecznej odpowiedzialności biznesu zakłada, że podstawowym celem przedsiębiorstwa jest maksymalizacja wartości ekonomicznej, a działania o charakterze społecznym są uzasadnione wówczas, gdy przyczyniają się do realizacji tego celu. W tej perspektywie CSR stanowi narzędzie wspierające wzrost rentowności i wartości dla akcjonariuszy, a podejmowanie inicjatyw prospołecznych traktowane jest jako element strategii biznesowej ukierunkowanej na zwiększenie konkurencyjności. Działania odpowiedzialne społecznie mogą bowiem wzmacniać reputację organizacji, budować zaufanie interesariuszy, sprzyjać lojalności klientów oraz pośrednio prowadzić do poprawy wyników finansowych przedsiębiorstwa¹⁸³.

Polityczne teorie społecznej odpowiedzialności biznesu koncentrują się na relacjach między przedsiębiorstwami a otoczeniem instytucjonalno-politycznym, zwracając uwagę na znaczący wpływ korporacji na funkcjonowanie społeczeństw oraz konieczność odpowiedzialnego wykorzystywania posiadanej władzy. W tym ujęciu firmy są postrzegane jako podmioty współodpowiedzialne za kształtowanie ładu publicznego, zobowiązane do współpracy z interesariuszami,

¹⁸⁰ F. Figge, A.S. Thorpe, M. Gutberlet, *Definitions of the circular economy: Circularity matters*, „Ecological Economics” t. 208 (2023), DOI: 10.1016/j.ecolecon.2023.107823, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921800923000861>.

¹⁸¹ A.B. Carroll, *The pyramid of corporate social responsibility: Toward the moral management of organizational stakeholders*, „Business Horizons” t. 34 nr 4 (1991), DOI: 10.1016/0007-6813(91)90005-G, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/000768139190005G>.

¹⁸² A.B. Carroll, *Corporate Social Responsibility*, „Business & Society” t. 38 nr 3 (1999), DOI: 10.1177/000765039903800303, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/000765039903800303>.

¹⁸³ E. Garriga, D. Melé, *Corporate Social Responsibility Theories: Mapping the Territory* [w:] *Citation Classics from the Journal of Business Ethics*, Dordrecht 2013; N. Schönherr, F. Findler, A. Martinuzzi, *Exploring the interface of CSR and the Sustainable Development Goals*, „Transnational Corporations” t. 24 nr 3 (2017), DOI: 10.18356/cfb5b8b6-en, https://www.un-ilibrary.org/economic-and-social-development/exploring-the-interface-of-csr-and-the-sustainable-development-goals_cfb5b8b6-en.

w tym z rządami, organizacjami pozarządowymi i społecznościami lokalnymi, w celu rozwiązywania problemów społecznych i wspierania dobra wspólnego¹⁸⁴. Tego rodzaju podejście wymaga zintegrowanego modelu zarządzania CSR, który umożliwia godzenie celów ekonomicznych przedsiębiorstwa z rosnącymi oczekiwaniami społecznymi. Jak podkreślają Garriga i Melé, interakcje między biznesem a otoczeniem politycznym są kluczowym elementem realizacji obowiązków korporacyjnych oraz sposobem na wypełnianie zobowiązań wobec interesariuszy¹⁸⁵.

CSR jest również nierozzerwalnie związana z teorią interesariuszy (*stakeholder theory*), zgodnie z którą efektywne zarządzanie wymaga równoważenia oczekiwań wszystkich grup zainteresowanych działalnością organizacji¹⁸⁶. W kontekście energetyki odnawialnej oznacza to konieczność uwzględnienia opinii społeczności lokalnych, partnerów biznesowych, instytucji publicznych i organizacji ekologicznych w procesie podejmowania decyzji strategicznych. Jak zauważa Dahlsrud, współczesne koncepcje CSR odchodzą od perspektywy reaktywnej na rzecz proaktywnego zarządzania relacjami z otoczeniem, co sprzyja długofalowemu tworzeniu wartości i wzmacnianiu zaufania społecznego¹⁸⁷.

W ujęciu etycznym koncepcja społecznej odpowiedzialności biznesu (CSR) opiera się na założeniu, że przedsiębiorstwa są moralnymi uczestnikami życia społecznego, zobowiązanymi do działania w sposób sprawiedliwy, przejrzysty i zgodny z zasadami etyki, niezależnie od korzyści ekonomicznych. Etyczne teorie CSR zakładają, że odpowiedzialność korporacyjna nie sprowadza się jedynie do przestrzegania przepisów prawa czy maksymalizacji zysku, lecz wynika z moralnego obowiązku dbałości o dobro wspólne¹⁸⁸. Firmy powinny zatem kierować się zasadami sprawiedliwości społecznej, poszanowania praw człowieka i ochrony środowiska, nawet jeśli działania te nie przynoszą bezpośrednich korzyści finansowych.

Jak zauważyli Behringer i Szegedi, etyczne podejście do CSR łączy się z ideą „obywatelstwa korporacyjnego” (*corporate citizenship*), według której przedsiębiorstwa są częścią globalnej wspólnoty i współodpowiadają za przestrzeganie uniwersalnych zasad moralnych. Przykładem takich norm są wytyczne United Nations Global Compact, promujące poszanowanie praw człowieka,

¹⁸⁴ A. Kurnia i in., *SUSTAINABLE DEVELOPMENT DAN CSR*, „Prosiding Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat” t. 6 nr 3 (2020), DOI: 10.24198/jppm.v6i3.26211, <http://jurnal.unpad.ac.id/prosiding/article/view/26211>; S. Lo, *Performance evaluation for sustainable business: a profitability and marketability framework*, „Corporate Social Responsibility and Environmental Management” t. 17 nr 6 (2010), DOI: 10.1002/csr.214, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/csr.214>.

¹⁸⁵ E. Garriga, D. Melé, *Corporate Social Responsibility Theories: Mapping the Territory...*

¹⁸⁶ R.E. Freeman, R. Phillips, R. Sisodia, *Tensions in Stakeholder Theory*, „Business & Society” t. 59 nr 2 (2020), DOI: 10.1177/0007650318773750, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0007650318773750>.

¹⁸⁷ A. Dahlsrud, *How corporate social responsibility is defined: an analysis of 37 definitions*, „Corporate Social Responsibility and Environmental Management” t. 15 nr 1 (2008), DOI: 10.1002/csr.132, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/csr.132>.

¹⁸⁸ K. Behringer, K. Szegedi, *The Role Of CSR In Achieving Sustainable Development – Theoretical Approach*, „European Scientific Journal, ESJ” t. 12 nr 22 (2016), DOI: 10.19044/esj.2016.v12n22p10, <http://ejournal.org/index.php/esj/article/view/7936>.

standardów pracy, ochronę środowiska oraz przeciwdziałanie korupcji. W tym kontekście CSR staje się nie tylko narzędziem zarządzania reputacją czy ryzykiem, lecz przede wszystkim elementem etycznego przywództwa i kultury organizacyjnej, sprzyjającym budowaniu zaufania społecznego i długofalowej legitymizacji działań przedsiębiorstwa¹⁸⁹.

W najnowszej literaturze przedmiotu społeczna odpowiedzialność biznesu jest coraz częściej interpretowana jako instrument wdrażania zasad zrównoważonego rozwoju w praktyce przedsiębiorstw. Firmy, w tym działające w sektorze energii odnawialnej, nie ograniczają się jedynie do minimalizowania negatywnego wpływu na otoczenie, lecz coraz częściej aktywnie uczestniczą w tworzeniu wartości społecznej i środowiskowej. Współczesne modele CSR w branży OZE ewoluują z prostych działań o charakterze wizerunkowym w kierunku zintegrowanych strategii odpowiedzialności korporacyjnej, które są powiązane z realizacją celów zrównoważonego rozwoju¹⁹⁰.

W rezultacie CSR można uznać za paradygmat zarządzania w duchu zrównoważonego rozwoju, łączący efektywność ekonomiczną z odpowiedzialnością społeczną i środowiskową. W tym ujęciu działalność gospodarcza przestaje być postrzegana jedynie jako proces generowania zysku, a staje się narzędziem realizacji celów rozwojowych i budowania dobrostanu społecznego. W tym ujęciu odpowiedzialne praktyki korporacyjne mogą przyczyniać się do ograniczania negatywnego wpływu działalności gospodarczej na środowisko, a jednocześnie wspierać spójność społeczną i równość szans¹⁹¹. Włączenie działań CSR w ramy Celów Zrównoważonego Rozwoju ONZ doprowadziło do wzmocnienia orientacji przedsiębiorstw na długofalowe inicjatywy prospołeczne i proekologiczne. Najnowsze badania podkreślają, że zintegrowanie strategii CSR z globalnymi celami rozwojowymi sprzyja tworzeniu trwałej wartości nie tylko dla organizacji, ale również dla jej interesariuszy i otoczenia społecznego¹⁹².

Zrównoważony rozwój pozostaje kluczowym kierunkiem współczesnych przemian społeczno-gospodarczych, wymagającym holistycznego podejścia integrującego aspekty ekonomiczne, środowiskowe i społeczne. Transformacja energetyczna oparta na odnawialnych źródłach energii stanowi jeden z centralnych elementów tej koncepcji, a społeczna odpowiedzialność biznesu dostarcza ram organizacyjnych umożliwiających implementację zrównoważonych praktyk w działalności przedsiębiorstw. W przyszłości to właśnie współpraca międzysektorowa, innowacje technologiczne oraz inkluzywne strategie partycypacyjne zadecydują o zdolności społeczeństw do przezwycięzania barier

¹⁸⁹ Ibid.

¹⁹⁰ Y. Us, T. Pimonenko, O. Lyulyov, *Corporate Social Responsibility and Renewable Energy Development for the Green Brand within SDGs: A Meta-Analytic Review*, „Energies” t. 16 nr 5 (2023), DOI: 10.3390/en16052335, <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/5/2335>.

¹⁹¹ J. Moon, *The contribution of corporate social responsibility to sustainable development*, „Sustainable Development” t. 15 nr 5 (2007), DOI: 10.1002/sd.346, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sd.346>.

¹⁹² A. ElAlfy i in., *Scoping the Evolution of Corporate Social Responsibility (CSR) Research in the Sustainable Development Goals (SDGs) Era*, „Sustainability” t. 12 nr 14 (2020), DOI: 10.3390/su12145544, <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/14/5544>.

i budowania trwałej, odpornej gospodarki opartej na zasadach zrównoważonego rozwoju.

2.2. STRUKTURA I SKŁADOWE KOSZTÓW EKONOMICZNYCH W SEKTORZE OZE

Rozwój sektora odnawialnych źródeł energii wiąże się z koniecznością ponoszenia znacznych nakładów inwestycyjnych oraz kosztów eksploatacyjnych, które determinują opłacalność i skalę wdrażania technologii OZE. Analiza kosztów ekonomicznych stanowi kluczowy element zarządzania przedsiębiorstwami energetycznymi, gdyż pozwala ocenić efektywność finansową projektów, ich wpływ na rynek energii oraz społeczne konsekwencje transformacji energetycznej.

Struktura kosztów w sektorze OZE obejmuje zarówno koszty inwestycyjne, związane z budową i uruchomieniem instalacji, jak i koszty operacyjne, wynikające z ich bieżącego utrzymania i eksploatacji. Zarządzanie kosztami w przedsiębiorstwach OZE wymaga holistycznego podejścia, które uwzględnia zarówno czynniki ekonomiczne, jak i społeczne. Analiza jednostkowych kosztów produkcji energii odnawialnej, ich dynamiki oraz wpływu na gospodarkę i społeczności lokalne, pozwala lepiej zrozumieć złożoność procesów towarzyszących transformacji energetycznej oraz wskazać kierunki optymalizacji w kontekście zrównoważonego rozwoju.

2.2.1. Koszty inwestycyjne jako determinanta decyzji zarządczych i rozwoju przedsiębiorstw sektora OZE

Koszty inwestycyjne (capital expenditures, CAPEX) stanowią jeden z kluczowych barier wejścia w sektor odnawialnej energii. Obejmują one wydatki związane z planowaniem, projektowaniem, zakupem komponentów (np. turbiny, panele fotowoltaiczne, generatory), budową infrastruktury sieciowej, przyłączeniem do sieci oraz ewentualnie kosztami finansowania w okresie budowy. W literaturze wskazuje się, że wysoki udział tych kosztów w całkowitych nakładach projektu stanowi czynnik ryzyka i ogranicza skalę inwestycji, szczególnie w regionach o mniej rozwiniętym rynku kapitałowym.

W literaturze przedmiotu dotyczącej analiz inwestycji w sektorze energetycznym podkreśla się, że poszczególne składniki kosztów inwestycyjnych, takie jak nakłady na infrastrukturę przyłączeniową, systemy pomocnicze czy zaplecze techniczne, mogą stanowić istotną część całkowitych wydatków projektowych. Wskazuje się również, że uwzględnienie tych elementów w analizie kosztów i korzyści (CBA) ma kluczowe znaczenie dla prawidłowej oceny efektywności ekonomicznej inwestycji, zwłaszcza w projektach o dużej skali kapitałowej, typowych dla sektora odnawialnych źródeł energii¹⁹³. Ponadto, raport Columbia Center for Sustainable Investment (CCSI)

¹⁹³ J.A. Leiva Vilaplana, G. Yang, E. Ackom, *From investment to net benefits: A review of guidelines and methodologies for cost-benefit analysis in the electricity sector*, „Energy Research & Social Science” t. 124 (2025), DOI: 10.1016/j.erss.2025.104052, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214629625001331>.

zwraca uwagę, że wiele barier w skalowaniu inwestycji OZE wynika właśnie z kosztów wstępnych, które wymagają odpowiednich mechanizmów wsparcia (np. subsydia, gwarancje, współinwestycje)¹⁹⁴.

Według najnowszego raportu *Renewable Power Generation Costs in 2024*, globalne koszty całkowite instalacji dla elektrowni fotowoltaicznych wyniosły średnio 691 USD/kW, dla lądowych farm wiatrowych 1 041 USD/kW, a dla morskich 2 852 USD/kW. W porównaniu z rokiem 2010 oznacza to spadek o ponad 80% w przypadku technologii PV i 60% w przypadku energetyki wiatrowej. Wraz z postępem technologicznym i efektami skali obniżeniu uległy także koszty jednostkowe wytwarzania energii (LCOE), które w 2024 roku osiągnęły średnio 0,043 USD/kWh dla fotowoltaiki i 0,034 USD/kWh dla wiatru na lądzie. Co istotne, w tym samym okresie 91% nowo uruchomionych mocy odnawialnych produkowało energię taniej niż najtańsze nowe źródła konwencjonalne, co dowodzi trwałej przewagi kosztowej OZE¹⁹⁵.

Jednocześnie należy zauważyć, że malejące koszty technologiczne nie przekładają się automatycznie na proporcjonalny wzrost liczby inwestycji. Kluczowym czynnikiem pozostaje koszt kapitału, który w krajach o wyższym ryzyku regulacyjnym może stanowić nawet połowę wartości LCOE. Stabilność otoczenia instytucjonalnego, dostęp do finansowania i długoterminowe kontrakty determinują rzeczywistą opłacalność projektów i tempo transformacji energetycznej. Z perspektywy zarządzania kosztami społecznymi oznacza to, że projekty o niższym ryzyku finansowym generują również niższe ryzyko społeczne, ponieważ zwiększają bezpieczeństwo inwestycyjne, stabilność zatrudnienia oraz przewidywalność dostaw energii.

Wraz ze spadkiem kosztów technologicznych rośnie znaczenie wydatków komplementarnych, w tym kosztów integracji systemowej — rozbudowy sieci przesyłowych, przyłączy oraz magazynów energii. Według IRENA, średni koszt magazynowania energii spadł do 192 USD/kWh, co oznacza redukcję o 93% od 2010 roku. Coraz większe znaczenie mają konfiguracje hybrydowe (PV + magazyn energii, wiatr + PV), które poprawiają profil dostaw i ograniczają niestabilność pracy systemu, jednak wymagają dodatkowych nakładów inwestycyjnych. Te koszty — często nieuwzględniane w analizach finansowych — stanowią istotny komponent kosztów społecznych, ponieważ dotyczą infrastruktury wspólnej, niezbędnej do zapewnienia ciągłości dostaw i bezpieczeństwa energetycznego społeczeństwa¹⁹⁶.

Z punktu widzenia zarządzania kosztami społecznymi przedsiębiorstw OZE, inwestycje kapitałowe odgrywają podwójną rolę. Po pierwsze, umożliwiają redukcję zewnętrznych kosztów środowiskowych (m.in. emisji CO₂, zanieczyszczeń powietrza, degradacji krajobrazu), a po drugie — generują korzyści w postaci unikniętych kosztów paliw kopalnych, które w 2024 roku IRENA oszacowała

¹⁹⁴ M. Aydos i in., *Scaling investment in renewable energy generation to achieve sustainable development goals 7 (affordable and clean energy) and 13 (climate action) and the Paris agreement: Roadblocks and drivers*, „Columbia Center on Sustainable Investment and Columbia University” (2022).

¹⁹⁵ International Renewable Energy Agency (IRENA), *Renewable power generation costs in 2024*, (2025), <https://www.irena.org/>.

¹⁹⁶ Ibid.

globalnie na 467 mld USD. W konsekwencji inwestycje w odnawialne źródła energii stają się nie tylko decyzją finansową, lecz także strategicznym działaniem zarządczym, którego efekty rozciągają się na wymiar ekonomiczny, społeczny i środowiskowy¹⁹⁷.

Zarządzanie kosztami inwestycyjnymi w sektorze OZE wymaga zatem holistycznego podejścia, które łączy analizę finansową z oceną kosztów i korzyści społecznych. Przedsiębiorstwa funkcjonujące w tym sektorze powinny uwzględniać w planowaniu inwestycji nie tylko wskaźniki efektywności ekonomicznej, lecz także długoterminowe skutki społeczne i przestrzenne, obejmujące akceptację lokalną, wpływ na rynek pracy oraz bezpieczeństwo energetyczne. Tak rozumiana perspektywa inwestycyjna pozwala kształtować strategie zgodne z ideą zrównoważonego zarządzania kosztami społecznymi – stanowiąc pomost między efektywnością ekonomiczną a odpowiedzialnością społeczną transformacji energetycznej.

Nakłady inwestycyjne w sektorze odnawialnych źródeł energii stanowią zatem istotny element procesu przechodzenia od tradycyjnych systemów opartych na paliwach kopalnych do nowoczesnych, niskoemisyjnych modeli energetycznych. Wraz z nasilającym się globalnym zwrotem ku zrównoważonej gospodarce, struktura inwestycji w energetykę odnawialną podlega dynamicznym zmianom, które odzwierciedlają różnorodne uwarunkowania ekonomiczne, technologiczne i regulacyjne.

Inwestycje w OZE pełnią dziś nie tylko funkcję środowiskową, ale również gospodarczą stając się jednym z motorów wzrostu ekonomicznego. Liczne analizy wskazują na dodatnią zależność między rozwojem sektora energii odnawialnej a tempem wzrostu gospodarczego, zarówno w krajach rozwiniętych, jak i rozwijających się¹⁹⁸. Wynika to z faktu, że technologie OZE są coraz bardziej opłacalne ekonomicznie, a jednocześnie powodują mniejsze negatywne skutki środowiskowe w porównaniu z tradycyjną energetyką¹⁹⁹. Spadek kosztów wytwarzania energii słonecznej i wiatrowej znacząco poprawia ich konkurencyjność, przyczyniając się do lokalnego rozwoju gospodarczego i wzrostu zatrudnienia²⁰⁰.

Jednocześnie kapitałochłonność projektów odnawialnych pozostaje istotnym czynnikiem ograniczającym tempo wdrażania nowych inwestycji. Choć projekty OZE generują długofalowe korzyści, to wysokie nakłady początkowe – obejmujące koszty infrastruktury, komponentów technologicznych i procesu instalacyjnego – stanowią barierę wejścia, szczególnie w gospodarkach rozwijających się, gdzie dostęp do

¹⁹⁷ Ibid.

¹⁹⁸ K. Karimi, A.F. Karimi, *The Economic Impacts of Renewable Energy Adoption: A Comparative Analysis of Developed and Developing Nations*, „Join: Journal of Social Science” t. 2 nr 1 (2024), DOI: 10.59613/xfwkz407, <https://ejournal.mellbaou.com/index.php/join/article/view/151>.

¹⁹⁹ M.I. Tabash i in., *Does investment in energy matter for economic growth? Evidence from BRICS countries*, „International Journal of Organizational Analysis” t. 31 nr 7 (2023), DOI: 10.1108/IJOA-03-2022-3185, <http://www.emerald.com/ijoa/article/31/7/3217-3232/314175>.

²⁰⁰ Kelvin Edem Bassey i in., *Economic impact of digital twins on renewable energy investments*, „Engineering Science & Technology Journal” t. 5 nr 7 (2024), DOI: 10.51594/estj.v5i7.1318, <https://fepbl.com/index.php/estj/article/view/1318>.

finansowania jest utrudniony²⁰¹. Badania wskazują, że bezpośrednie inwestycje zagraniczne odgrywają kluczową rolę we wspieraniu lokalnych przedsięwzięć w sektorze OZE, tworząc mechanizm współzależności pomiędzy przepływami kapitału krajowego i międzynarodowego²⁰².

Nie bez znaczenia pozostaje także współdziałanie sektora publicznego i prywatnego. Działania rządowe, obejmujące ulgi podatkowe, dotacje czy gwarancje inwestycyjne, pełnią funkcję stabilizującą rynek i ograniczają ryzyko finansowe, co z kolei zachęca inwestorów prywatnych do angażowania się w projekty OZE²⁰³. Z kolei brak instrumentów wsparcia może prowadzić do spadku rentowności i zahamowania rozwoju sektora, szczególnie w warunkach spowolnienia gospodarczego²⁰⁴. Odpowiednio zaprojektowana polityka publiczna oraz stabilne otoczenie instytucjonalne są zatem kluczowe dla zapewnienia ciągłości inwestycji kapitałowych w odnawialne źródła energii.

Wyzwania inwestycyjne w sektorze OZE obejmują również aspekty operacyjne i rynkowe, które wpływają na całkowite nakłady finansowe. Transformacja energetyczna wymaga wysokich nakładów początkowych, a wyniki ekonomiczne projektów uzależnione są od warunków makroekonomicznych, w jakich są realizowane²⁰⁵. Poziom zaangażowania inwestorów publicznych i prywatnych różni się w zależności od postrzeganej rentowności i ryzyka²⁰⁶, natomiast postępowanie

²⁰¹ S.J. Ergun, M.F. Rivas, *Does higher income lead to more renewable energy consumption? Evidence from emerging-Asian countries*, „Heliyon” t. 9 nr 1 (2023), DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e13049, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844023002566>; Z. Ferdous, S.C. Barman, *A Systematic Review of Sustainable Renewable Energy Applications, Procedures, Challenges, and Limitations*, 9 stycznia 2025 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-5740831/v1>.

²⁰² H. Cui, X. Wu, T. Fang, *An Empirical Research on the Relationship Between Renewable Energy Investment and Low Carbon Growth in China*, „Polish Journal of Environmental Studies” t. 30 nr 2 (2021), DOI: 10.15244/pjoes/123198, <http://www.pjoes.com/An-Empirical-Research-on-the-Relationship-nBetween-Renewable-Energy-Investment-and-123198,0,2.html>.

²⁰³ N. Hutchinson i in., *Unlocking a Renewable Energy Future: How Government Action Can Drive Private Investment*, „World Resources Institute” (2021), DOI: 10.46830/wriwp.20.00077, <https://www.wri.org/research/unlocking-renewable-energy-future-how-government-action-can-drive-private-investment>.

²⁰⁴ A.T. Hoang i in., *Impacts of COVID-19 pandemic on the global energy system and the shift progress to renewable energy: Opportunities, challenges, and policy implications*, „Energy Policy” t. 154 (2021), DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112322, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421521001919>.

²⁰⁵ L. Zhe i in., *The Positive Influences of Renewable Energy Consumption on Financial Development and Economic Growth*, „Sage Open” t. 11 nr 3 (2021), DOI: 10.1177/21582440211040133, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/21582440211040133>.

²⁰⁶ E. Karasmanaki, G. Tsantopoulos, *Factors affecting citizens' decision to invest in renewable energy*, „E3S Web of Conferences” t. 436 (2023), DOI: 10.1051/e3sconf/202343606008, <https://www.e3s-conferences.org/10.1051/e3sconf/202343606008>.

technologiczny sukcesywnie obniża koszty technologii odnawialnych, zwiększając ich atrakcyjność inwestycyjną²⁰⁷.

Korzyści wynikające z inwestycji w OZE wykraczają jednak daleko poza wymiar finansowy. Obejmują one m.in. tworzenie miejsc pracy, ograniczenie emisji gazów cieplarnianych oraz zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego²⁰⁸. Te wielowymiarowe efekty potwierdzają strategiczne znaczenie wzrostu nakładów inwestycyjnych w sektorze odnawialnym dla realizacji celów zrównoważonego rozwoju. Zjawisko to znajduje odzwierciedlenie w regionach, które konsekwentnie wdrażają polityki wspierające zatrudnienie i rozwój gospodarki lokalnej poprzez inwestycje w odnawialne źródła energii. Przykładem może być Polska, gdzie samorządy lokalne zauważyły, że mimo wysokich kosztów początkowych instalacji OZE, przedsięwzięcia te przynoszą wymierne efekty w postaci tworzenia miejsc pracy oraz pobudzania aktywności gospodarczej na poziomie lokalnym²⁰⁹. Wskazuje to, że odnawialne źródła energii postrzegane są coraz częściej nie tylko jako alternatywne technologie wytwarzania energii, ale również jako instrumenty wspierające transformację społeczno-ekonomiczną regionów. Dalszy postęp w tym obszarze wymaga kontynuacji badań oraz dostosowywania polityk publicznych w kierunku zwiększenia dostępności finansowania, redukcji barier wejścia i wzmacniania powiązań między gospodarką a środowiskiem.

Badania wskazują, że energia geotermalna w niektórych regionach świata może być najbardziej dochodową formą inwestycji w obszarze odnawialnych źródeł energii, przewyższając pod względem rentowności inne technologie, takie jak wiatr, hydroenergetyka czy fotowoltaika – czego przykładem są doświadczenia Filipin²¹⁰. Wybór konkretnej technologii OZE w znacznym stopniu determinuje właśnie wielkość nakładów inwestycyjnych, ponieważ koszty początkowe mogą istotnie różnić się w zależności od rodzaju wykorzystywanego źródła energii²¹¹. Nadal jednak wysokie koszty kapitałowe, dodatkowo zwiększane przez konieczność importu specjalistycznych urządzeń i komponentów, stanowią jedną z kluczowych barier dla rozwoju sektora, zwłaszcza w gospodarkach rozwijających się²¹².

²⁰⁷ Kelvin Edem Bassey i in., *Economic impact of digital twins on renewable energy investments...*

²⁰⁸ V.H.U. Eze i in., *A Comparative Analysis of Renewable Energy Policies and its Impact on Economic Growth: A Review*, „International Journal of Education, Science, Technology, and Engineering (IJESTE)” t. 6 nr 2 (2023), DOI: 10.36079/lamintang.ijeste-0602.555, <https://lamintang.org/journal/index.php/ijeste/article/view/555>.

²⁰⁹ B. Klepacki i in., *Investments in Renewable Energy Sources in Basic Units of Local Government in Rural Areas*, „Energies” t. 14 nr 11 (2021), DOI: 10.3390/en14113170, <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/11/3170>.

²¹⁰ C.B. Agaton, *Use coal or invest in renewables: a real options analysis of energy investments in the Philippines*, „Renewables: Wind, Water, and Solar” t. 5 nr 1 (2018), DOI: 10.1186/s40807-018-0047-2, <https://jrenewables.springeropen.com/articles/10.1186/s40807-018-0047-2>.

²¹¹ B. Kichonge i in., *The Economics of Renewable Energy Sources into Electricity Generation in Tanzania*, „Journal of Energy” t. 2016 (2016), DOI: 10.1155/2016/5837154, <http://www.hindawi.com/journals/jen/2016/5837154/>.

²¹² T. Gómez-Navarro, D. Ribó-Pérez, *Assessing the obstacles to the participation of renewable energy sources in the electricity market of Colombia*, „Renewable and Sustainable

Ocena inwestycji w odnawialne źródła energii wymaga uwzględnienia licznych czynników ryzyka oraz niepewności, które mogą wpływać na ich opłacalność i trwałość. Przykładem jest sektor energetyki słonecznej, który – mimo dynamicznego wzrostu popularności – wymaga dogłębnej analizy ryzyk technicznych, finansowych i makroekonomicznych determinujących jego efektywność²¹³. W obliczu tych wyzwań coraz większego znaczenia nabiera opracowywanie zaawansowanych modeli finansowych i strategii zarządzania ryzykiem, pozwalających ograniczyć negatywne skutki wahań cen rynkowych, zmian regulacyjnych czy nieprzewidywalnych czynników zewnętrznych²¹⁴.

Wiele państw rozwijających się nadal zмага się z ograniczonym dostępem do kapitału niezbędnego do realizacji inwestycji w odnawialne źródła energii, co prowadzi do ich rosnącej zależności od finansowania zagranicznego²¹⁵. Brak wystarczających środków inwestycyjnych utrudnia tym gospodarkom prowadzenie zrównoważonej polityki energetycznej, łączącej wzrost bezpieczeństwa energetycznego z redukcją emisji gazów cieplarnianych. Wyniki badań nad determinantami inwestycyjnymi podkreślają, że dla zwiększenia napływu kapitału do sektora czystych technologii kluczowe znaczenie mają stabilność gospodarcza i regulacyjna państwa, przejrzyste otoczenie instytucjonalne oraz dostępność instrumentów finansowych wspierających rozwój odnawialnych źródeł energii²¹⁶.

Nakłady inwestycyjne w odnawialne źródła energii pozostają wynikiem złożonej interakcji pomiędzy postępem technologicznym, uwarunkowaniami społeczno-ekonomicznymi, ramami politycznymi oraz sytuacją rynkową. Zrozumienie tych powiązań jest kluczowe dla skutecznego zarządzania procesami finansowania i wdrażania projektów OZE, a tym samym dla przyspieszenia transformacji w kierunku zrównoważonego systemu energetycznego. Choć początkowe nakłady

Energy Reviews” t. 90 (2018), DOI: 10.1016/j.rser.2018.03.015,
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032118301187>.

²¹³ E.C. Akçay, *Risk assessment of solar energy investments*, „Journal of Construction Engineering, Management & Innovation” t. 1 nr 4 (2018), DOI: 10.31462/jcemi.2018.04171177,
http://www.goldenlightpublish.com/dosyalar/baski/JCEMI_2019_64.pdf.

²¹⁴ M. Eissa, B. Tian, *Lobatto-Milstein Numerical Method in Application of Uncertainty Investment of Solar Power Projects*, „Energies” t. 10 nr 1 (2017), DOI: 10.3390/en10010043,
<https://www.mdpi.com/1996-1073/10/1/43>; S.-E. Fleten i in., *Green electricity investment timing in practice: Real options or net present value?*, „Energy” t. 116 (2016), DOI: 10.1016/j.energy.2016.09.114,
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S036054421631386X>.

²¹⁵ G. Ragosa, P. Warren, *Unpacking the determinants of cross-border private investment in renewable energy in developing countries*, „Journal of Cleaner Production” t. 235 (2019), DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.06.166,
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652619321225>.

²¹⁶ M. Aguirre, G. Ibikunle, *Determinants of renewable energy growth: A global sample analysis*, „Energy Policy” t. 69 (2014), DOI: 10.1016/j.enpol.2014.02.036,
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421514001451>; E. Azarova, H. Jun, *Investigating Determinants of International Clean Energy Investments in Emerging Markets*, „Sustainability” t. 13 nr 21 (2021), DOI: 10.3390/su132111843,
<https://www.mdpi.com/2071-1050/13/21/11843>.

inwestycyjne są znaczące, należy je traktować jako długoterminową inwestycję w bezpieczeństwo energetyczne i zrównoważony rozwój środowiskowy, przynoszącą korzyści zarówno gospodarcze, jak i społeczne.

2.2.2. Koszty operacyjne i eksploatacyjne instalacji OZE

Koszty operacyjne (OPEX) stanowią drugi – obok nakładów inwestycyjnych – zasadniczy element struktury wydatków w sektorze odnawialnych źródeł energii. Choć w porównaniu z technologiami opartymi na paliwach kopalnych są one relatywnie niższe, ich znaczenie w długoterminowej analizie efektywności ekonomicznej i społecznej przedsięwzięć OZE jest istotne. Koszty te obejmują utrzymanie infrastruktury technicznej, konserwację, serwis, monitoring, koszty personelu, ubezpieczenia, podatki lokalne oraz – w przypadku niektórych technologii – koszty związane z magazynowaniem i bilansowaniem energii. W literaturze przedmiotu wskazuje się, że proporcja kosztów operacyjnych do całkowitych kosztów cyklu życia instalacji OZE jest stosunkowo niska, co wynika z braku konieczności zakupu paliwa, charakterystycznego dla konwencjonalnych elektrowni. Według danych Międzynarodowej Agencji Energii Odnawialnej, w 2024 roku udział OPEX w całkowitych kosztach produkcji energii odnawialnej wynosił średnio: 12–20% dla instalacji fotowoltaicznych, 15–25% dla farm wiatrowych oraz 20–30% w przypadku elektrowni wodnych. W technologii wiatrowej i słonecznej największy udział w kosztach operacyjnych mają czynności serwisowe, naprawy komponentów i utrzymanie infrastruktury sieciowej, natomiast w energetyce wodnej – utrzymanie zapór, turbin i systemów regulacyjnych²¹⁷.

Koszty operacyjne i utrzymania (O&M) instalacji odnawialnych źródeł energii stanowią kluczowy czynnik determinujący ich ogólną opłacalność ekonomiczną oraz długoterminową trwałość. Wraz z dynamicznym rozwojem technologii odnawialnych, zrozumienie konsekwencji finansowych związanych z eksploatacją i bieżącym utrzymaniem tych systemów nabiera coraz większego znaczenia dla interesariuszy zaangażowanych w planowanie i realizację inwestycji energetycznych.

Koszty O&M w systemach odnawialnych różnią się znacząco w zależności od zastosowanej technologii. Systemy fotowoltaiczne charakteryzują się stosunkowo niskimi kosztami operacyjnymi po instalacji, co wynika z ograniczonej liczby elementów ruchomych i wysokiej niezawodności pracy. Badania wskazują, że koszty eksploatacji systemów fotowoltaicznych – szczególnie w regionach o dużym nasłonecznieniu – są znacznie niższe niż w przypadku systemów opartych na paliwach kopalnych, które wymagają bardziej złożonej infrastruktury i częstszej konserwacji²¹⁸. Inwestycje kapitałowe w energię słoneczną przyczyniają się zatem do

²¹⁷ International Renewable Energy Agency (IRENA), *Renewable power generation costs in 2024...*

²¹⁸ H.N. DURMUŞ ŞENYAPAR, *A bibliometric analysis on renewable energy's public health benefits*, „Journal of Energy Systems” t. 7 nr 1 (2023), DOI: 10.30521/jes.1252122, <http://dergipark.org.tr/en/doi/10.30521/jes.1252122>; B. Kapuria i in., *Achieving sustainable, environmentally viable, solarized vaccine cold chain system and vaccination program—an effort to move towards clean and green energy-driven primary healthcare in Lebanon*,

stopniowej redukcji kosztów operacyjnych, co umożliwia bardziej efektywne planowanie finansowe w długim okresie.

Z kolei instalacje wiatrowe generują zróżnicowane wydatki związane z konserwacją i naprawami, wynikające z eksploatacji turbin wiatrowych, których elementy mechaniczne ulegają zużyciu. Pomimo tych potencjalnych kosztów, elektrownie wiatrowe charakteryzują się stosunkowo niskimi wydatkami operacyjnymi po zakończeniu fazy inwestycyjnej. Prostota obsługi oraz standaryzowane procedury serwisowe pozwalają ograniczyć wpływ wysokich kosztów początkowych. Postęp technologiczny w zakresie konstrukcji turbin zwiększa ich niezawodność i wydłuża cykl życia komponentów²¹⁹. Kompleksowe analizy wykazują, że koszty operacyjne turbin wiatrowych na lądzie są niższe niż w przypadku instalacji morskich, gdzie czynniki logistyczne i specyfika środowiska morskiego znacząco podnoszą koszty transportu, serwisu oraz instalacji²²⁰.

Rosnące znaczenie technologii magazynowania energii wpływa również na strukturę kosztów eksploatacyjnych systemów odnawialnych. Efektywna integracja systemów magazynowania zwiększa elastyczność i zdolność bilansowania produkcji energii, co pośrednio kształtuje poziom wydatków O&M. Magazyny energii poprawiają efektywność i niezawodność pracy systemu, a tym samym mogą ograniczać koszty operacyjne wynikające ze zmienności podaży i popytu na energię²²¹.

Na ekonomiczną opłacalność projektów OZE wpływają również innowacje technologiczne, które systematycznie obniżają koszty utrzymania w różnych rodzajach instalacji. Wdrożenie inteligentnych systemów monitoringu i automatyzacji prac serwisowych pozwala na optymalizację wydajności, redukcję liczby przestojów oraz ograniczenie częstotliwości napraw²²². Postęp w tym obszarze

„Frontiers in Health Services” t. 4 (2024), DOI: 10.3389/frhs.2024.1386432, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frhs.2024.1386432/full>.

²¹⁹ R.T. Ahmedhamdi, S.W. Shneen, *Using position control to improve the efficiency of wind turbine*, „TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)” t. 18 nr 6 (2020), DOI: 10.12928/telkomnika.v18i6.16171, <http://telkomnika.uad.ac.id/index.php/TELKOMNIKA/article/view/16171>; M.R. Islam, M.R. Islam, H.M. Imran, *Assessing Wind Farm Site Suitability in Bangladesh: A GIS-AHP Approach*, „Sustainability” t. 14 nr 22 (2022), DOI: 10.3390/su142214819, <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/22/14819>.

²²⁰ P. Beiter i in., *The Cost of Floating Offshore Wind Energy in California Between 2019 and 2032*, 1 października 2020 r., <https://www.osti.gov/servlets/purl/1710181/>; F.X. Correia da Fonseca, L. Amaral, P. Chainho, *A Decision Support Tool for Long-Term Planning of Marine Operations in Ocean Energy Projects*, „Journal of Marine Science and Engineering” t. 9 nr 8 (2021), DOI: 10.3390/jmse9080810, <https://www.mdpi.com/2077-1312/9/8/810>.

²²¹ L. Shi i in., *Comprehensive Benefit Evaluation Analysis And Application Research of Energy Storage*, „E3S Web of Conferences” t. 441 (2023), DOI: 10.1051/e3sconf/202344101014, <https://www.e3s-conferences.org/10.1051/e3sconf/202344101014>.

²²² M. Shahzad i in., *Optimization of On-Grid Hybrid Renewable Energy System: A Case Study on Azad Jammu and Kashmir*, „Sustainability” t. 14 nr 10 (2022), DOI: 10.3390/su14105757, <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/10/5757>.

przyczynia się do zwiększenia konkurencyjności odnawialnych źródeł energii poprzez poprawę efektywności operacyjnej przy utrzymaniu kosztów na akceptowalnym poziomie.

Należy podkreślić, że analiza cyklu życia (LCA) stanowi cenne narzędzie w ocenie całkowitych kosztów związanych z eksploatacją technologii odnawialnych. Uwzględnienie aspektów O&M w analizach LCA umożliwia interesariuszom ocenę nie tylko kosztów inwestycyjnych, lecz także długofalowych skutków ekonomicznych i środowiskowych funkcjonowania instalacji²²³. Takie podejście pozwala na podejmowanie bardziej świadomych decyzji inwestycyjnych i lepsze dopasowanie technologii OZE do celów gospodarczych oraz ekologicznych²²⁴.

Zgodnie badaniami Shin, Han i Rhee, rozwój sztucznej inteligencji stanowi jeden z najważniejszych kierunków innowacji w zakresie zarządzania eksploatacją instalacji odnawialnych źródeł energii. Autorzy podkreślają, że tradycyjne podejścia do utrzymania technicznego, oparte na harmonogramowych przeglądach lub reagowaniu po wystąpieniu awarii, są niewystarczające wobec rosnącej skali i złożoności nowoczesnych systemów OZE. Zastosowanie AI-assisted predictive maintenance – czyli wspomaganego przez sztuczną inteligencję utrzymania predykcyjnego – pozwala na wcześniejsze wykrywanie anomalii, prognozowanie zużycia komponentów oraz automatyczne planowanie działań serwisowych. Takie rozwiązania przekładają się bezpośrednio na obniżenie kosztów operacyjnych (OPEX) i zwiększenie niezawodności infrastruktury energetycznej²²⁵.

Z perspektywy zarządzania przedsiębiorstwami OZE, włączenie technologii predykcyjnych w strategię utrzymania technicznego stanowi element zarządzania efektywnością społeczno-ekonomiczną. Redukcja awarii i przestojów prowadzi do stabilniejszej produkcji energii, co wzmacnia bezpieczeństwo energetyczne oraz ogranicza ryzyko strat po stronie odbiorców końcowych. Shin i współautorzy zauważają, że zastosowanie systemów uczenia maszynowego pozwala na skrócenie czasu reakcji na usterki nawet o kilkadziesiąt procent, a jednocześnie umożliwia bardziej efektywne wykorzystanie zasobów ludzkich poprzez tzw. human–AI collaboration (współpraca sztucznej inteligencji i ludzi). W efekcie organizacje osiągają nie tylko korzyści finansowe, lecz także wzmacniają zaufanie społeczne do technologii odnawialnych, dzięki poprawie stabilności i jakości dostaw energii²²⁶. Autorzy podkreślają również, że wdrożenie koncepcji Smart O&M (Inteligentne zarządzanie operacyjne i eksploatacyjne) w energetyce odnawialnej przyczynia się do redukcji kosztów społecznych transformacji energetycznej. Usprawnienie procesów

²²³ D.L. Luong i in., *Building a Decision-Making Support Framework for Installing Solar Panels on Vertical Glazing Façades of the Building Based on the Life Cycle Assessment and Environmental Benefit Analysis*, „Energies” t. 13 nr 9 (2020), DOI: 10.3390/en13092376, <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/9/2376>.

²²⁴ E. Guelpa, G. Mancò, V. Verda, *Optimal Integration of Renewable Sources and Latent Heat Storages for Nearly Zero-Energy Buildings* [w:] *The First World Energies Forum—Current and Future Energy Issues*, Basel Switzerland 2020.

²²⁵ W. Shin, J. Han, W. Rhee, *AI-assistance for predictive maintenance of renewable energy systems*, „Energy” t. 221 (2021), DOI: 10.1016/j.energy.2021.119775, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544221000244>.

²²⁶ Ibid.

eksploatacyjnych pozwala bowiem nie tylko minimalizować straty energii i emisje pośrednie, lecz także sprzyja tworzeniu nowych miejsc pracy o wysokiej wartości dodanej w obszarach analizy danych, automatyki i diagnostyki technicznej. Jak zauważa Shin et al., zintegrowane systemy predykcyjne pełnią funkcję strategicznego narzędzia zarządzania – łączącego wymiar ekonomiczny, technologiczny i społeczny – co wpisuje się w koncepcję zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstw OZE²²⁷.

Koszty operacyjne i utrzymania instalacji odnawialnych są kluczowym elementem warunkującym powodzenie i akceptację tych technologii. W miarę jak uczestnicy rynku mierzą się z wyzwaniami transformacji energetycznej, redukcja wydatków eksploatacyjnych oraz wykorzystanie innowacyjnych technologii zarządzania stanowią podstawę dla zwiększenia rentowności i konkurencyjności odnawialnych źródeł energii w porównaniu z tradycyjnymi paliwami kopalnymi. W ujęciu strategicznym koszty operacyjne i eksploatacyjne stanowią zatem narzędzie zarządzania efektywnością społeczno-ekonomiczną przedsiębiorstw OZE. Odpowiednia organizacja procesu utrzymania technicznego, inwestycje w technologie predykcyjne i cyfrowe systemy zarządzania energią (Smart O&M) nie tylko obniżają OPEX, ale także zwiększają bezpieczeństwo energetyczne i zaufanie społeczne do stabilności dostaw. W ten sposób optymalizacja kosztów operacyjnych przekłada się nie tylko na korzyści finansowe, lecz także na redukcję kosztów społecznych transformacji energetycznej poprzez zwiększenie niezawodności systemów, poprawę efektywności energetycznej oraz tworzenie miejsc pracy o wysokiej wartości dodanej.

2.2.3. Nakłady na ograniczanie kosztów społecznych

Minimalizacja kosztów społecznych w sektorze odnawialnych źródeł energii wymaga nie tylko działań technicznych, ale również strategicznych inwestycji w sferę społeczną, komunikacyjną i środowiskową. Jak wskazali Virah-Sawmy i Sturmberg, redukcja kosztów społecznych transformacji energetycznej obejmuje szereg planowanych wydatków, których celem jest łagodzenie konfliktów, wzmacnianie akceptacji społecznej oraz ograniczanie negatywnych skutków przestrzennych i środowiskowych.

Jednym z kluczowych obszarów są wydatki na partycypację społeczną i budowanie zaufania. Obejmują one finansowanie konsultacji, warsztatów, platform informacyjnych czy mechanizmów współdecydowania. Inwestowanie w dialog społeczny na wczesnym etapie projektów OZE znacząco zmniejsza ryzyko konfliktów lokalnych i protestów, które mogą prowadzić do opóźnień i wzrostu kosztów inwestycji. Z ekonomicznego punktu widzenia są to nakłady, które pozwalają uniknąć znacznie wyższych kosztów transakcyjnych wynikających z oporu społecznego. Istotnym elementem są także mechanizmy współwłasności i udziału w korzyściach (benefit-sharing). Wydatki na tworzenie lokalnych funduszy rozwojowych, programów kompensacyjnych czy udziałów społecznych w projektach OZE zwiększają akceptację inwestycji i umożliwiają redystrybucję korzyści

²²⁷ Ibid.

ekonomicznych w regionach, w których powstają instalacje. Tego typu rozwiązania nie tylko łagodzą poczucie marginalizacji społeczności lokalnych, ale też wzmacniają lokalną gospodarkę poprzez tworzenie dodatkowych źródeł dochodu i zatrudnienia²²⁸.

W kontekście planowania przestrzennego wydatki na analizy lokalizacyjne i konsultacje środowiskowe pozwalają ograniczyć konflikty dotyczące użytkowania przestrzeni i oddziaływania inwestycji na krajobraz. Virah-Sawmy i Sturmberg wskazali, że stosowanie zintegrowanego planowania przestrzennego, w tym morskiego (Marine Spatial Planning), wymaga nakładów na mapowanie wrażliwości środowiskowej, modelowanie oddziaływań oraz koordynację z innymi użytkownikami przestrzeni, ale znacząco redukuje społeczne koszty wdrażania OZE²²⁹.

Kolejną kategorią wydatków są środki techniczne minimalizujące wpływ na środowisko i zdrowie ludzi, takie jak redukcja hałasu, kurtyny bąbelkowe podczas instalacji morskich turbin, zmiany harmonogramu pracy w okresach migracji ptaków czy kontrola promieniowania elektromagnetycznego kabli przesyłowych. Choć generują one dodatkowe koszty operacyjne, są niezbędne dla utrzymania społecznej legitymizacji inwestycji i zapobiegania długofalowym kosztom środowiskowym²³⁰.

Znaczącą rolę w minimalizacji kosztów społecznych odgrywają również wydatki na monitoring i transparentność procesów inwestycyjnych. Finansowanie długoterminowych systemów monitoringu środowiskowego i społecznego, raportowanie postępów oraz publiczne udostępnianie danych przyczyniają się do wzrostu zaufania społecznego i zmniejszenia niepewności wokół projektów OZE. Przejrzystość finansowa i komunikacja z interesariuszami pozwalają utrzymać pozytywny wizerunek inwestora, co ma wymierny efekt w postaci mniejszej liczby konfliktów i większej stabilności regulacyjnej²³¹.

Wreszcie, nieodzownym komponentem wydatków redukujących koszty społeczne są inwestycje w rozwój lokalnych kompetencji i kapitału ludzkiego. Szkolenia, programy przekwalifikowania oraz wspieranie lokalnych przedsiębiorstw włącza społeczności w proces transformacji energetycznej, co zwiększa ich poczucie współodpowiedzialności i współuczestnictwa w korzyściach płynących z zielonej gospodarki²³².

Wydatki na minimalizację kosztów społecznych w sektorze OZE stanowią istotny element zarządzania zrównoważoną transformacją energetyczną. Choć wiążą się z dodatkowymi nakładami finansowymi w fazie planowania i eksploatacji, w dłuższej perspektywie redukują ryzyko społeczne, zwiększają stabilność projektów i poprawiają ich społeczno-ekonomiczną efektywność. Skuteczność tych działań zależy jednak od właściwego zarządzania finansowaniem

²²⁸ D. Virah-Sawmy, B. Sturmberg, *Socio-economic and environmental impacts of renewable energy deployments: A review*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” t. 207 (2025), DOI: 10.1016/j.rser.2024.114956, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032124006828>.

²²⁹ Ibid.

²³⁰ Ibid.

²³¹ Ibid.

²³² Ibid.

transformacji, w tym od zdolności adaptacyjnego kształtowania instrumentów finansowych, które umożliwiają utrzymanie równowagi między celami społecznymi, ekologicznymi i ekonomicznymi.

Współczesne podejście do zarządzania transformacją energetyczną wymaga nie tylko doskonalenia technologii odnawialnych źródeł energii i ram regulacyjnych, lecz także strategicznego zarządzania cyklem życia innowacji finansowych. Według Kou, Dinçer i Yüksel, instrumenty finansowe wspierające sektor OZE – takie jak zielone obligacje, fundusze inwestycyjne, partnerstwa publiczno-prywatne czy modele finansowania społecznościowego – podlegają własnemu cyklowi życia, obejmującemu fazy wprowadzenia, wzrostu, zaawansowania i spadku. W każdej z tych faz konieczne jest odmienne podejście zarządcze, umożliwiające utrzymanie płynności finansowej, efektywne zarządzanie ryzykiem oraz zapewnienie zaufania inwestorów i społeczeństwa. W fazie wzrostu kluczowe jest mobilizowanie kapitału poprzez instrumenty proste i dostępne, podczas gdy w fazie zaawansowania dominują narzędzia złożone, ukierunkowane na stabilizację i dywersyfikację ryzyka. Zarządzanie cyklem innowacji finansowych pełni tym samym funkcję mechanizmu równoważenia kosztów transformacji energetycznej – ogranicza ryzyko nadmiernych kosztów publicznych, przeciwdziała fluktuacjom inwestycyjnym i umożliwia długoterminowe planowanie rozwoju sektora. Co istotne, autorzy podkreślają, że innowacje finansowe, podobnie jak technologiczne, muszą być dynamicznie dostosowywane do zmian otoczenia regulacyjnego i społecznego. Ich skuteczne wdrażanie może nie tylko poprawiać efektywność ekonomiczną inwestycji, ale także zmniejszać koszty społeczne, m.in. poprzez zwiększenie transparentności procesów, możliwość współfinansowania przez społeczności lokalne i włączanie obywateli w projekty energetyczne. Tak rozumiane zarządzanie finansowe staje się integralnym elementem zarządzania systemowego transformacją energetyczną, łącząc w sobie aspekty ekonomiczne, instytucjonalne i społeczne, a tym samym przyczyniając się do trwałości i akceptacji społecznej procesów dekarbonizacji²³³.

2.3. ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI JAKO NARZĘDZIE ZARZĄDZANIA INWESTYCJAMI W PRZEDSIĘBIORSTWACH SEKTORA OZE

Analiza kosztów i korzyści (Cost–Benefit Analysis, CBA) stanowi jedno z podstawowych narzędzi oceny efektywności ekonomicznej i społecznej projektów inwestycyjnych w sektorze energetyki odnawialnej. Jak wskazali Leiva Vilaplana, Yang i Ackom, metoda ta opiera się na porównaniu wszystkich kosztów oraz korzyści wynikających z realizacji projektu w stosunku do scenariusza alternatywnego (*business as usual*), w którym inwestycja nie zostaje podjęta. CBA, zakorzeniona w ekonomii dobrobytu, służy do oceny, czy dany projekt przyczynia się do poprawy

²³³ G. Kou, H. Dinçer, S. Yüksel, *Pattern recognition of financial innovation life cycle for renewable energy investments with integer code series and multiple technology S-curves based on Q-ROF DEMATEL*, „Financial Innovation” t. 10 nr 1 (2024), DOI: 10.1186/s40854-024-00616-4, <https://fin-swufe.springeropen.com/articles/10.1186/s40854-024-00616-4>.

alokacyjnej efektywności zasobów w sensie kryterium Pareto lub Kaldora–Hicksa – tj. czy suma korzyści społecznych przewyższa poniesione koszty, nawet jeśli wymaga to rekompensaty między grupami interesariuszy²³⁴.

W kontekście inwestycji w odnawialne źródła energii analiza CBA uwzględnia zarówno koszty finansowe (CAPEX – nakłady inwestycyjne i OPEX – koszty eksploatacyjne), jak i efekty zewnętrzne, obejmujące m.in. redukcję emisji gazów cieplarnianych, poprawę bezpieczeństwa dostaw, wpływ na zatrudnienie oraz zdrowie publiczne. W porównaniu z tradycyjną analizą finansową, CBA w sektorze OZE obejmuje szeroki zakres skutków środowiskowych i społecznych, co pozwala ocenić nie tylko rentowność ekonomiczną, lecz także wkład projektu w zrównoważony rozwój.

Autorzy wskazali sześć głównych etapów postępowania analitycznego:

- określenie zakresu i celu analizy, w tym identyfikacja interesariuszy i horyzontu czasowego;
- identyfikacja oraz kwantyfikacja skutków projektu, obejmująca wszystkie bezpośrednie i pośrednie efekty ekonomiczne, środowiskowe i społeczne;
- monetyzacja efektów, czyli przypisanie im wartości pieniężnej poprzez wykorzystanie cen rynkowych lub tzw. cen cieniowych (*shadow prices*), np. kosztu społecznego emisji dwutlenku węgla;
- dyskontowanie przyszłych przepływów, które pozwala przeliczyć wartości przyszłe na ich ekwiwalent bieżący – najczęściej z zastosowaniem społecznej stopy dyskontowej na poziomie 4–5% zalecanej przez Komisję Europejską²³⁵ i ACER²³⁶ (Agency for the Cooperation of Energy Regulatory - Agencja ds. Współpracy Organów Regulacji Energetyki);
- obliczenie wskaźników efektywności projektu, takich jak wartość bieżąca netto, stosunek korzyści do kosztów czy wewnętrzna stopa zwrotu;
- ocena ryzyka i niepewności, w tym analiza wrażliwości oraz symulacje probabilistyczne pozwalające oszacować wpływ zmiennych makroekonomicznych na wynik netto inwestycji.

Metodyka CBA została opracowana przez ENTSO-E i przyjęta przez ACER oraz Komisję Europejską jako wspólnotowy standard oceny projektów energetycznych. Leiva Vilaplana i in. rozróżnili dwie formy analizy CBA: finansową oraz społeczną. CBA finansowa koncentruje się na ocenie rentowności projektu z perspektywy inwestora, podczas gdy CBA społeczna obejmuje szerszy wymiar – oceniając wpływ przedsięwzięcia na dobrobyt społeczny i środowisko. Autorzy przytaczają wyniki badań Florio i in., obejmujące analizę około 1000 projektów energetycznych w Unii

²³⁴ J.A. Leiva Vilaplana, G. Yang, E. Ackom, *From investment to net benefits: A review of guidelines and methodologies for cost–benefit analysis in the electricity sector...*

²³⁵ European Commission, *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects for Cohesion Policy 2014-2020*, (2014),

https://ec.europa.eu/regional_policy/en/information/publications/guides/2014/guide-to-cost-benefit-analysis-of-investment-projects-for-cohesion-policy-2014-2020.

²³⁶ ENTSO-E Electrifying Europe, *ENTSO-E publishes the final Guideline for Cost Benefit Analysis of Grid Development Projects*, (2024),

<https://www.entsoe.eu/news/2024/04/09/entso-e-publishes-the-final-guideline-for-cost-benefit-analysis-of-grid-development-projects>.

Europejskiej, które wykazały, że mimo ujemnego średniego wyniku finansowego (-2,9%), bilans społeczny był zdecydowanie dodatni (+16,2%). Wynik ten potwierdza, że inwestycje w OZE, nawet przy ograniczonej rentowności kapitałowej, generują wymierne korzyści dla społeczeństwa i środowiska²³⁷.

W kontekście transformacji energetycznej metoda CBA stanowi niezbędne narzędzie wspierające podejmowanie decyzji inwestycyjnych w sektorze OZE. Pozwala ona porównywać technologie pod względem kosztów jednostkowych wytwarzania energii (LCOE) oraz korzyści społecznych wynikających z ich zastosowania, takich jak ograniczenie emisji, rozwój lokalnych rynków pracy czy poprawa bezpieczeństwa energetycznego. Zastosowanie zintegrowanej analizy – łączącej perspektywę finansową i społeczną – umożliwia tworzenie projektów, które jednocześnie realizują cele gospodarcze przedsiębiorstwa i cele zrównoważonego rozwoju.

W literaturze zwraca się uwagę, że klasyczny wskaźnik uśrednionego kosztu energii (LCOE) nie odzwierciedla pełnych kosztów wytwarzania energii, gdyż pomija zarówno efekty zewnętrzne (społeczne i środowiskowe), jak i koszty systemowe integracji OZE. W literaturze przedmiotu LCOE opisuje się zazwyczaj jako stosunek rocznych kosztów systemu wytwarzania energii do ilości energii produkowanej w tym samym okresie. Część autorów rozszerza tę definicję, wskazując, że wskaźnik ten powinien obejmować pełny cykl życia instalacji energetycznej – a więc całkowite koszty inwestycyjne, operacyjne i eksploatacyjne ponoszone w całym okresie funkcjonowania elektrowni, podzielone przez łączną ilość energii wytworzonej w tym czasie. W efekcie LCOE można formalnie zapisać w postaci następującego równania²³⁸.

$$LCOE = \frac{CAPEX + OPEX}{\text{Całkowita produkcja energii}} \quad (2)$$

$$LCOE = \frac{[(CAPEX + BOS)FCR + OPEX]}{\int G \, dt} \quad (3)$$

$$LCOE = \frac{\sum \text{kosztów}}{\int G \, dt} \quad (4)$$

gdzie:

CAPEX – koszty kapitałowe,

OPEX – koszty operacyjne,

BOS – pozostałe koszty (montaż, podłączenie infrastruktury itp.),

FCR – stała stawka opłaty (%),

²³⁷ J.A. Leiva Vilaplana, G. Yang, E. Ackom, *From investment to net benefits: A review of guidelines and methodologies for cost-benefit analysis in the electricity sector...*

²³⁸ E. Loth i in., *Why we must move beyond LCOE for renewable energy design*, „Advances in Applied Energy” t. 8 (2022), DOI: 10.1016/j.adapen.2022.100112, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2666792422000300>.

G – generowanie energii jako funkcja czasu $\left(\frac{h}{rok}\right)$

Jednym ze sposobów rozszerzenia klasycznego wskaźnika LCOE jest uwzględnienie efektów zewnętrznych, czyli kosztów i korzyści społecznych oraz środowiskowych związanych z wytwarzaniem energii. Do takich czynników zalicza się m.in. emisję gazów cieplarnianych, zanieczyszczenie powietrza i wody, hałas, zajęcie gruntów, bezpieczeństwo energetyczne czy wpływ na zdrowie publiczne. Efekty te mogą być pozytywne lub negatywne, w zależności od technologii – przykładowo OZE zmniejszają emisję i koszty zdrowotne, podczas gdy źródła konwencjonalne generują zanieczyszczenia i wyższe obciążenia społeczne²³⁹.

Monetyzacja kosztów społecznych opiera się na różnych metodach, takich jak: analiza funkcji szkód, koszty chorób przypisywanych zanieczyszczeniom powietrza²⁴⁰, wartość statystycznego życia, społeczny koszt emisji CO₂²⁴¹ czy badania gotowości do płacenia²⁴². Wyniki takich analiz wskazują, że efekty zdrowotne i środowiskowe mają wymierny wpływ ekonomiczny – np. redukcja zanieczyszczeń w Europie może przynosić milionowe oszczędności rocznie²⁴³.

Zakres kosztów społecznych zależy od rodzaju i lokalizacji technologii. Dla biomasy kluczowe są skutki użytkowania gruntów i wylesiania, dla energetyki wiatrowej – hałas i oddziaływanie krajobrazowe, a dla PV – zajęcie terenów i wpływ na ekosystemy. Coraz częściej analizuje się również koszty wynikające z braku akceptacji społecznej projektów, w tym rekompensaty finansowe i spadek wartości nieruchomości. Autorzy podkreślają, że precyzyjna wycena efektów zewnętrznych pozostaje wyzwaniem z uwagi na ograniczony dostęp do danych i brak standaryzacji metod, dlatego ocena społecznych kosztów energii powinna uwzględniać uwarunkowania lokalne i kulturowe, a także integrować dane z analiz cyklu życia²⁴⁴.

²³⁹ I. Robalo-Cabrera i in., *The role of social costs in enhancing the levelized cost of energy*, „Energy Research & Social Science” t. 127 (2025), DOI: 10.1016/j.erss.2025.104268, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214629625003494>.

²⁴⁰ M. Hadei i in., *Mortality and morbidity economic burden due to PM_{2.5} and ozone; an AirQ+ modelling in Iran*, „Journal of Air Pollution and Health” (2020), DOI: 10.18502/japh.v5i1.2855, <https://publish.kne-publishing.com/index.php/JAPH/article/view/2855>; B. Sætterstrøm i in., *A Method to Assess the Potential Effects of Air Pollution Mitigation on Healthcare Costs*, „Journal of Environmental and Public Health” t. 2012 (2012), DOI: 10.1155/2012/935825, <http://www.hindawi.com/journals/jeph/2012/935825/>.

²⁴¹ A. Alberini i in., *Preferences for Energy Efficiency vs. Renewables: What Is the Willingness to Pay to Reduce CO₂ Emissions?*, „Ecological Economics” t. 144 (2018), DOI: 10.1016/j.ecolecon.2017.08.009, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921800916312472>.

²⁴² L.T. Johnson, S. Yeh, C. Hope, *The social cost of carbon: implications for modernizing our electricity system*, „Journal of Environmental Studies and Sciences” t. 3 nr 4 (2013), DOI: 10.1007/s13412-013-0149-5, <http://link.springer.com/10.1007/s13412-013-0149-5>.

²⁴³ W.K. Viscusi, *The devaluation of life*, „Regulation & Governance” t. 3 nr 2 (2009), DOI: 10.1111/j.1748-5991.2009.01052.x, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1748-5991.2009.01052.x>.

²⁴⁴ I. Robalo-Cabrera i in., *The role of social costs in enhancing the levelized cost of energy...*

W rezultacie część badań skupia się jedynie na analizie kosztów związanych ze zmianą klimatu (COCC), wynikających z emisji gazów cieplarnianych, oraz kosztów zanieczyszczenia powietrza (COAP)²⁴⁵, definiując na tej podstawie pojęcie społecznego kosztu energii (SCOE).

$$SCOE = COCC + COAP \left(\frac{\text{€}}{MWh} \right) \quad (5)$$

gdzie,

COCC – koszty zmiany klimatu,

COAP – koszty zanieczyszczenia powietrza,

Oszacowanie kosztów społecznych danej technologii w określonej lokalizacji jest trudne i często prowadzi do uproszczeń zniekształcających wyniki. Dlatego w badaniach coraz częściej stosuje się ocenę cyklu życia (LCA), która pozwala analizować efekty środowiskowe w całym okresie funkcjonowania systemu energetycznego, zwłaszcza emisje CO₂. Coraz częściej wykorzystuje się także społeczną ocenę cyklu życia (S-LCA), służącą do oceny wpływu technologii na pracowników i społeczności, z uwzględnieniem kwestii takich jak bezpieczeństwo pracy, prawa człowieka czy dziedzictwo kulturowe²⁴⁶.

Zastosowanie LCA i S-LCA napotyka jednak ograniczenia związane z brakiem wiarygodnych, regionalnych baz danych i trudnością w przekształceniu efektów społecznych w precyzyjne wskaźniki ekonomiczne. Wymaga to złożonych, jakościowych modeli, które potrafią uchwycić różnorodne aspekty społeczne i kulturowe. Dlatego pełne uwzględnienie kosztów społecznych w analizie LCOE wymaga podejścia systemowego, integrującego dane środowiskowe, ekonomiczne i społeczne w spójną, wielowymiarową ocenę kosztów energii²⁴⁷.

Równolegle opracowano tzw. metryki systemowe (sLCOE, LACE/Net Value, LVOE, COVE i PLCOE), które rozszerzają klasyczny wskaźnik kosztu energii (LCOE). Uwzględniają one nie tylko koszty wytwarzania, ale także zmienność produkcji energii z OZE, wydatki na integrację z siecią, magazynowanie, elastyczność systemu i jego niezawodność. Połączenie tych metod umożliwia traktowanie wydatków na ograniczanie kosztów społecznych – takich jak konsultacje społeczne, udział mieszkańców w zyskach (benefit-sharing), rekompensaty środowiskowe czy monitoring – jako realnych i mierzalnych elementów ekonomicznej oceny inwestycji w OZE. W praktyce oznacza to, że dobre zarządzanie eksploatacją i utrzymaniem

²⁴⁵ F.B. Tilahun, R. Bhandari, M. Mamo, *Supply optimization based on society's cost of electricity and a calibrated demand model for future renewable energy transition in Niger*, „Energy, Sustainability and Society” t. 9 nr 1 (2019), DOI: 10.1186/s13705-019-0217-0, <https://energysustainsoc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13705-019-0217-0>.

²⁴⁶ B.K. Sovacool, J. Kim, M. Yang, *The hidden costs of energy and mobility: A global meta-analysis and research synthesis of electricity and transport externalities*, „Energy Research & Social Science” t. 72 (2021), DOI: 10.1016/j.erss.2020.101885, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214629620304606>.

²⁴⁷ S. Takeda i in., *Are Renewables as Friendly to Humans as to the Environment?: A Social Life Cycle Assessment of Renewable Electricity*, „Sustainability” t. 11 nr 5 (2019), DOI: 10.3390/su11051370, <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/5/1370>.

instalacji (OPEX, Smart O&M) może nie tylko obniżać koszty techniczne, ale również zmniejszać społeczne ryzyko inwestycji – ograniczać konflikty, zapobiegać opóźnieniom, poprawiać niezawodność systemu i budować akceptację społeczną. Może się to przekładać na większą stabilność i przewidywalność kosztów całego systemu energetycznego. Jednak pomimo istnienia baz danych, dokładne przekształcenie wpływu społecznego technologii energetycznych w mierzalne wskaźniki kosztów pozostaje trudne. Wynika to z wielowymiarowości czynników, takich jak zatrudnienie, zdrowie publiczne czy nierówności społeczne, które wymagają złożonych, jakościowych analiz wykraczających poza tradycyjną ekonomię. Integracja kosztów społecznych z analizą LCOE wymaga zatem ram uwzględniających różnice regionalne, kulturowe i demograficzne. Współczesne badania podkreślają potrzebę łączenia nauk technicznych z naukami społecznymi o energetyce, by lepiej zrozumieć skutki transformacji energetycznej. Uwzględnienie danych społeczno-demograficznych, kontekstu lokalnego i roli interesariuszy pozwala na pełniejszą ocenę skutków społecznych i prowadzi do bardziej sprawiedliwej i zrównoważonej transformacji energetycznej²⁴⁸.

2.4. CZYNNIKI RYNKOWE I FINANSOWE KSZTAŁTUJĄCE KOSZTY SPOŁECZNE OZE

Wzajemne oddziaływanie mechanizmów rynkowych i finansowych stanowi zasadniczy czynnik determinujący tempo oraz skalę rozwoju inicjatyw związanych z odnawialnymi źródłami energii w różnych uwarunkowaniach gospodarczych. Liczne badania empiryczne potwierdzają, że rozwój finansowy, obejmujący poprawę dostępu do kapitału oraz funkcjonowanie efektywnych rynków finansowych, wywiera pozytywny wpływ zarówno na podaż, jak i konsumpcję energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych. Zależność ta jest szczególnie widoczna w gospodarkach rozwijających się, gdzie ekspansja sektora finansowego wspiera przedsięwzięcia energetyczne i koreluje z długookresowym wzrostem gospodarczym. Wyniki badań Ngcobo i Wet dowodzą, że mechanizmy finansowe mają istotny wpływ na rozwój infrastruktury i podaży energii odnawialnej w czasie, co wskazuje na znaczenie stabilnych ram finansowych sprzyjających inwestycjom w nowe technologie energetyczne²⁴⁹. Jak wskazał Vimpari, globalne nakłady inwestycyjne potrzebne dla osiągnięcia w pełni odnawialnego systemu energetycznego mogą sięgnąć około 67 bilionów euro do roku 2050, co podkreśla ogrom finansowych wyzwań transformacji²⁵⁰. Inwestycje te wymagają innowacyjnych mechanizmów finansowania i strategii ograniczania ryzyka, aby przyciągnąć kapitał prywatny i obniżyć koszty

²⁴⁸ I. Robalo-Cabrera i in., *The role of social costs in enhancing the levelized cost of energy...*

²⁴⁹ R. Ngcobo, M.C. De Wet, *The Impact of Financial Development and Economic Growth on Renewable Energy Supply in South Africa*, „Sustainability” t. 16 nr 6 (2024), DOI: 10.3390/su16062533, <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/6/2533>.

²⁵⁰ J. Vimpari, *Financing Energy Transition with Real Estate Wealth*, „Energies” t. 13 nr 17 (2020), DOI: 10.3390/en13174289, <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/17/4289>.

finansowania²⁵¹. Kompleksowe ramy polityczne mogą zachęcać do wdrażania odnawialnych źródeł energii, jednocześnie obniżając nakłady inwestycyjne związane z kosztami eksploatacji i utrzymania (O&M), zapewniając ekonomiczną opłacalność odnawialnych źródeł energii.

Dynamika rynkowa stanowi równocześnie czynnik warunkujący tempo wdrażania technologii OZE. Silva wskazuje, że w poszczególnych sektorach gospodarki – przykładowo w turystyce – o sukcesie projektów decydują zarówno wysokie koszty początkowe, jak i system zachęt rządowych. Brak odpowiednich bodźców fiskalnych oraz ograniczony dostęp do wiarygodnych informacji rynkowych stanowią trwałe bariery hamujące innowacyjność i implementację rozwiązań w obszarze energetyki odnawialnej²⁵². Z tego względu identyfikacja czynników motywujących i hamujących rozwój rynku ma kluczowe znaczenie dla tworzenia skutecznych strategii integracji technologii OZE z istniejącymi systemami energetycznymi.

Dodatkowym wyzwaniem dla inwestorów pozostaje niepewność związana z niestabilnością rynków finansowych oraz zmiennością cen energii. Jak wskazali Avramenko i Mujumdar oraz Lin i Wang, wahania cen surowców – zwłaszcza ropy naftowej – wywierają istotny wpływ na decyzje inwestycyjne w sektorze OZE. W konsekwencji instytucje finansowe zmuszone są do opracowywania wyspecjalizowanych strategii zarządzania ryzykiem branżowym, które mogą zwiększać zaufanie inwestorów i wspierać rozwój zrównoważonych projektów energetycznych²⁵³.

Również mechanizmy rynkowe oparte na systemach wsparcia, takie jak zbywalne zielone certyfikaty, mogą oddziaływać na strukturę konkurencji w sektorze wytwarzania energii. Ich wprowadzenie przyczynia się do większego zaangażowania tradycyjnych przedsiębiorstw energetycznych w projekty odnawialne²⁵⁴. Aby jednak efektywnie wspierać takie procesy, polityka publiczna powinna zapewniać zgodność między bodźcami rynkowymi a nadrzędnymi celami zrównoważonego rozwoju. W tym kontekście działania zachęcające do konkurencji między dostawcami energii odgrywają kluczową rolę w utrzymaniu rentowności

²⁵¹ Y. He, P. Huang, *Exploring the Forms of the Economic Effects of Renewable Energy Consumption: Evidence from China*, „Sustainability” t. 14 nr 13 (2022), DOI: 10.3390/su14138212, <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/13/8212>.

²⁵² L. Silva, *Adoption of renewable energy innovations among hoteliers in Portugal*, „Tourism & Management Studies” t. 18 nr 4 (2022), DOI: 10.18089/tms.2022.180402, https://www.tmsstudies.net/index.php/ectms/article/view/1923/pdf_396.

²⁵³ A.A. Avramenko, A.A. Mujumdar, *Exploring relationship between oil prices and renewable energy investments*, „Market economy problems” nr 1 (2020), DOI: 10.33051/2500-2325-2020-1-116-125, <http://www.market-economy.ru/archive/2020-01/2020-01-116-125-avramenko-mudzhumdar.pdf>; B. Lin, S. Wang, *Mechanism analysis of the influence of oil price uncertainty on strategic investment of renewable energy enterprises*, „International Journal of Finance & Economics” t. 28 nr 4 (2023), DOI: 10.1002/ijfe.2641, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ijfe.2641>.

²⁵⁴ J. Wen i in., *Competitive Equilibrium Analysis of Power Generation Transaction Subjects Considering Tradable Green Certificates*, „Processes” t. 11 nr 10 (2023), DOI: 10.3390/pr11103008, <https://www.mdpi.com/2227-9717/11/10/3008>.

ekonomicznej źródeł odnawialnych, szczególnie w regionach z dominacją tradycyjnych form wytwarzania²⁵⁵.

Komplementarne powiązanie rozwoju finansowego, dynamiki rynkowej oraz systemu regulacyjnego stanowi podstawę dla zrozumienia współczesnych wyzwań i szans w sektorze energii odnawialnej. Odpowiednie dopasowanie instrumentów finansowych oraz narzędzi polityki publicznej do uwarunkowań rynkowych może pobudzić inwestycje i przyczynić się do kształtowania bardziej zrównoważonego modelu gospodarki energetycznej. Rozwój finansowy jest czynnikiem o fundamentalnym znaczeniu dla tworzenia otoczenia sprzyjającego inwestycjom w OZE. Jego dynamika wpływa na powstawanie instrumentów wsparcia finansowego, takich jak ulgi podatkowe czy dotacje, które skutecznie redukują wysokie koszty początkowe inwestycji²⁵⁶. Według wyników badań Qamruzzamana, Majeeda i Hussaina oraz Sun i in., efektywność sektora finansowego zwiększa dostępność długoterminowych źródeł finansowania, czyniąc przedsięwzięcia w obszarze OZE bardziej atrakcyjnymi dla inwestorów. Co więcej, rozwinięte rynki finansowe przyczyniają się do wzrostu rentowności projektów poprzez obniżenie kosztów transakcyjnych i ograniczenie ryzyka inwestycyjnego²⁵⁷.

W ostatnich latach szczególnego znaczenia nabierają innowacyjne produkty finansowe dostosowane do specyfiki sektora OZE. Narzędzia takie jak zielone obligacje czy platformy crowdfundingowe ułatwiają pozyskiwanie kapitału, jednocześnie zwiększając partycypację inwestorów i zgodność ich interesów z celami zrównoważonego rozwoju²⁵⁸. Dodatkowo, rosnące znaczenie cyfrowego

²⁵⁵ D. Koolen, D. Bunn, W. Ketter, *Renewable Energy Technologies and Electricity Forward Market Risks*, „The Energy Journal” t. 42 nr 4 (2021), DOI: 10.5547/01956574.42.4.dkoo, <https://journals.sagepub.com/doi/10.5547/01956574.42.4.dkoo>.

²⁵⁶ R.M. Elzaki, *Impact of Financial Development Shocks on Renewable Energy Consumption in Saudi Arabia*, „Sustainability” t. 15 nr 22 (2023), DOI: 10.3390/su152216004, <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/22/16004>.

²⁵⁷ M.T. Majeed, Z. Hussain, *Financial sector development and renewable energy consumption nexus: Evidence from global dynamic panel threshold analysis*, „Natural Resources Forum” t. 49 nr 3 (2025), DOI: 10.1111/1477-8947.12469, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1477-8947.12469>; Md. Qamruzzaman, *Nexus between foreign direct investment, gross capital formation, financial development and renewable energy consumption: evidence from panel data estimation*, „GSC Advanced Research and Reviews” t. 18 nr 1 (2024), DOI: 10.30574/gscarr.2024.18.1.0011, <https://gsconlinepress.com/journals/gscarr/content/nexus-between-foreign-direct-investment-gross-capital-formation-financial-development-and>; M. Mroua, H. Bouattour, N. Naifar, *Dynamic links between renewable energy, commodities, and financial stock markets: Implications for portfolio diversification*, „International Journal of Financial Engineering” t. 09 nr 01 (2022), DOI: 10.1142/S2424786321500237, <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S2424786321500237>; Z. Sun, X. Zhang, Y. Gao, *The Impact of Financial Development on Renewable Energy Consumption: A Multidimensional Analysis Based on Global Panel Data*, „International Journal of Environmental Research and Public Health” t. 20 nr 4 (2023), DOI: 10.3390/ijerph20043124, <https://www.mdpi.com/1660-4601/20/4/3124>.

²⁵⁸ G. Kou, H. Dinçer, S. Yüksel, *Pattern recognition of financial innovation life cycle for renewable energy investments with integer code series and multiple technology S-curves*

włączenia finansowego umożliwia poszerzenie dostępu do finansowania w obszarze odnawialnych źródeł energii, co sprzyja redukcji luki inwestycyjnej i przyspiesza proces transformacji energetycznej²⁵⁹. Jednocześnie niepewność regulacyjna i niska jakość instytucji pozostają czynnikami ograniczającymi napływ inwestycji, szczególnie zagranicznych²⁶⁰. Stabilność instytucjonalna i przejrzystość zasad rynku są kluczowe dla efektywności rozwoju finansowego w kontekście wdrażania OZE²⁶¹. Wysokie koszty początkowe oraz ryzyko niskiej rentowności mogą nadal zniechęcać inwestorów, co wskazuje na konieczność prowadzenia stabilnej i spójnej polityki wspierającej sektor odnawialny²⁶².

Zależność między rozwojem finansowym, dynamiką rynku oraz strukturą inwestycji stanowi kluczowy element krajobrazu transformacji energetycznej. Wraz z postępującą globalną zmianą paradygmatu energetycznego, budowa stabilnego ekosystemu finansowego sprzyjającego innowacjom i redukcji barier inwestycyjnych będzie warunkiem koniecznym dla dalszego rozwoju odnawialnych źródeł energii. Dla decydentów politycznych oznacza to potrzebę intensyfikacji wykorzystania instrumentów finansowych i innowacyjnych mechanizmów rynkowych w celu zwiększenia dostępności kapitału i stymulowania inwestycji w sektorze OZE. Analiza wzajemnych powiązań pomiędzy finansowaniem, rozwojem rynku i polityką publiczną wskazuje jednak, że czynniki te nie funkcjonują w próżni ekonomicznej – ich skuteczność zależy od percepcji społecznej, jakości instytucji i szerokiego kontekstu makroekonomicznego. W rzeczywistości to właśnie

based on Q-ROF DEMATEL...; P.L. Saputri i in., *Green Fintech Adoption and Renewable Energy Investments on Green Investment Commitments in Indonesia*, „IOP Conference Series: Earth and Environmental Science” t. 1524 nr 1 (2025), DOI: 10.1088/1755-1315/1524/1/012013, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1524/1/012013>.

²⁵⁹ Odunayo Adewunmi Adelekan i in., *ENERGY TRANSITION POLICIES: A GLOBAL REVIEW OF SHIFTS TOWARDS RENEWABLE SOURCES*, „Engineering Science & Technology Journal” t. 5 nr 2 (2024), DOI: 10.51594/estj.v5i2.752, <https://fepbl.com/index.php/estj/article/view/752>; J. Zheng, B. Liu, Y. Huang, *Inhibiting or exacerbating? Digital financial inclusion and renewable energy efficiency*, „Science Progress” t. 108 nr 2 (2025), DOI: 10.1177/00368504251331897, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/00368504251331897>.

²⁶⁰ Eko Eddy Supriyanto, *Green and Renewable Energy Financing Policy in Indonesia* [w:] *Renewable Energy: Policy and Strategy*, Penerbit BRIN 2023; C.O. Olaniyi, M.A.S. Al-Faryan, E.O. Ogbaro, *Do institutional quality and its threshold matter in the sensitivity of the renewable energy transition to financial development? New empirical perspectives*, „International Journal of Finance & Economics” t. 30 nr 1 (2025), DOI: 10.1002/ijfe.2900, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ijfe.2900>.

²⁶¹ T. Lee, *Financial investment for the development of renewable energy capacity*, „Energy & Environment” t. 32 nr 6 (2021), DOI: 10.1177/0958305X19882403, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0958305X19882403>.

²⁶² A. Hussain, S.Z.A. Shah, M. Ayub, *Analysis of Factors Affecting Renewable Energy Consumption Evidenced from Thailand*, „iRASD Journal of Energy & Environment” t. 2 nr 2 (2021), DOI: 10.52131/jee.2021.0202.0018, <https://journals.internationalrasd.org/index.php/jee/article/view/486>; G.S. Kulka, *Renewable Energy and Financial Performance: A Panel Data Analysis of Indian Maharatna Firms*, 17 lutego 2025 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-6023102/v1>.

społeczny odbiór transformacji energetycznej, a także sposób, w jaki rynek i państwo reagują na oczekiwania obywateli, w dużej mierze determinują realne koszty społeczne tej transformacji. W związku z tym dalsza analiza musi uwzględniać nie tylko efektywność mechanizmów finansowych, lecz także wpływ postaw społecznych, polityki rządowej i czynników makroekonomicznych na proces wdrażania odnawialnych źródeł energii.

Czynniki rynkowe i finansowe determinujące poziom kosztów społecznych odnawialnych źródeł energii pozostają w ścisłym związku z percepcją społeczną, kierunkami polityki rządowej oraz uwarunkowaniami gospodarczymi. Zrozumienie tych współzależności jest niezbędne do oceny, w jaki sposób można rozwijać i wdrażać systemy energetyki odnawialnej w sposób zrównoważony i społecznie akceptowalny. Postawy społeczne wobec energii odnawialnej stanowią jeden z najważniejszych czynników wpływających na skalę i strukturę kosztów społecznych. Liczne badania wskazują, że akceptacja społeczna wobec nowych technologii jest często ograniczana przez percepcję wysokich kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych związanych z OZE. W literaturze postulowano, aby instrumenty polityki publicznej – w tym dopłaty do cen energii oraz ulgi inwestycyjne – mogły stanowić skuteczny środek łagodzący te bariery, zwiększając poziom społecznej akceptacji i ograniczając ryzyko protestów oraz opóźnień w realizacji projektów²⁶³. Sugeruje to, że akceptacja społeczna nie jest jedynie kwestią postaw czy świadomości ekologicznej, ale również racjonalnej oceny kosztów i korzyści ekonomicznych przez obywateli.

Z badań Woo i in. wynika również, że skuteczne strategie komunikacji i partycypacji społecznej mogą przyczynić się do zmniejszenia oporu wobec projektów OZE poprzez lepsze dopasowanie celów inwestycyjnych do potrzeb lokalnych społeczności. Włączenie społeczności w proces decyzyjny nie tylko ogranicza konflikty, ale także wzmacnia poczucie współwłasności i długofalowego zaangażowania, co w efekcie może zmniejszyć koszty społeczne wynikające z braku zaufania czy dezinformacji. Rola polityki rządowej w kształtowaniu otoczenia finansowego sektora odnawialnego jest równie istotna. Programy wsparcia – takie jak standardy portfela energii odnawialnej, preferencyjne kredyty inwestycyjne, rabaty czy ulgi podatkowe – odgrywają kluczową rolę w stymulowaniu rozwoju rynków zielonej energii²⁶⁴. Współczesne strategie rozwoju finansowego koncentrują się na redukcji kosztów kapitału poprzez wprowadzenie gwarancji kredytowych lub instrumentów zmniejszających ryzyko inwestycyjne, co przekłada się na większą atrakcyjność projektów OZE²⁶⁵. Wraz z poprawą

²⁶³ J. Woo i in., *Public attitudes toward the construction of new power plants in South Korea*, „Energy & Environment” t. 28 nr 4 (2017), DOI: 10.1177/0958305X17705948, <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0958305X17705948>.

²⁶⁴ N. Apergis, J.E. Payne, *The renewable energy consumption–growth nexus in Central America*, „Applied Energy” t. 88 nr 1 (2011), DOI: 10.1016/j.apenergy.2010.07.013, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261910002825>.

²⁶⁵ D. Kirikkaleli, T.S. Adebayo, *Do renewable energy consumption and financial development matter for environmental sustainability? New global evidence*, „Sustainable Development” t. 29 nr 4 (2021), DOI: 10.1002/sd.2159, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sd.2159>.

efektywności rynków finansowych i dostępnością nowych narzędzi inwestycyjnych można oczekiwać, że koszty społeczne związane z wdrażaniem technologii odnawialnych ulegną obniżeniu, a proces integracji OZE w krajowych systemach energetycznych stanie się bardziej stabilny i przewidywalny.

Ekonomiczne skutki przejścia na odnawialne źródła energii nie są jednak neutralne. Analizy wskazują, że proces transformacji energetycznej może mieć przejściowy charakter inflacyjny, zwłaszcza gdy struktury rynkowe nie nadążają za technologicznymi zmianami²⁶⁶. W początkowej fazie przejścia możliwe jest wystąpienie wzrostu cen energii dla konsumentów końcowych, wynikającego z kosztów modernizacji infrastruktury oraz subsydiowania nowych instalacji. Dlatego kluczowym elementem polityki publicznej powinno być wprowadzenie mechanizmów kompensacyjnych – takich jak czasowe dopłaty, taryfy gwarantowane lub ulgi podatkowe – które łagodzą skutki inflacyjne i ograniczają ryzyko pogorszenia dobrobytu społecznego.

Istotnym czynnikiem determinującym percepcję społeczną i realne koszty wdrażania technologii odnawialnych jest relacja kosztów jednostkowych pomiędzy energią odnawialną a konwencjonalną. Narzędziem analitycznym umożliwiającym ich porównanie jest wskaźnik uśrednionego kosztu energii (LCOE), pozwalający ocenić konkurencyjność technologii w długim horyzoncie czasowym²⁶⁷. Analizy LCOE często ujawniają, że mimo wyższych kosztów początkowych instalacji OZE, długoterminowe oszczędności wynikające z ograniczenia kosztów paliw i emisji kompensują początkowe nakłady. Tym samym inwestycje w odnawialne źródła energii mogą przynosić znaczne korzyści społeczne w postaci poprawy zdrowia publicznego, czystsze środowiska i stabilności cenowej.

W ostatnich latach w literaturze naukowej (Robalo-Cabrera i in., Sovacool i in.) pojawiają się propozycje rozszerzenia tradycyjnego wskaźnika LCOE o komponent społeczny – określane zbiorczo mianem *socialized Levelized Cost of Energy* (sLCOE). Podejście to zakłada włączenie do analiz nie tylko kosztów kapitałowych, operacyjnych i eksploatacyjnych, ale również zewnętrznych efektów społecznych i środowiskowych, takich jak wpływ na zdrowie publiczne, rynek pracy, emisje zanieczyszczeń czy przekształcenia przestrzenne. Wciąż jednak brak jednolitej metodologii obliczeń – sLCOE funkcjonuje raczej jako propozycja badawcza służąca lepszemu powiązaniu analiz ekonomicznych z wymiarem społecznym transformacji energetycznej²⁶⁸.

W najnowszych analizach podkreśla się również, że pełna ocena kosztów społecznych energii wymaga uwzględnienia czynnika bezpieczeństwa energetycznego, który w klasycznych kalkulacjach LCOE bywa pomijany.

²⁶⁶ Ü. Arslan, T. Yıldız, *Does the transition to renewable energy increase inflation in European countries?*, 29 marca 2022 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-1408222/v1>.

²⁶⁷ A. Verma i in., *Sustainable Transportation: Economics Driving Towards Environmental Solutions*, „Educational Administration Theory and Practices” (2024), DOI: 10.53555/kuey.v30i5.4996, <https://kuey.net/index.php/kuey/article/view/4996>.

²⁶⁸ I. Robalo-Cabrera i in., *The role of social costs in enhancing the levelized cost of energy...*; B.K. Sovacool, J. Kim, M. Yang, *The hidden costs of energy and mobility: A global meta-analysis and research synthesis of electricity and transport externalities...*

Jak zauważa Emblemssvåg, współczesne kryzysy geopolityczne – w tym zakłócenia dostaw surowców energetycznych spowodowane wojną na Ukrainie – unaocznily, że brak bezpieczeństwa energetycznego generuje znaczące, choć często ukryte, koszty dla gospodarki i społeczeństwa. Z tego względu bezpieczeństwo należy traktować jako komponent ryzyka systemowego, którego skutki materializują się w postaci wzrostu cen energii, niestabilności rynków oraz kosztów interwencji państwowych. Uwzględnienie tej zmiennej w metryce sLCOE pozwala rozszerzyć analizę o aspekt odporności systemu energetycznego – uwzględniając nie tylko bezpośrednie koszty wytwarzania energii, lecz także jej dostępność, stabilność dostaw i wpływ na dobrobyt społeczny. Różne źródła energii posiadają odmienne profile ryzyka, a zatem i różną wartość z punktu widzenia bezpieczeństwa. Włączenie tej perspektywy do analizy kosztów społecznych umożliwia bardziej realistyczne odzwierciedlenie wpływu decyzji inwestycyjnych na długofalową stabilność rynku i bezpieczeństwo gospodarcze państwa²⁶⁹.

Modele ekonomiczne oceniające koszty społeczne energii odnawialnej muszą uwzględniać wielowymiarowe skutki transformacji, takie jak zmiany na rynku pracy, koszty środowiskowe, wpływ na zdrowie publiczne czy koszty infrastrukturalne²⁷⁰. Badania wykazują, że opłacalność projektów OZE jest silnie uzależniona od lokalnych uwarunkowań geograficznych, technologicznych i społeczno-ekonomicznych, dlatego indywidualne analizy regionalne są niezbędne dla realistycznej oceny bilansu kosztów i korzyści²⁷¹. Takie podejście pomaga przełamać stereotypowe postrzeganie OZE jako rozwiązań kosztownych i niestabilnych, wskazując na ich potencjał w zakresie wzmacniania bezpieczeństwa energetycznego, tworzenia miejsc pracy oraz ograniczania długoterminowych kosztów zewnętrznych.

Coraz większe znaczenie w redukcji kosztów społecznych zyskują systemy hybrydowe łączące różne źródła odnawialne, takie jak energia wiatrowa, słoneczna i biomasa. Jak zauważają Al-Shammari i in., takie podejście sprzyja optymalizacji produkcji energii, poprawie niezawodności systemu i dywersyfikacji ryzyka inwestycyjnego. Integracja hybrydowa umożliwia także bardziej elastyczne reagowanie na zmienność warunków atmosferycznych, co przekłada się na stabilność

²⁶⁹ J. Emblemssvåg, *Rethinking the “Levelized Cost of Energy”: A critical review and evaluation of the concept*, „Energy Research & Social Science” t. 119 (2025), DOI: 10.1016/j.erss.2024.103897,

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214629624004882>.

²⁷⁰ M. Lenzen, *Current State of Development of Electricity-Generating Technologies: A Literature Review*, „Energies” t. 3 nr 3 (2010), DOI: 10.3390/en3030462, <https://www.mdpi.com/1996-1073/3/3/462>; M.F. Orhan, I. Dincer, M.A. Rosen, *Investigation of an integrated hydrogen production system based on nuclear and renewable energy sources: a new approach for sustainable hydrogen production via copper-chlorine thermochemical cycles*, „International Journal of Energy Research” t. 36 nr 15 (2012), DOI: 10.1002/er.1926, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/er.1926>.

²⁷¹ H.-Y. Kang i in., *An Integrated Multi-Criteria Decision Making Model for Evaluating Wind Farm Performance*, „Energies” t. 4 nr 11 (2011), DOI: 10.3390/en4112002, <https://www.mdpi.com/1996-1073/4/11/2002>.

dostaw energii i ograniczenie kosztów społecznych wynikających z niestabilności systemowej²⁷².

Czynniki rynkowe i finansowe mają istotny wpływ na kształtowanie kosztów społecznych odnawialnych źródeł energii. Udoskonalenie polityki publicznej, rozwój mechanizmów finansowych oraz zwiększenie zaangażowania społecznego stanowią warunki niezbędne do redukcji tych kosztów i wzmocnienia trwałości transformacji energetycznej. Koordynacja działań pomiędzy kluczowymi interesariuszami – administracją publiczną, sektorem finansowym, inwestorami oraz społecznościami lokalnymi – wydaje się niezbędna dla zwiększenia spójności pomiędzy celami ekonomicznymi, społecznymi i środowiskowymi transformacji energetycznej. Takie podejście nie tworzy jednego modelu zarządzania, lecz wskazuje kierunek dalszej integracji polityk i instrumentów w ramach zrównoważonego rozwoju.

2.5. ODDZIAŁYWANIE PRZEDSIĘBIORSTW SEKTORA OZE NA GOSPODARKĘ LOKALNĄ I REGIONALNĄ

Analiza czynników rynkowych i finansowych wykazała, że skuteczność transformacji energetycznej w dużym stopniu zależy od jakości instytucji, mechanizmów finansowania oraz stabilności polityki publicznej. W praktyce jednak proces ten nie przebiega w sposób jednorodny w różnych częściach Europy, gdyż jego efekty ekonomiczne i społeczne są silnie uwarunkowane lokalnie. Dlatego zasadnym jest przedstawienie, w jaki sposób rozwój odnawialnych źródeł energii oddziałuje na gospodarkę regionalną, zarówno poprzez tworzenie miejsc pracy i wzrost wartości dodanej, jak i poprzez kształtowanie nowych relacji społeczno-instytucjonalnych.

Sektor odnawialnych źródeł energii wywiera wielowymiarowy wpływ na gospodarkę lokalną i regionalną, generując zarówno pozytywne, jak i negatywne skutki. Wraz z postępującą transformacją energetyczną i coraz szerszym upowszechnieniem odnawialnych źródeł energii, zrozumienie tych oddziaływań staje się kluczowe dla decydentów, inwestorów i społeczności lokalnych. Literatura przedmiotu podkreśla, że wpływ OZE na rozwój gospodarczy regionów zależy od uwarunkowań społecznych, ekonomicznych oraz instytucjonalnych, a jego efekty nie są jednorodne przestrzennie ani sektorowo. Jednym z najczęściej analizowanych pozytywnych skutków rozwoju sektora OZE jest tworzenie miejsc pracy. Inwestycje w energetykę wiatrową, słoneczną i biogazową generują zapotrzebowanie na pracowników w sektorze budowlanym, instalacyjnym, serwisowym i logistycznym, często przewyższając poziom zatrudnienia w sektorach opartych na paliwach kopalnych (Moore). Badania Armeanu i in. oraz Lee i in. wskazują, że rozwój odnawialnych źródeł energii wspiera lokalne gospodarki poprzez tworzenie stabilnych miejsc pracy i stymulowanie popytu na dobra i usługi lokalne. Zatrudnienie w sektorze OZE jest również postrzegane jako bardziej odporne na cykle

²⁷² Z.W. Al-Shammari i in., *Optimal sizing of hybrid system through particle swarm optimization for rural areas in Iraq*, „Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science” t. 28 nr 2 (2022), DOI: 10.11591/ijeecs.v28.i2.pp636-643, <https://ijeecs.iaescore.com/index.php/IJEECS/article/view/28203>.

koniunkturalne i wahania rynkowe, co zwiększa bezpieczeństwo ekonomiczne społeczności lokalnych²⁷³.

Kolejnym korzystnym efektem jest dywersyfikacja gospodarcza, szczególnie istotna w regionach tradycyjnie opartych na wydobywaniu paliw kopalnych. Wprowadzanie projektów OZE w takich obszarach pozwala zmniejszyć zależność od wahań cen surowców energetycznych i tym samym ograniczyć ryzyko ekonomiczne. Proces ten sprzyja rozwojowi nowych sektorów gospodarki oraz umożliwia lepsze wykorzystanie lokalnych zasobów naturalnych, zwiększając odporność ekonomiczną regionów na kryzysy energetyczne i finansowe. W literaturze wskazuje się również na znaczący wpływ OZE na wzrost dochodów lokalnych. Projekty energetyczne generują nowe wpływy podatkowe dla samorządów, zwłaszcza z tytułu podatków od nieruchomości i działalności gospodarczej, które mogą być reinwestowane w rozwój infrastruktury, usług publicznych czy programów społecznych²⁷⁴. Callaghan i Williams oraz Zapata zwracają uwagę, że model własności społecznej, w którym mieszkańcy lub samorząd posiadają udziały w projektach OZE, pozwala zatrzymać większą część korzyści ekonomicznych w obrębie regionu, wzmacniając lokalny kapitał finansowy i społeczny²⁷⁵.

Transformacja energetyczna wiąże się ponadto z poprawą bezpieczeństwa energetycznego oraz zwiększeniem niezależności regionów. Produkcja energii z lokalnych źródeł odnawialnych ogranicza zależność od zewnętrznych dostawców paliw kopalnych, co jest szczególnie istotne na obszarach peryferyjnych i wiejskich, narażonych na niestabilność rynków energii²⁷⁶. Zwiększona samowystarczalność energetyczna sprzyja stabilności gospodarczej, umożliwia przyciąganie nowych inwestycji i poprawia jakość życia mieszkańców²⁷⁷.

²⁷³ D. Armeanu, G. Vintilă, Ș. Gherghina, *Does Renewable Energy Drive Sustainable Economic Growth? Multivariate Panel Data Evidence for EU-28 Countries*, „Energies” t. 10 nr 3 (2017), DOI: 10.3390/en10030381, <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/3/381>; J. Lee i in., *Economic feasibility of campus-wide photovoltaic systems in New England*, „Renewable Energy” t. 99 (2016), DOI: 10.1016/j.renene.2016.07.009, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S096014811630605X>; C. Moore, *Renewable Energy Adoption and Its Effect on Rural Development in United States...*

²⁷⁴ M. Munday, G. Bristow, R. Cowell, *Wind farms in rural areas: How far do community benefits from wind farms represent a local economic development opportunity?*, „Journal of Rural Studies” t. 27 nr 1 (2011), DOI: 10.1016/j.jrurstud.2010.08.003, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0743016710000549>.

²⁷⁵ G. Callaghan, D. Williams, *Teddy bears and tigers: How renewable energy can revitalise local communities*, „Local Economy: The Journal of the Local Economy Policy Unit” t. 29 nr 6–7 (2014), DOI: 10.1177/0269094214551254, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0269094214551254>; O. Zapata, *Renewable Energy and Community Development*, 22 listopada 2022 r., <https://osf.io/tk59y>.

²⁷⁶ A. Uzorka, A. Olatide Olaniyan, V.F. Olubusayo, *Engaging Communities In Renewable Energy Projects For Sustainable Development*, „Journal of Applied Science, Information and Computing” t. 4 nr 2 (2024), DOI: 10.59568/JASIC-2023-4-2-06, https://jasic.kiu.ac.ug/assets/articles/1707746479_engaging-communities-in-renewable-energy-projects-for-sustainable-development.pdf.

²⁷⁷ R. Nepal, *Roles and potentials of renewable energy in less-developed economies: The case of Nepal*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” t. 16 nr 4 (2012), DOI:

Obok korzyści gospodarczych rozwój sektora OZE generuje również określone wyzwania ekonomiczne i społeczne. Jednym z nich są wysokie koszty początkowe inwestycji w infrastrukturę odnawialnych źródeł energii. Dla wielu regionów, zwłaszcza o ograniczonych zasobach finansowych, stanowią one istotną barierę wejścia, która może wymagać zewnętrznego finansowania i generować ryzyko zadłużenia²⁷⁸. W rezultacie korzyści płynące z inwestycji mogą być przesunięte w czasie, a lokalne społeczności – szczególnie w regionach o niskich dochodach – mogą odczuwać krótkoterminowe napięcia budżetowe.

Kolejnym problemem jest konkurencja o zasoby przestrzenne. Projekty wiatrowe i fotowoltaiczne często zajmują duże powierzchnie gruntów, co w obszarach rolniczych może prowadzić do konfliktów z sektorem rolnym i wywoływać obawy o degradację krajobrazu²⁷⁹. W niektórych przypadkach pojawiają się również negatywne skutki środowiskowe, takie jak zakłócenia ekosystemów, hałas czy zanieczyszczenie wizualne, które mogą wpływać na komfort życia mieszkańców²⁸⁰.

Transformacja energetyczna prowadzi także do przemieszczeń zatrudnienia między sektorami. Wraz z odchodzeniem od paliw kopalnych maleje liczba miejsc pracy w tradycyjnej energetyce i górnictwie, co szczególnie dotyczy regiony monokulturowe, oparte na przemyśle wydobywczym²⁸¹. Przekwalifikowanie pracowników i tworzenie nowych kompetencji w sektorze OZE wymaga długofalowych programów wsparcia, które nie zawsze są adekwatne do tempa zmian na rynku pracy.

Struktura miksu energetycznego oraz poziom rozwoju technologicznego mogą wpływać na wzrost kosztów operacyjnych i cen energii w systemach opartych na OZE, co w efekcie obciąża odbiorców. Transformacja energetyczna, mimo swoich korzyści środowiskowych, niesie wyzwania ekonomiczne, zwłaszcza tam, gdzie rozwój odnawialnych źródeł nie jest wspierany modernizacją infrastruktury ani skuteczną polityką regulacyjną. W takich warunkach może dojść do nasilenia ubóstwa energetycznego, co ogranicza potencjalne korzyści społeczne i ekologiczne tej transformacji²⁸².

10.1016/j.rser.2012.01.047,

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032112000482>.

²⁷⁸ R.D. Stefanelli i in., *Renewable energy and energy autonomy: how Indigenous peoples in Canada are shaping an energy future*, „Environmental Reviews” t. 27 nr 1 (2019), DOI: 10.1139/er-2018-0024, <https://cdns.cdnsciencepub.com/doi/10.1139/er-2018-0024>.

²⁷⁹ M.R. McClung, M.D. Moran, *Minimizing Impacts of Future Renewable Energy Development on the World's Desert Ecosystems*, „Frontiers in Sustainability” t. 3 (2022), DOI: 10.3389/frsus.2022.900468, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frsus.2022.900468/full>.

²⁸⁰ Z. Su, J. Huang, L. Wu, *Economic Study of Wind and Solar Power Generation with Energy Storage Configuration*, „Highlights in Science, Engineering and Technology” t. 112 (2024), DOI: 10.54097/jh34fy18, <https://drpress.org/ojs/index.php/HSET/article/view/24976>.

²⁸¹ R.D. Stefanelli i in., *Renewable energy and energy autonomy: how Indigenous peoples in Canada are shaping an energy future...*

²⁸² E. Vasileva i in., *RES support in Russia: Impact on capacity and electricity market prices*, „Renewable Energy” t. 76 (2015), DOI: 10.1016/j.renene.2014.11.003, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148114007174>.

Ostatnim z kluczowych wyzwań jest zmienność rynku energii w okresie przejściowym. Choć w dłuższej perspektywie rozwój OZE może przyczynić się do obniżenia cen energii, w krótkim okresie zmiany technologiczne i niestabilność produkcji wiatrowej lub słonecznej mogą powodować wahania cen oraz utrudniać bilansowanie systemu elektroenergetycznego²⁸³. Zjawiska te wymagają wprowadzenia skutecznych mechanizmów zarządzania popytem i rozwoju infrastruktury magazynowania energii, aby utrzymać stabilność dostaw i przewidywalność kosztów dla odbiorców.

Z przeglądu literatury wynika, że sektor odnawialnych źródeł energii ma wieloaspektowy wpływ na gospodarki lokalne i regionalne. Z jednej strony tworzy on warunki dla rozwoju gospodarczego, zwiększenia zatrudnienia i wzrostu bezpieczeństwa energetycznego, z drugiej jednak generuje koszty związane z inwestycjami początkowymi, użytkowaniem gruntów, przekształceniami na rynku pracy i niestabilnością systemu energetycznego. Dla decydentów politycznych kluczowym wyzwaniem pozostaje znalezienie równowagi między maksymalizacją korzyści ekonomicznych a minimalizacją negatywnych skutków społecznych i środowiskowych. Zapewnienie tej równowagi stanowi podstawowy warunek trwałego i zrównoważonego rozwoju społeczności lokalnych w procesie transformacji energetycznej.

Na tle analiz literaturowych dotyczących oddziaływania odnawialnych źródeł energii na gospodarki lokalne i regionalne szczególnie istotne znaczenie ma raport *Spoleczno-ekonomiczne skutki odnawialnych źródeł energii w regionach Unii Europejskiej* (*The socio-economic impacts of renewable energy in EU region*) opracowany przez Instytut Europejskiej Polityki Ochrony Środowiska (Institut for European Environmental Policy - IEEP, 2021). Publikacja ta stanowi pogłębione opracowanie empiryczne, w którym zweryfikowano wnioski formułowane w literaturze poprzez analizę pięciu europejskich studiów przypadków. Raport umożliwił ocenę faktycznych skutków rozwoju sektora OZE na poziomie regionalnym, wskazując zarówno czynniki sprzyjające lokalnym - korzyściom ekonomicznym, jak i bariery ograniczające potencjał rozwojowy. Wyniki raportu stanowiły ważne źródło wiedzy o społeczno-gospodarczym wymiarze transformacji energetycznej, dostarczając jednocześnie istotnych przesłanek do dalszej analizy kosztów społecznych tego procesu w kontekście krajowym i regionalnym²⁸⁴.

Z analizy raportu wynika, że sektor odnawialnych źródeł energii wywiera istotny, choć zróżnicowany wpływ na rozwój społeczno-gospodarczy regionów Unii Europejskiej. Opracowanie to stanowi jedno z najbardziej kompleksowych ujęć

²⁸³ A. Razmjoo i in., *Techno-economic evaluation of standalone hybrid solar-wind systems for small residential districts in the central desert of Iran*, „Environmental Progress & Sustainable Energy” t. 36 nr 4 (2017), DOI: 10.1002/ep.12554, <https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ep.12554>; A. Uzorka, A. Olatide Olaniyan, V.F. Olubusayo, *Engaging Communities In Renewable Energy Projects For Sustainable Development...*

²⁸⁴ Institut for European Environmental Policy, *The socio-economic impacts of renewable energy in EU regions*, (2021), <https://www.ecologic.eu/sites/default/files/project/2021/TheSocio-EconomicImpactsOfRESinEURegions.pdf>.

tematu w skali europejskiej – obejmuje analizę 38 publikacji naukowych oraz pięciu szczegółowych studiów przypadków przeprowadzonych w regionach Hiszpanii, Niemiec, Danii, Włoch i Czech. Celem raportu było ustalenie, w jaki sposób rozwój OZE wpływa na wzrost gospodarczy, zatrudnienie, strukturę przemysłową i lokalne społeczności, a także jakie czynniki warunkują skalę i kierunek tych efektów.

Wyniki analizy wskazały jednoznacznie, że w niemal wszystkich badanych regionach rozwój sektora OZE przyczynia się do wzrostu produktu krajowego brutto oraz wartości dodanej brutto. Autorzy raportu podkreślili, że skala wpływu różni się w zależności od poziomu rozwoju gospodarczego i struktury przemysłowej danego regionu. Udział zatrudnienia w sektorze OZE waha się zazwyczaj pomiędzy 1 a 2% ogólnej liczby pracujących, jednak w regionach o silnie rozwiniętym zapleczu technologicznym, jak Jutlandia w Danii, wskaźnik ten sięga nawet 14%. Wzrost aktywności gospodarczej wynika nie tylko z realizacji inwestycji w energetykę odnawialną, lecz także z efektów pośrednich i indukowanych – takich jak rozwój usług towarzyszących, infrastruktury oraz lokalnych łańcuchów dostaw. Największe korzyści ekonomiczne obserwowane są w regionach, które posiadają rozbudowany system produkcji komponentów i zaplecze przemysłowe wspierające sektor OZE.

Z raportu IEEP wynikało również, że struktura gospodarcza regionu jest jednym z kluczowych czynników determinujących poziom korzyści ekonomicznych z rozwoju energetyki odnawialnej. Regiony dysponujące silnym zapleczem przemysłowym, wysokim poziomem kompetencji technicznych i inżynierskich oraz rozwiniętą bazą badawczo-rozwojową osiągają wyższe efekty mnożnikowe związane z lokalną produkcją, montażem i serwisowaniem instalacji OZE. Odmienne sytuacja wygląda w regionach peryferyjnych i rolniczych, które – mimo często znacznego potencjału zasobów odnawialnych – napotykać ograniczenia wynikające z braku kapitału, słabszych struktur instytucjonalnych i deficytów kadrowych. W takich przypadkach, jak wskazano w raporcie, konieczne jest wsparcie inwestycji w rozwój kompetencji technicznych i instytucjonalnych, aby umożliwić lokalnym społecznościom pełne wykorzystanie potencjału transformacji energetycznej.

Istotnym czynnikiem kształtującym zakres korzyści ekonomicznych i społecznych jest struktura własności źródeł energii. Z raportu wynika, że w regionach, gdzie inwestycje w OZE są w większym stopniu kontrolowane przez lokalne społeczności – na przykład poprzez spółdzielnie energetyczne lub partnerstwa publiczno-prywatne – korzyści finansowe pozostające w regionie są znacząco wyższe. W niektórych przypadkach wartość ekonomiczna utrzymana lokalnie jest nawet dwukrotnie większa w porównaniu z projektami finansowanymi wyłącznie przez zewnętrznych inwestorów. Mechanizmy lokalnej własności i współzarządzania zwiększają także poziom akceptacji społecznej dla inwestycji, co ogranicza potencjalne konflikty przestrzenne i redukuje ryzyko opóźnień projektowych. Brak lokalnego udziału w strukturze kapitałowej prowadzi natomiast do tzw. „wypływu wartości dodanej” poza region, co osłabia długofalowe efekty rozwojowe transformacji.

W Raporcie IEEP zidentyfikowano pięć obszarów polityk publicznych, które w największym stopniu determinują skalę i trwałość efektów społeczno-gospodarczych związanych z rozwojem odnawialnych źródeł energii:

- Polityka rynku pracy – obejmuje działania na rzecz przekwalifikowania pracowników odchodzących z sektorów wysokoemisyjnych, zwłaszcza górnictwa i energetyki konwencjonalnej. Pozwala to ograniczyć negatywne koszty społeczne transformacji oraz ułatwia absorpcję nowych miejsc pracy w sektorze OZE.
- Aktywna polityka przemysłowa – wspierająca lokalnych producentów, dostawców i usługodawców w łańcuchu wartości sektora odnawialnego. Umożliwia to tworzenie regionalnych klastrów energetycznych i wzmacnia samowystarczalność gospodarczą regionów.
- Własność i podział korzyści – promowanie lokalnych form własności i modeli spółdzielczych, które zwiększają udział społeczności w zyskach z produkcji energii odnawialnej.
- Zarządzanie regionalne – usprawnienie procedur administracyjnych, transparentność procesów decyzyjnych i włączanie społeczności w planowanie inwestycji, co redukuje konflikty i przyspiesza realizację projektów.
- Mechanizmy finansowania – projektowanie systemów wsparcia tak, aby nie miały one charakteru regresywnego (czyli nie obciążały w większym stopniu gospodarstw o niższych dochodach), oraz zapewnienie wykorzystania środków unijnych do finansowania lokalnych inwestycji w OZE.

Zestawienie tych polityk pokazuje, że skuteczność transformacji energetycznej w wymiarze lokalnym zależy nie tylko od warunków zasobowych, ale również od jakości zarządzania i stopnia włączenia społecznego. W Raport IEEP przedstawiono również szczegółowe studia przypadków, które ilustrują zróżnicowanie efektów społeczno-gospodarczych OZE w zależności od uwarunkowań krajowych i regionalnych:

- Region Apulii (Włochy) charakteryzuje się dużym potencjałem słonecznym i wysokim udziałem energii fotowoltaicznej, jednak efekty gospodarcze ograniczane są przez bariery administracyjne i niedostateczną koordynację między szczeblem centralnym a lokalnym.
- Kastylia i León (Hiszpania) to przykład skutecznej restrukturyzacji gospodarczej, w której energetyka wiatrowa stała się narzędziem łagodzenia skutków upadku przemysłu węglowego. Region odnotował wzrost zatrudnienia oraz poprawę bilansu handlowego dzięki eksportowi energii.
- Meklemburgia-Pomorze Przednie (Niemcy) osiągnęła wyjątkowo wysoki poziom integracji OZE z gospodarką regionalną – udział sektora w PKB regionu szacowany jest na 7,5%. Kluczową rolę odegrało tu powiązanie energetyki wiatrowej z przemysłem stoczniowym, co wytworzyło efekt synergii między sektorami.
- Czechy Północno-Zachodnie ilustrują przypadek regionu o trudnym procesie transformacji. Z uwagi na wysoki udział górnictwa w strukturze zatrudnienia oraz słabe zdolności adaptacyjne rynku pracy, korzyści z rozwoju OZE są ograniczone. Raport wskazuje na potrzebę wzmocnienia instrumentów wsparcia z funduszy unijnych, w szczególności w ramach mechanizmów sprawiedliwej transformacji.

Sektor OZE ma potencjał do generowania znaczących korzyści gospodarczych i społecznych w skali regionalnej, jednak ich rzeczywisty zakres zależy od struktury gospodarki, jakości instytucji, dostępności kapitału oraz stopnia zaangażowania lokalnych społeczności. Najbardziej korzystne rezultaty osiągają regiony, w których rozwój energetyki odnawialnej został powiązany z lokalnym przemysłem, rynkiem pracy i aktywnym udziałem społeczności. Wyniki raportu wskazują, że właściwie zaprojektowana polityka publiczna może nie tylko zwiększać efektywność ekonomiczną sektora OZE, ale także redukować społeczne koszty transformacji energetycznej, przyczyniając się do budowy trwałego i zrównoważonego rozwoju regionalnego w Unii Europejskiej²⁸⁵.

2.6. MAGAZYNOWANIE ENERGII JAKO WARUNEK ZARZĄDZANIA SPOŁECZNYMI KOSZTAMI TRANSFORMACJI ENERGETYCZNEJ

Rozwój technologii magazynowania energii stanowi jeden z kluczowych elementów współczesnej transformacji energetycznej poprzez równoważenie zmienności i niestabilności produkcji energii z wiatru oraz promieniowania słonecznego. Magazynowanie umożliwia integrację niestabilnych źródeł odnawialnych, zwiększa elastyczność systemów elektroenergetycznych i przyczynia się do ograniczenia kosztów wynikających z przerw w dostawach prądu oraz wahań cen energii. Równocześnie jednak generuje znaczące nakłady kapitałowe i koszty środowiskowe, które stają się istotnym składnikiem całkowitych kosztów społecznych transformacji. W literaturze przedmiotu podkreśla się, że technologie magazynowania energii kształtują zarówno bilans ekonomiczny systemów odnawialnych, jak i społeczne konsekwencje ich wdrażania, łącząc aspekty techniczne, środowiskowe i finansowe²⁸⁶.

W literaturze wyróżnia się kilka podstawowych klas technologii magazynowania energii, różniących się skalą zastosowania, czasem przechowywania i oddziaływaniem społecznym. Należą do nich technologie elektrochemiczne, mechaniczne, hydrauliczno-sprężone, chemiczne, termiczne oraz systemy hybrydowe (HESS), łączące różne rozwiązania w celu zwiększenia efektywności i niezawodności całego systemu²⁸⁷. Ich znaczenie dla kosztów społecznych wynika nie tylko

²⁸⁵ Ibid.

²⁸⁶ M.R. Chakraborty i in., *A Comparative Review on Energy Storage Systems and Their Application in Deregulated Systems*, „Batteries” t. 8 nr 9 (2022), DOI: 10.3390/batteries8090124, <https://www.mdpi.com/2313-0105/8/9/124>; W. Qing Ran, *Research on Energy Storage Development Adapting to Large-scale Access to renewable Energy*, „Journal of Physics: Conference Series” t. 1871 nr 1 (2021), DOI: 10.1088/1742-6596/1871/1/012039, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1871/1/012039>; H. Zhao, *Research on Design Parameters of Pumped Storage Power Station Based on Different Geographical Locations*, „Highlights in Science, Engineering and Technology” t. 80 (2023), DOI: 10.54097/43y5zy43, <https://drpress.org/ojs/index.php/HSET/article/view/17491>.

²⁸⁷ Damola Habeeb Adebayo i in., *Optimizing energy storage for electric grids: Advances in hybrid technologies*, „World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences” t.

z aspektów technicznych, lecz przede wszystkim z wpływu na stabilność dostaw, ceny energii, poziom emisji, zatrudnienie oraz dystrybucję korzyści i obciążeń w społeczeństwie.

Technologie elektrochemiczne, takie jak baterie litowo-jonowe i przepływowo, stanowią najbardziej rozwiniętą grupę rozwiązań wykorzystywanych w systemach OZE. Baterie litowo-jonowe oferują wysoką gęstość energii i szybki czas reakcji, dzięki czemu są szczególnie przydatne w regulacji częstotliwości i bilansowaniu krótkookresowym²⁸⁸. Z kolei baterie przepływowe (flow batteries) charakteryzują się możliwością skalowania pojemności i długotrwałego magazynowania, co pozwala ograniczać straty energii w okresach niskiego zapotrzebowania. Oba rozwiązania obniżają koszty społeczne związane z przerwami w dostawach i niestabilnością cen, jednak wymagają znacznych nakładów inwestycyjnych oraz generują koszty środowiskowe związane z wydobyciem i utylizacją surowców²⁸⁹. W coraz większym stopniu stosowane są także baterie z tzw. „drugiego życia” (second-life), pochodzące z pojazdów elektrycznych, które pozwalają obniżyć koszty kapitałowe i przedłużyć cykl życia zasobów, co zmniejsza całkowity koszt społeczny inwestycji²⁹⁰.

Magazynowanie mechaniczne, zwłaszcza z wykorzystaniem kół zamachowych (flywheels), pełni funkcję stabilizacyjną w krótkich okresach. Charakteryzuje się wysoką gęstością mocy i bardzo krótkim czasem reakcji, co umożliwia szybkie reagowanie na wahania produkcji z OZE²⁹¹. Technologia ta ogranicza społeczne koszty awarii i przerw w dostawach, jednak jej zastosowanie wymaga wysokich nakładów inwestycyjnych i utrzymaniowych. W połączeniu z bateriami w układach hybrydowych (HESS) flywheels zwiększają efektywność systemów bilansujących i zmniejszają zależność od konwencjonalnych źródeł szczytowych, co w długim okresie może ograniczać społeczne koszty emisji i zdrowotne²⁹².

Długotrwałe i wielkoskalowe technologie magazynowania, takie jak elektrownie szczytowo-pompowe (PHS), sprężone powietrze (CAES), wodór czy magazyny termiczne (np. z użyciem soli stopionych), umożliwiają akumulację energii w skali systemowej, wspierając stabilność i bezpieczeństwo sieci w okresach wielodniowej

14 nr 2 (2025), DOI: 10.30574/wjaets.2025.14.2.0053, <https://journalwjaets.com/node/312>; E. Schischke i in., *Overview of Energy Storage Technologies Besides Batteries* [w:] 2024.

²⁸⁸ Darlington Eze Ekechukwu, Peter Simpa, *A comprehensive review of innovative approaches in renewable energy storage*, „International Journal of Applied Research in Social Sciences” t. 6 nr 6 (2024), DOI: 10.51594/ijarss.v6i6.1176, <https://fepbl.com/index.php/ijarss/article/view/1176>.

²⁸⁹ T.I. Serrano-Arévalo i in., *Energy Storage: From Fundamental Principles to Industrial Applications*, „Processes” t. 13 nr 6 (2025), DOI: 10.3390/pr13061853, <https://www.mdpi.com/2227-9717/13/6/1853>.

²⁹⁰ M.E. Rojas i in., *Repurposing Coal-Fired Power Plants Integrating the Use of Second-Life Batteries, Flywheels, and High Temperature Molten Salt Storage* [w:] 2026.

²⁹¹ L.K. Vičmane, D. Blumberga, *Advancing Electricity Storage Technologies with a System Dynamics Approach*, „CONNECT. International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies” (2025), DOI: 10.7250/CONNECT.2025.021, <https://ect-journals.rtu.lv/connect/article/view/CONNECT.2025.021>.

²⁹² F. Wang, Y. Xue, *A Review of the Development of the Energy Storage Industry in China: Challenges and Opportunities*, „Energies” t. 18 nr 6 (2025), DOI: 10.3390/en18061512, <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/6/1512>.

zmienności produkcji. PHS i CAES są technologiami dojrzałymi, zdolnymi do znacznego ograniczenia ryzyka niedoborów energii, lecz wymagają specyficznych warunków geograficznych i dużych inwestycji infrastrukturalnych²⁹³. Magazynowanie w postaci wodoru oferuje długookresowy potencjał dla bilansowania sezonowego i sprzężenia sektorowego (power-to-gas), co może zmniejszać koszty społeczne wynikające z wahań podaży i popytu oraz ograniczać presję cenową w systemie. Z kolei magazynowanie termiczne, oparte na mediach takich jak sole stopione, umożliwia współpracę z istniejącymi instalacjami cieplnymi, poprawiając ich elastyczność operacyjną i efektywność energetyczną²⁹⁴.

Systemy hybrydowe magazynowania energii (HESS) łączą różne technologie – najczęściej baterie, flywheels, magazyny ciepłe i wodorowe – aby wykorzystać ich komplementarne właściwości. Integracja wielu mediów energetycznych pozwala na jednoczesne zapewnienie mocy w krótkich okresach i pojemności w dłuższych horyzontach czasowych²⁹⁵. Z punktu widzenia kosztów społecznych HESS oferują największy potencjał redukcijny: ograniczają ryzyko przerw w dostawach, stabilizują ceny energii, zmniejszają zapotrzebowanie na paliwa kopalne i mogą zwiększać lokalne zatrudnienie w sektorze usług i utrzymania infrastruktury. Jednak ich wdrożenie wiąże się z dużym stopniem złożoności technicznej i finansowej, a także z koniecznością wypracowania nowych modeli regulacyjnych i rynkowych²⁹⁶.

Zgodnie z danymi przedstawionymi w raporcie *International Renewable Energy Agency (IRENA) – Renewable Power Generation Costs in 2024*, w ostatniej dekadzie nastąpił dynamiczny rozwój sektora magazynowania energii. W latach 2010–2024 koszty realizacji projektów magazynowania energii w bateriach spadły aż o 93% — z poziomu 2 571 USD/kWh do około 192 USD/kWh. Tak znacząca redukcja kosztów była rezultatem postępu technologicznego w zakresie chemii ogniw, poprawy efektywności wykorzystania materiałów, zwiększenia skali produkcji oraz jej optymalizacji, a także rosnącej konkurencji rynkowej w sektorze magazynowania energii. Roczne przyrosty mocy zainstalowanej w chemicznych magazynach energii wzrosły z 0,1 GWh w 2010 roku do 169 GWh w 2024 roku, przy czym niemal połowę tej wartości stanowiły instalacje w Chinach (84 GWh), a kolejną jedną czwartą – projekty realizowane w Stanach Zjednoczonych (41 GWh). Głównym zastosowaniem systemów magazynowania energii pozostaje tzw. *energy shifting*, czyli przesuwanie w czasie produkcji energii elektrycznej w celu bilansowania systemu elektroenergetycznego, które odpowiadało w 2024 roku za 68% nowo dodanej pojemności. W ostatnich latach gwałtownie rośnie również liczba projektów hybrydowych łączących odnawialne źródła energii z systemami BESS (baterijne magazynowanie energii), co zwiększa elastyczność sieci i efektywność wykorzystania mocy wytwórczych. Jednocześnie raport podkreśla, że choć wyższy udział magazynów energii w projektach wiatrowo-słonecznych sprzyja poprawie

²⁹³ E. Schischke i in., *Overview of Energy Storage Technologies Besides Batteries...*

²⁹⁴ M.E. Rojas i in., *Repurposing Coal-Fired Power Plants Integrating the Use of Second-Life Batteries, Flywheels, and High Temperature Molten Salt Storage...*

²⁹⁵ Damola Habeeb Adebayo i in., *Optimizing energy storage for electric grids: Advances in hybrid technologies...*

²⁹⁶ L.K. Vičmane, D. Blumberga, *Advancing Electricity Storage Technologies with a System Dynamics Approach...*

wskaźników wykorzystania mocy, wymaga to zrównoważenia korzyści z dodatkowymi nakładami inwestycyjnymi²⁹⁷.

Technologie magazynowania energii różnią się nie tylko parametrami technicznymi, lecz także wpływem na koszty społeczne transformacji energetycznej. Krótkotrwałe systemy o dużej mocy redukują koszty związane z awaryjnością i niestabilnością systemu, podczas gdy magazyny długotrwałe minimalizują ryzyko niedoborów i zmniejszają zależność od paliw kopalnych, redukując długoterminowe koszty środowiskowe i zdrowotne. Systemy hybrydowe umożliwiają łączenie tych korzyści, ale wymagają odpowiedniego wsparcia politycznego i regulacyjnego, aby zapewnić sprawiedliwą dystrybucję kosztów i korzyści. Z perspektywy zarządzania kosztami społecznymi magazynowanie energii stanowi zatem kluczowy czynnik równoważący między efektywnością technologiczną, stabilnością ekonomiczną i akceptacją społeczną w procesie transformacji energetycznej.

Zróżnicowanie technologii magazynowania energii przekłada się nie tylko na ich parametry techniczne i ekonomiczne, lecz przede wszystkim na sposób, w jaki wpływają one na strukturę kosztów społecznych transformacji energetycznej. Poszczególne rozwiązania różnią się zakresem oddziaływania na niezawodność systemu, stabilność cen energii, środowisko naturalne, lokalne rynki pracy oraz dostępność energii dla różnych grup społecznych. W praktyce oznacza to, że wybór określonego rodzaju technologii – a także skala i sposób jej wdrożenia – decydują o tym, w jakim stopniu magazynowanie energii staje się czynnikiem ograniczającym, czy też potęgującym, całkowite koszty społeczne transformacji. Oddziałuje ono na społeczeństwo poprzez szereg kanałów – od stabilności dostaw i cen energii, przez zdrowie publiczne i ochronę środowiska, po zatrudnienie i równość społeczną. Równocześnie jednak wymaga wysokich nakładów inwestycyjnych, generuje koszty eksploatacyjne i środowiskowe, a sposób ich rozłożenia między konsumentów, przedsiębiorstwa i sektor publiczny w dużej mierze zależy od projektów rynkowych i instrumentów polityki energetycznej²⁹⁸.

Najbardziej bezpośrednim kanałem wpływu magazynowania energii na koszty społeczne jest poprawa niezawodności i odporności systemu elektroenergetycznego. Magazyny energii pozwalają na stabilizację podaży w warunkach wysokiego udziału niestabilnych źródeł odnawialnych, redukując ryzyko przerw w dostawach i związane z nimi straty ekonomiczne gospodarstw domowych oraz przedsiębiorstw. Badania wskazują, że nawet krótkotrwałe przerwy w dostawie energii generują znaczące koszty społeczne, obejmujące utracone przychody, zakłócenia w funkcjonowaniu usług publicznych oraz pogorszenie jakości życia. Integracja magazynów z mikrosieciami i rozproszonymi źródłami energii (DER) pozwala znacząco obniżyć te koszty, zwiększając lokalną odporność systemów energetycznych. Tym samym inwestycje w magazynowanie mogą być postrzegane

²⁹⁷ International Renewable Energy Agency (IRENA), *Renewable power generation costs in 2024...*

²⁹⁸ L.K. Vičmane, D. Blumberga, *Advancing Electricity Storage Technologies with a System Dynamics Approach...*

jako forma „ubezpieczenia społecznego” przed skutkami awarii i niestabilnością systemu²⁹⁹.

Magazynowanie energii ma także istotny wpływ na poziom i stabilność cen energii elektrycznej, a tym samym na ich dostępność dla gospodarstw domowych i przedsiębiorstw. Poprzez redukcję potrzeby uruchamiania kosztownych źródeł szczytowych oraz łagodzenie wahań podaży i popytu, magazyny przyczyniają się do stabilizacji cen detalicznych energii³⁰⁰. W dłuższej perspektywie może to prowadzić do ograniczenia obciążeń dla odbiorców końcowych, choć efekt netto zależy od poziomu kosztów kapitałowych i sposobu finansowania inwestycji. Jeśli bowiem nakłady inwestycyjne są w dużej mierze przenoszone na odbiorców lub podatników, krótkoterminowe koszty społeczne mogą wzrosnąć. Z tego względu właściwie zaprojektowane mechanizmy subsydiów, taryf i zachęt inwestycyjnych mają kluczowe znaczenie dla zapewnienia równowagi między przystępnością cen a długoterminowymi korzyściami systemowymi³⁰¹.

Rozwój magazynowania energii wpływa również na społeczne koszty zewnętrzne związane ze zdrowiem i środowiskiem. Poprzez umożliwienie większego udziału energii ze źródeł odnawialnych w miksie energetycznym, magazyny przyczyniają się do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń powietrza, co zmniejsza koszty zdrowotne wynikające z chorób układu oddechowego czy sercowo-naczyniowego³⁰². W tym sensie magazynowanie energii stanowi narzędzie poprawy dobrostanu społecznego poprzez redukcję negatywnych efektów zewnętrznych tradycyjnej energetyki opartej na paliwach kopalnych. Jednocześnie jednak należy uwzględniać koszty środowiskowe związane z cyklem życia technologii magazynowania, w szczególności pozyskiwanie i utylizację materiałów stosowanych w bateriach litowo-jonowych czy przepływowowych. W tym kontekście coraz większe znaczenie zyskują inicjatywy dotyczące recyklingu, ponownego wykorzystania komponentów („second-life batteries”) oraz rozwój magazynów o mniejszym śladzie środowiskowym.

²⁹⁹ Chijioke Paul Agupugo i in., *Policy and regulatory framework supporting renewable energy microgrids and energy storage systems*, „Engineering Science & Technology Journal” t. 5 nr 8 (2024), DOI: 10.51594/estj.v5i8.1460, <https://fepbl.com/index.php/estj/article/view/1460>.

³⁰⁰ W. Zhao, R. Li, S. Zhu, *Subsidy Policies and Economic Analysis of Photovoltaic Energy Storage Integration in China*, „Energies” t. 17 nr 10 (2024), DOI: 10.3390/en17102372, <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/10/2372>.

³⁰¹ Chijioke Paul Agupugo i in., *Policy and regulatory framework supporting renewable energy microgrids and energy storage systems...*

³⁰² Oluwadayomi Akinsooto, Olorunshogo Benjamin Ogundipe, Samuel Ikemba, *Strategic policy initiatives for optimizing hydrogen production and storage in sustainable energy systems*, „International Journal of Frontline Research and Reviews” t. 2 nr 2 (2024), DOI: 10.56355/ijfrr.2024.2.2.0022, <https://frontlinejournals.com/ijfrr/node/104>; X. Pan i in., *Development Status and Future Prospects of Hydrogen Energy Technology: Production, Storage, and Cost Analysis*, „Advanced Energy and Sustainability Research” t. 6 nr 10 (2025), DOI: 10.1002/aesr.202400451, <https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/aesr.202400451>.

Wpływ magazynowania energii na koszty społeczne ma również wymiar dystrybucyjny. Wdrażanie nowych technologii często przynosi nierównomierne korzyści – regiony i gospodarstwa o wyższych dochodach częściej korzystają z programów wsparcia, podczas gdy społeczności o niższych dochodach lub z terenów peryferyjnych mogą doświadczać większego obciążenia kosztami inwestycji³⁰³. W literaturze podkreśla się, że polityki subsydiowania i finansowania transformacji energetycznej muszą być projektowane w sposób zapewniający sprawiedliwy podział korzyści i kosztów, tak aby rozwój magazynowania energii nie pogłębiał zjawiska ubóstwa energetycznego³⁰⁴. Równie istotne są aspekty etyczne i przestrzenne – lokalizacja instalacji magazynowych może wpływać na krajobraz, dostępność gruntów i jakość życia, co wymaga konsultacji społecznych i transparentnych procesów decyzyjnych.

Magazynowanie energii tworzy także nowe możliwości zatrudnienia w sektorze produkcji, instalacji, eksploatacji i serwisowania infrastruktury energetycznej. Rozwój tych technologii sprzyja lokalnym gospodarkom, generując miejsca pracy o zróżnicowanym poziomie kwalifikacji³⁰⁵. Efekty te mają charakter zarówno bezpośredni, jak i pośredni – oprócz miejsc pracy w samych instalacjach magazynowych powstają nowe możliwości w sektorze usług, logistyki i edukacji technicznej. W dłuższej perspektywie może to przyczyniać się do rozwoju kompetencji w obszarze zielonych technologii i zwiększać atrakcyjność inwestycyjną regionów uczestniczących w transformacji energetycznej.

Decydujące znaczenie dla społecznych kosztów i korzyści magazynowania energii mają mechanizmy regulacyjne oraz sposób zarządzania procesem inwestycyjnym. Z jednej strony polityka publiczna może łagodzić negatywne skutki poprzez subsydia, preferencyjne kredyty, zachęty podatkowe i wsparcie dla mniej rozwiniętych regionów³⁰⁶. Z drugiej strony błędnie zaprojektowane instrumenty mogą prowadzić do przenoszenia kosztów na odbiorców końcowych lub do nadmiernej

³⁰³ J.L. Arthur, A.N. Kodiah, S.D. Arthur, *Energy Storage and Renewable Integration in Ghana: Socio-Technical Drivers, Barriers, and Policy Implications for Sustainability*, 27 maja 2025 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-6422986/v1>.

³⁰⁴ J.G. Epis, *Ethical Dilemmas in Renewable Energy Transition in Siargao Island: Balancing Innovation, Justice, and Environmental Responsibility*, „Ethical Dilemmas in Renewable Energy Transition in Siargao Island: Balancing Innovation, Justice, and Environmental Responsibility” t. 1 nr 1 (2025), DOI: 10.69481/IJOMAITFFA1900EPIS, <http://ijomai.virtualrealia.org/ethical-dilemmas-in-renewable-energy-transition-in-siargao-island-balancing-innovation-justice-and-environmental-responsibility/>; L. Hancher, A. de Hauteclouque, *Strategic Autonomy, REPowerEU And The Internal Energy Market: Untying The Gordian Knot*, „Common Market Law Review” t. 61 nr Issue 1 (2024), DOI: 10.54648/COLA2024003, <https://kluwerlawonline.com/journalarticle/Common+Market+Law+Review/61.1/COLA2024003>.

³⁰⁵ S. Al-Oun, M.F. AlMaaitah, A.-M. Al-Azamat, *Sustainable Energy Transition in Jordan: The Interplay of Regulatory Frameworks and Infrastructure*, „Energies” t. 18 nr 5 (2025), DOI: 10.3390/en18051220, <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/5/1220>.

³⁰⁶ L.K. Vičmane, D. Blumberga, *Advancing Electricity Storage Technologies with a System Dynamics Approach...*; F. Wang, Y. Xue, *A Review of the Development of the Energy Storage Industry in China: Challenges and Opportunities...*

koncentracji korzyści wśród dużych inwestorów. Skuteczność polityki zależy więc od jej przejrzystości, partycypacyjnego charakteru i powiązania z celami społecznymi, takimi jak dostępność energii, jakość życia i ochrona środowiska. Magazynowanie energii oddziałuje na koszty społeczne transformacji poprzez wielowymiarową sieć zależności ekonomicznych, środowiskowych i instytucjonalnych. Może ono zarówno redukować, jak i potęgować koszty społeczne – w zależności od technologii, struktury finansowania i sposobu zarządzania. Kluczowe znaczenie ma zatem opracowanie spójnych strategii, które umożliwią maksymalizację korzyści społecznych przy jednoczesnej minimalizacji obciążeń ekonomicznych i środowiskowych.

Magazynowanie energii stanowi kluczowy element równoważący w procesie transformacji energetycznej, łącząc wymiar techniczny, ekonomiczny i społeczny. Z jednej strony umożliwia ono stabilne funkcjonowanie systemów opartych na odnawialnych źródłach energii, zmniejsza ryzyko przerw w dostawach, stabilizuje ceny i przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa energetycznego. Z drugiej – wymaga znacznych nakładów finansowych, tworzy nowe zależności regulacyjne i rodzi pytania o sprawiedliwą dystrybucję kosztów i korzyści pomiędzy różne grupy społeczne i regiony. Właściwie zaprojektowane mechanizmy zarządzania, polityki publicznej i finansowania mogą sprawić, że rozwój magazynowania energii stanie się nie tylko czynnikiem stabilizującym system energetyczny, lecz także źródłem trwałych korzyści społecznych.

Jednocześnie coraz wyraźniej widoczne jest, że korzyści społeczne płynące z rozwoju systemów magazynowania energii są nierozdzielnie związane z ich oddziaływaniem środowiskowym. Produkcja, eksploatacja i utylizacja komponentów – zwłaszcza w technologiach bateryjnych – generują emisje, zużycie surowców i odpady, które wpływają na bilans ekologiczny całego procesu transformacji energetycznej. Z tego względu analiza społecznych kosztów magazynowania energii nie może być pełna bez uwzględnienia kosztów środowiskowych, które stanowią integralny wymiar oceny zrównoważonego rozwoju sektora OZE. W kolejnym rozdziale przedstawiono więc syntetyczne ujęcie kosztów środowiskowych transformacji energetycznej, ukazujące ich wzajemne powiązania z kosztami społecznymi i ekonomicznymi oraz ich znaczenie dla kształtowania strategii zarządzania w sektorze odnawialnych źródeł energii.

3. ŚRODOWISKOWY OBSZAR ZARZĄDZANIA KOSZTAMI SPOŁECZNYMI W PRZEDSIĘBIORSTWACH OZE

3.1. BEZPIECZEŃSTWO ŚRODOWISKOWE W ZARZĄDZANIU PRZEDSIĘBIORSTWAMI SEKTORA OZE

Pojęcie bezpieczeństwa ma charakter wielowymiarowy i jest interpretowane w różnorodnych kontekstach, co odzwierciedla jego złożoną naturę. W ujęciu ogólnym bezpieczeństwo można definiować jako stan ochrony przed zagrożeniem, ryzykiem lub szkodą, zapewniający stabilność i pewność jednostkom, społecznościom oraz państwom. W literaturze funkcjonują różne podejścia

teoretyczne, które akcentują odmienne jego aspekty – od tradycyjnego bezpieczeństwa militarnego³⁰⁷, przez koncepcję bezpieczeństwa ludzkiego³⁰⁸, aż po bezpieczeństwo środowiskowe³⁰⁹.

Problemy środowiskowe stały się jednym z kluczowych wyzwań współczesnej polityki, czego przyczyną jest rosnąca skala konsumpcji i emisji zanieczyszczeń, szczególnie w społeczeństwach o wysokim poziomie zużycia energii. Zjawiska te prowadzą do powstawania licznych zagrożeń ekologicznych, obejmujących zarówno wymiar globalny – takich jak zmiany klimatu, zanieczyszczenie powietrza, utrata bioróżnorodności, deforestacja, degradacja gleb, niedobór wody pitnej czy skażenie oceanów i mórz – jak i problemy lokalne, wynikające z intensywnej działalności przemysłowej i urbanizacyjnej³¹⁰.

Współczesne ujęcie bezpieczeństwa środowiskowego coraz częściej wykracza poza reakcję na istniejące zagrożenia, obejmując działania prewencyjne, których celem jest ograniczanie ryzyka przyszłych kryzysów ekologicznych i klimatycznych³¹¹. Działania te przyjmują formę polityk i inicjatyw instytucjonalnych, wzmacniających odporność społeczeństw i infrastruktury wobec ekstremalnych zjawisk pogodowych, susz, powodzi czy migracji klimatycznych. Jak zauważa Butts, świadomość konsekwencji presji środowiskowej – w tym skutków zmian klimatu – stała się integralnym elementem współczesnej refleksji nad bezpieczeństwem narodowym³¹². Podobnie Loneragan wskazuje, że bezpieczeństwo człowieka obejmuje nie tylko ochronę przed zagrożeniami militarnymi, lecz również zapewnienie jednostkom i społecznościom możliwości przetrwania w obliczu degradacji środowiska³¹³. W tym sensie koncepcja bezpieczeństwa ekologicznego

³⁰⁷ E. Hirsch Ballin, H. Dijstelbloem, P. de Goede, *The Extension of the Concept of Security* [w:] 2020.

³⁰⁸ G.O. Adebayo, *Counter-radicalization policies and policing in education: making a case for human security in Europe*, „Heliyon” t. 7 nr 2 (2021), DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e05721, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844020325640>.

³⁰⁹ D. Grey i in., *Water security in one blue planet: twenty-first century policy challenges for science*, „Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences” t. 371 nr 2002 (2013), DOI: 10.1098/rsta.2012.0406, <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2012.0406>.

³¹⁰ Z. Szewczyk, *ECOLOGY SAFETY – SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ECONOMICAL ASPECT*, „Annals of the Polish Association of Agricultural and Agribusiness Economists” t. XIX nr 3 (2017), DOI: 10.5604/01.3001.0010.3266, <https://rnseria.com/gicid/01.3001.0010.3266>; H. Wyligala, *Bezpieczeństwo ekologiczne*, „Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Ignatianum w Krakowie” (2023), <https://open.icm.edu.pl/handle/123456789/23751>.

³¹¹ K. Zapolska, *Bezpieczeństwo ekologiczne jako element bezpieczeństwa narodowego RP* [w:] *Współczesne oblicza bezpieczeństwa*, red. nauk. Ewa M. Guzik-Makaruk, Emil W. Pływaczewski 2015.

³¹² K.H. Butts, *Environmental Security and Climate Change: A Link to Homeland Security*, „Journal of Homeland Security and Emergency Management” (2014), DOI: 10.1515/jhsem-2013-0098, <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/jhsem-2013-0098/html>.

³¹³ S. Loneragan, *Human Security, Environmental Security and Sustainable Development* [w:] *Environment and Security*, London 2000.

stanowi rozszerzenie tradycyjnego rozumienia bezpieczeństwa o wymiar społeczno-przyrodniczy, w którym podmiotem jest człowiek, a przedmiotem – środowisko naturalne³¹⁴.

Bezpieczeństwo środowiskowe można więc rozumieć jako stan równowagi ekologicznej, w którym zasoby przyrodnicze są chronione i wykorzystywane w sposób zapewniający dobrobyt obecnych i przyszłych pokoleń³¹⁵. Obejmuje ono zarówno przeciwdziałanie skutkom degradacji środowiska, katastrofom naturalnym czy zmianom klimatu, jak i rozwijanie świadomości ekologicznej oraz promowanie zrównoważonych wzorców produkcji i konsumpcji. W ujęciu obiektywnym, jak wskazali Chaudhry i współautorzy, bezpieczeństwo środowiskowe można postrzegać jako brak zagrożeń dla wartości przyrodniczych i społecznych, natomiast w wymiarze subiektywnym – jako poczucie pewności, że te wartości nie zostaną naruszone³¹⁶.

Związek między bezpieczeństwem środowiskowym a koncepcją zrównoważonego rozwoju ma charakter wzajemnego wzmocnienia. Inicjatywy mające na celu ochronę ekosystemów i ich usług stanowią podstawę trwałego rozwoju społeczno-gospodarczego³¹⁷. Jednocześnie realizacja strategii zrównoważonego rozwoju pozwala ograniczać konflikty o zasoby naturalne, wzmacniając stabilność społeczną oraz sprzyjając rozwojowi lokalnych gospodarek, zwłaszcza w obszarach zurbanizowanych³¹⁸. Tym samym bezpieczeństwo ekologiczne staje się nie tylko warunkiem utrzymania równowagi środowiskowej, lecz także istotnym elementem polityki gospodarczej i energetycznej. W kontekście transformacji energetycznej nabiera ono szczególnego znaczenia – rozwój odnawialnych źródeł energii, redukując presję środowiskową i emisje, przyczynia się do wzmacniania odporności ekologicznej oraz bezpieczeństwa społeczno-ekonomicznego w długiej perspektywie.

Jak wskazali Iqbal i in., bezpieczeństwo środowiskowe obejmuje nie tylko aspekty ekologiczne, ale również istotne konsekwencje gospodarcze

³¹⁴ M. Cisek, *Ecological (environmental) security and ecological (environmental) security culture*, „Kultura Bezpieczeństwa” t. 5 (2016), [%0Ahdl.handle.net/11331/2693](https://ahdl.handle.net/11331/2693); M. Leszczyński, *Bezpieczeństwo ekologiczne w poszerzonej domenie bezpieczeństwa*, „Nierówności Społeczne a Wzrost Gospodarczy” nr 74 (2023), DOI: 10.15584/nsawg.2023.2.2, <https://journals.ur.edu.pl/nsawg/article/view/8569>.

³¹⁵ E. Polyakova, L. Gorina, *Environmental security and sustainable development of large urban centres*, „E3S Web of Conferences” t. 250 (2021), DOI: 10.1051/e3sconf/202125001003, <https://www.e3s-conferences.org/10.1051/e3sconf/202125001003>.

³¹⁶ K.T. Chaudhry, A. Javed, M.A. Nazir, *Humanitarian Crisis and Intervention: Securitizing Environmental Challenges in Pakistan*, „Annals of Human and Social Sciences” t. 3 nr III (2022), DOI: 10.35484/ahss.2022(3-III)02, <https://ojs.ahss.org.pk/journal/article/view/9>.

³¹⁷ M.A. Ashraf, C.M. Amescua García, A.J.K. Chowdhury, *INTRODUCTION ENVIRONMENT, DEVELOPMENT AND SUSTAINABILITY*, „Revista Internacional de Contaminación Ambiental” t. 35 nr esp01 (2019), DOI: 10.20937/RICA.2019.35.esp01.01, <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2019.35.esp01.01/46866>.

³¹⁸ G. Li, *Sustainable Development Strategies in Urban Planning*, „Advances in Economics, Management and Political Sciences” t. 96 nr 1 (2024), DOI: 10.54254/2754-1169/96/2024MUR0118, <https://www.ewadirect.com/proceedings/aemps/article/view/13935>.

i społeczne. Odpowiedzialne zarządzanie zasobami naturalnymi oraz integracja polityk środowiskowych z polityką gospodarczą mogą odgrywać kluczową rolę w budowaniu odporności ekonomicznej państw i regionów. W kontekście rosnących zagrożeń wynikających z degradacji środowiska, nadmiernej eksploatacji surowców i zmian klimatu, efektywne mechanizmy ochrony przyrody stają się nieodzownym elementem strategii zapobiegania długofalowym kosztom środowiskowym. Właściwie zaprojektowane systemy zarządzania środowiskiem mogą ograniczać ryzyko destabilizacji gospodarczej, wpływając pośrednio na produktywność, zdrowie publiczne oraz dostępność zasobów naturalnych. W tym ujęciu działania proekologiczne nie stanowią jedynie kosztu, lecz także inwestycję w trwały rozwój lokalnych gospodarek – wspierają innowacje, tworzą miejsca pracy i zwiększają bezpieczeństwo ekonomiczne społeczności³¹⁹.

Z tego względu bezpieczeństwo środowiskowe można uznać za istotny element szerzej pojmowanego bezpieczeństwa narodowego. Poziom ochrony środowiska odzwierciedla zdolność państwa do zapewnienia obywatelom ochrony przed skutkami degradacji ekosystemów, katastrof naturalnych i zmian klimatycznych³²⁰. Odpowiedzialność państwa obejmuje więc nie tylko utrzymanie stabilności politycznej czy ochronę granic, ale również przeciwdziałanie zagrożeniom środowiskowym, które oddziałują na zdrowie publiczne, dostęp do zasobów i jakość życia ludności. Realizacja tej odpowiedzialności wymaga spójnych działań systemowych: monitorowania stanu środowiska, rozwoju polityk adaptacyjnych, inwestycji w infrastrukturę odporną na skutki klimatu i promowania zrównoważonego rozwoju. Takie podejście, jak wskazuje Allenby, nie tylko chroni środowisko naturalne, lecz również wzmacnia stabilność społeczną i gospodarczą, tworząc fundament trwałego bezpieczeństwa państwa³²¹.

Jednocześnie współczesne bezpieczeństwo środowiskowe nie może być postrzegane wyłącznie w granicach państw narodowych. Jego skuteczna realizacja wymaga współpracy międzynarodowej i koordynacji działań w obliczu problemów o charakterze transgranicznym – takich jak zmiany klimatu, zanieczyszczenie wód czy degradacja różnorodności biologicznej. Jak podkreślają Szewczyk i Toktogulov, wyzwania te mają charakter globalny, a ich rozwiązanie wymaga wspólnego wysiłku państw, instytucji i organizacji międzynarodowych, które łączą zasoby, wiedzę

³¹⁹ K.M.J. Iqbal i in., *Multi-Variable Governance Index Modeling of Government's Policies, Legal and Institutional Strategies, and Management for Climate Compatible and Sustainable Agriculture Development*, „Sustainability” t. 14 nr 18 (2022), DOI: 10.3390/su141811763, <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/18/11763>.

³²⁰ O.I. Bezpaloiva i in., *STATE ENVIRONMENTAL SECURITY IN NATIONAL AND GLOBALIZATION ASPECTS*, „Journal of Security and Sustainability Issues” t. 9 nr 3 (2020), DOI: 10.9770/jssi.2020.9.3(6), https://jssidoi.org/jssi/uploads/papers/36/Bezpaloiva_State_environmental_security_in_national_and_globalization_aspects.pdf.

³²¹ B.R. Allenby, *Environmental Security: Concept and Implementation*, „International Political Science Review” t. 21 nr 1 (2000), DOI: 10.1177/0192512100211001, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0192512100211001>.

i narzędzia regulacyjne w ramach wielopoziomowego systemu bezpieczeństwa ekologicznego³²².

W celu pogłębionej analizy bezpieczeństwa środowiskowego wykorzystano wyniki badań opublikowane w artykule Murawska i in.: *Environmental safety and self-perceived quality of life and health: the example of the European Union*. Badanie objęło 27 krajów UE w latach 2018–2023 i opierało się na danych pochodzących z baz Eurostatu i Banku Światowego. Zastosowano metodę TOPSIS do konstrukcji syntetycznego wskaźnika bezpieczeństwa środowiskowego (ES_Score), który umożliwił liniowe porządkowanie krajów według poziomu bezpieczeństwa ekologicznego. Następnie wykorzystano ekonometryczny model panelowy z efektami stałymi w celu identyfikacji wpływu bezpieczeństwa środowiskowego oraz jego poszczególnych komponentów na subiektywnie postrzeganą jakość życia i zdrowia mieszkańców. Model uwzględniał również zmienne kontrolne o charakterze makroekonomicznym (inflację, wzrost PKB i wskaźnik obciążenia demograficznego) oraz efekty czasowe, co pozwoliło uwzględnić czynniki zewnętrzne, takie jak pandemia COVID-19 czy zmiany geopolityczne w regionie. Tak zbudowane podejście badawcze umożliwiło uzyskanie wiarygodnych, porównywalnych w czasie i przestrzeni wyników, które stanowią podstawę do interpretacji zróżnicowania poziomu bezpieczeństwa środowiskowego w krajach UE oraz jego wpływu na dobrostan społeczny³²³.

Wspomniane wyżej badania wykazały, że poziom bezpieczeństwa środowiskowego w państwach Unii Europejskiej jest zróżnicowany przestrzennie, przy czym układ ten pozostaje stosunkowo stabilny w czasie. Oznacza to, że istniejące przewagi i deficyty środowiskowe mają charakter utrwalaony, a poprawa pozycji danego kraju wymaga długofalowych działań politycznych i inwestycyjnych. W analizowanym okresie (2018–2023) najwyższe wartości wskaźnika ES_Score osiągały konsekwentnie Francja, Cypr i Szwecja, a w grupie krajów o najwyższym poziomie bezpieczeństwa środowiskowego znalazły się również Grecja, Austria, Malta, Finlandia i Czechy. Z kolei Rumunia, Belgia, Włochy, Irlandia i Węgry należały do państw o najniższych wynikach. W części krajów Europy Środkowo-Wschodniej, zwłaszcza w Bułgarii i Estonii, zaobserwowano stopniową poprawę wartości wskaźnika, co może świadczyć o pozytywnych efektach reform środowiskowych.

Wyniki analizy przestrzennej (Local Moran's I oraz LISA) wskazują na brak istotnej autokorelacji przestrzennej, co oznacza, że bezpieczeństwo środowiskowe nie jest zależne od położenia geograficznego państwa, lecz od czynników instytucjonalnych i strukturalnych. Jednocześnie w Europie Środkowej i Wschodniej można wyróżnić lokalne skupienia krajów o niskim poziomie bezpieczeństwa

³²² Z. Szewczyk, *ECOLOGY SAFETY – SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ECONOMICAL ASPECT...*; A. Toktogulov, *ENVIRONMENTAL SAFETY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT*, „EurasianUnionScientists” (2021), DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.86.1363, <https://psi-ped.euroasia-science.ru/index.php/Euroasia/article/view/713>.

³²³ A. Murawska, P. Sieg, S. Stereńczak, *Environmental Safety and Self-Perceived Quality of Life and Health: The Example of the European Union*, „Sustainability” t. 17 nr 18 (2025), DOI: 10.3390/su17188412, <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/18/8412>.

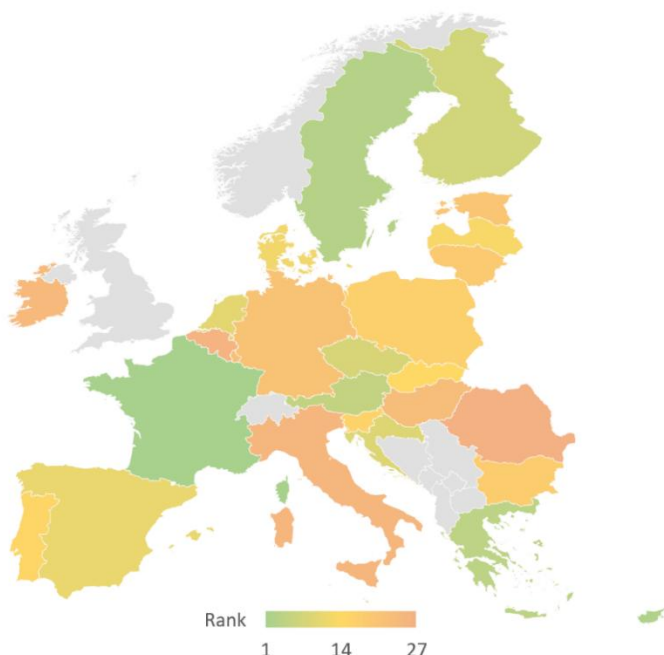
środowiskowego, co częściowo odzwierciedla trwałe różnice rozwojowe w stosunku do państw zachodnioeuropejskich prawdopodobnie wynikające z trudnej historii tych państw.

Zastosowanie modeli panelowych potwierdziło, że zanieczyszczenia powietrza (m.in. emisje i pyły PM_{2.5}) wpływają negatywnie na samoocenę zdrowia i satysfakcję z życia mieszkańców, natomiast większy udział recyklingu odpadów oraz lepszy dostęp do infrastruktury wodno-kanalizacyjnej korelują z poprawą tych wskaźników. W analizie odnotowano również krótkookresowy negatywny efekt intensywnych inwestycji w ochronę klimatu dla odczuwalnej jakości życia, który może wynikać z kosztów transformacyjnych, choć w dłuższej perspektywie działania te przyczyniają się do wzrostu bezpieczeństwa środowiskowego. Uzyskane wyniki wskazały, że wyższy poziom bezpieczeństwa środowiskowego sprzyja poprawie zdrowia publicznego oraz dobrostanu społecznego, co potwierdza, iż polityka środowiskowa i energetyczna ma nie tylko wymiar ekologiczny, lecz również społeczno-ekonomiczny.

W celu wizualnego przedstawienia zróżnicowania poziomu bezpieczeństwa środowiskowego w krajach Unii Europejskiej opracowano mapę syntetyzującą wyniki uzyskane na podstawie wskaźnika ES_Score. Stanowi ona graficzne odzwierciedlenie przestrzennego rozkładu wartości indeksu w badanym okresie (2018–2023), umożliwiając identyfikację obszarów o relatywnie wysokim i niskim poziomie bezpieczeństwa ekologicznego. Tego rodzaju wizualizacja pozwala uchwycić nie tylko hierarchię poszczególnych krajów, lecz także potencjalne prawidłowości regionalne, odzwierciedlające różnice w skuteczności polityk środowiskowych, poziomie rozwoju gospodarczego oraz strukturze instytucjonalnej. Mapa przedstawiona na rysunku 28 stanowi zatem punkt wyjścia do analizy przestrzennej, której celem jest określenie, w jakim stopniu bezpieczeństwo środowiskowe jest zjawiskiem skoncentrowanym geograficznie, a w jakim wynika z uwarunkowań wewnętrznych poszczególnych państw³²⁴.

Bezpieczeństwo środowiskowe stanowi kluczowy wymiar kosztów transformacji energetycznej, gdyż łączy aspekt ekologiczny z odpornością systemu gospodarczego i społecznego. Utrzymanie równowagi między rozwojem odnawialnych źródeł energii a zachowaniem integralności ekosystemów wymaga kompleksowego podejścia, obejmującego ocenę oddziaływań w całym cyklu życia technologii – od wydobycia surowców, przez eksploatację, aż po etap utylizacji i rekultywacji. Wysoki poziom bezpieczeństwa środowiskowego nie jest zatem jedynie efektem wdrażania czystych technologii, lecz także wynikiem racjonalnego gospodarowania zasobami naturalnymi, w tym wodą, glebą i przestrzenią.

³²⁴ A. Murawska, P. Sieg, S. Stereńczak, *Environmental Safety and Self-Perceived Quality of Life and Health: The Example of the European Union*, „Sustainability” t. 17 nr 18 (2025), DOI: 10.3390/su17188412.



Rys. 28. Poziom bezpieczeństwa środowiskowego w krajach UE w latach 2018-2023 wg wskaźnika TOPSIS

Źródło: Murawska A, Sieg P, Stereńczak S. Environmental Safety and Self-Perceived Quality of Life and Health: The Example of the European Union. Sustainability. 2025; 17(18):8412. <https://doi.org/10.3390/su17188412>

W dalszej części rozdziału dokonano szczegółowej analizy wybranych komponentów kosztów środowiskowych, obejmujących wpływ odnawialnych źródeł energii na ekosystemy, gospodarkę wodną, ślad węglowy oraz procesy rekultywacji i utylizacji elementów infrastruktury OZE.

3.2. ODDZIAŁYWANIE INWESTYCJI OZE NA EKOSYSTEM I KRAJOBRAZ

Rozwój odnawialnych źródeł energii, mimo licznych korzyści środowiskowych, wiąże się również z określonym oddziaływaniem na ekosystemy i krajobraz. Inwestycje w farmy wiatrowe, instalacje fotowoltaiczne czy małe elektrownie wodne prowadzą do przekształceń przestrzennych, zmian w strukturze siedlisk oraz ingerencji w lokalne układy przyrodnicze. Skala i charakter tych oddziaływań zależą zarówno od rodzaju zastosowanej technologii, jak i od sposobu planowania i lokalizacji inwestycji. Analiza tego wpływu stanowi istotny element bilansu kosztów środowiskowych transformacji energetycznej i pozwala ocenić, w jakim stopniu ekspansja OZE może współistnieć z ochroną różnorodności biologicznej i walorów krajobrazowych.

3.2.1. Wpływ instalacji OZE na ekosystem

Rozwój odnawialnych źródeł energii stanowi kluczowy element globalnych działań na rzecz łagodzenia zmian klimatu. Jednocześnie badania wskazują, że proces ten wiąże się z różnorodnymi i złożonymi oddziaływaniami ekologicznymi oraz krajobrazowymi, które – przy braku odpowiedniego planowania – mogą podważać cele ochrony przyrody i polityki społecznej³²⁵. W literaturze odnotowano, że wdrażanie instalacji OZE prowadzi do zmian użytkowania gruntów³²⁶, utraty i fragmentacji siedlisk³²⁷, zaburzeń w populacjach zwierząt³²⁸ oraz modyfikacji reżimów hydrologicznych³²⁹, generując zarazem konflikty między redukcją emisji a ochroną bioróżnorodności³³⁰. Badania empiryczne oraz modele scenariuszowe ukazują zróżnicowany charakter oddziaływań inwestycji OZE na różne typy biomów, od pustyń i pastwisk, przez łąki i lasy, po ekosystemy słodkowodne i morskie, oraz na szerokie spektrum taksonów, w tym ptaki, nietoperze, kopytne, bezkręgowce i ryby. Wyniki tych analiz wskazują na utrzymujące się niedostatki w skuteczności działań kompensacyjnych, ocenie efektów skumulowanych i systemach monitoringu, które osłabiają wiarygodność osiągania założeń „braku strat netto” bez wprowadzenia bardziej rygorystycznego planowania przestrzennego i wzmocnienia ram instytucjonalnych³³¹.

Liczne badania terenowe potwierdzają oddziaływanie inwestycji na faunę, w tym unikanie obszarów inwestycyjnych przez duże ssaki³³², zwiększoną

³²⁵ J.A. Rehbein i in., *Renewable energy development threatens many globally important biodiversity areas*, „Global Change Biology” t. 26 nr 5 (2020), DOI: 10.1111/gcb.15067, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.15067>.

³²⁶ C. Brock i in., *Balancing land use for conservation, agriculture, and renewable energy*, 30 lipca 2024 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-3798412/v1>.

³²⁷ H. Sawyer i in., *Trade-offs between utility-scale solar development and ungulates on western rangelands*, „Frontiers in Ecology and the Environment” t. 20 nr 6 (2022), DOI: 10.1002/fee.2498, <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fee.2498>.

³²⁸ M. Murgatroyd, W. Bouten, A. Amar, *A predictive model for improving placement of wind turbines to minimise collision risk potential for a large soaring raptor*, „Journal of Applied Ecology” t. 58 nr 4 (2021), DOI: 10.1111/1365-2664.13799, <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2664.13799>.

³²⁹ D. Hayes i in., *Life Stage-Specific Hydropeaking Flow Rules*, „Sustainability” t. 11 nr 6 (2019), DOI: 10.3390/su11061547, <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/6/1547>.

³³⁰ M.R. McClung, M.D. Moran, *Minimizing Impacts of Future Renewable Energy Development on the World's Desert Ecosystems...*

³³¹ M. Nakatani, T. Osawa, *Assessment of suitability for photovoltaic power generation in periurban seminatural grasslands: toward the coexistence of seminatural grasslands and photovoltaic power generation*, „Discover Sustainability” t. 5 nr 1 (2024), DOI: 10.1007/s43621-024-00346-8, <https://link.springer.com/10.1007/s43621-024-00346-8>; M. del M. Salguero i in., *Bat mortality in wind farms of southern Europe: temporal patterns and implications in the current context of climate change*, „Biodiversity and Conservation” t. 32 nr 12 (2023), DOI: 10.1007/s10531-023-02674-z, <https://link.springer.com/10.1007/s10531-023-02674-z>.

³³² H. Sawyer i in., *Trade-offs between utility-scale solar development and ungulates on western rangelands*, „Frontiers in Ecology and the Environment” t. 20 nr 6 (2022), DOI: 10.1002/fee.2498; Z. Sun, X. Zhang, Y. Gao, *The Impact of Financial Development on*

śmiertelność ptaków i nietoperzy w wyniku kolizji z turbinami wiatrowymi. Badania wskazują, że oceny oddziaływania na środowisko często nie są w stanie odpowiednio ograniczyć tego ryzyka, co prowadzi do niezamierzonych zgonów wśród lokalnej dzikiej przyrody. Pomimo rozwoju modeli predykcyjnych optymalizujących rozmieszczenie turbin, resztkowe ryzyko śmiertelności i zaburzeń behawioralnych pozostaje znaczące, zwłaszcza dla ptaków drapieżnych. W przypadku morskich farm wiatrowych wskazuje się na konieczność analiz efektów skumulowanych w skali regionalnej³³³.

Wyniki badania Fourrier i in. wskazały, że infrastruktura i ogrodzenia towarzyszące wielkoskalowym instalacjom solarnym mogą stanowić bariery nieprzepuszczalne dla dużych ssaków, ograniczając ich swobodę przemieszczania się i zmieniając tradycyjne korytarze migracyjne. Takie przekształcenia przestrzeni prowadzą do modyfikacji zasięgu występowania, zmian w zachowaniach migracyjnych i zaburzeń w strukturze populacji, co może wpływać na łączność ekologiczną i dynamikę demograficzną gatunków. W przypadku farm wiatrowych obserwuje się zróżnicowane reakcje ssaków, zależne od ich ekologii oraz historii użytkowania terenu, podczas gdy część gatunków adaptuje się do obecności infrastruktury, inne wykazują tendencję do unikania obszarów o silnych zakłóceniach i utracie siedlisk³³⁴.

W odpowiedzi na te wyzwania opracowano zestaw narzędzi planistycznych i regulacyjnych, oparty na hierarchii łagodzenia (unikać, minimalizować, odtwarzać, kompensować), priorytetyzacji lokalizacji o niskim konflikcie środowiskowym oraz projektowaniu przyjaznym przyrodzie, takim jak agrifotowoltaika czy rekultywacja terenów zdegradowanych. Rozwiązania te ograniczają negatywne skutki, choć ich skuteczność bywa nierówna – szczególnie w zakresie kompensacji przyrodniczych, których efektywność osłabia brak długofalowego monitoringu i jednolitych standardów³³⁵. Jak podkreślili Callaghan i Williams, Al-Shammari et al., McClung i Moran oraz Singh et al., analizy przestrzenne, modele efektów skumulowanych

Renewable Energy Consumption: A Multidimensional Analysis Based on Global Panel Data...

³³³ P.R. Lintott i in., *Ecological impact assessments fail to reduce risk of bat casualties at wind farms*, „Current Biology” t. 26 nr 21 (2016), DOI: 10.1016/j.cub.2016.10.003, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960982216311885>.

³³⁴ J. Fourrier i in., *Is it safe for honey bee colonies to locate apiaries near wind turbines?*, „Entomologia Generalis” t. 43 nr 4 (2023), DOI: 10.1127/entomologia/2023/1858, http://www.schweizerbart.de/papers/entomologia/detail/43/103150/Is_it_safe_for_honey_bee_colonies_to_locate_apiari?af=crossref; A.R. Muñoz, M.Á. Farfán, *European free-tailed bat fatalities at wind farms in southern Spain*, „Animal Biodiversity and Conservation” (2020), DOI: 10.32800/abc.2020.43.0037, <http://abc.museocienciasjournals.cat/volume-43-1-2020-en/european-free-tailed-bat-fatalities-at-wind-farms-in-southern-spain/?lang=en>.

³³⁵ M. Grimm, J. Köppel, *Biodiversity Offset Program Design and Implementation*, „Sustainability” t. 11 nr 24 (2019), DOI: 10.3390/su11246903, <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/24/6903>; Y. Mao i in., *Bargaining-based energy sharing framework for multiple CCHP systems with a shared energy storage provider*, „Energy Science & Engineering” t. 12 nr 4 (2024), DOI: 10.1002/ese3.1665, <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ese3.1665>.

i badania nad odpowiedzią biotyczną są niezbędne do pogodzenia celów klimatycznych z ochroną ekosystemów³³⁶.

Agrifotowoltaika polega na łączeniu produkcji energii elektrycznej z paneli fotowoltaicznych z równoczesnym użytkowaniem rolniczym tych samych gruntów. Obejmuje to m.in. uprawy roślin pod i między panelami, wypas zwierząt, czy utrzymywanie łąk kwietnych, co pozwala na podwójne wykorzystanie przestrzeni bez wyłączania jej z produkcji rolniczej. Dzięki temu rozwiązaniu można ograniczyć presję na nowe tereny inwestycyjne, poprawić mikroklimat upraw oraz zwiększyć akceptację społeczną inwestycji³³⁷.

Instalacje fotowoltaiczne oraz sposób zarządzania terenami, na których powstają, mogą mieć zróżnicowany wpływ na zapylacze, bezkręgowce i zbiorowiska roślinne. W wielu przypadkach parki słoneczne mogą zwiększać różnorodność biologiczną, jeśli są odpowiednio zaprojektowane i utrzymywane. Badania pokazują, że celowe wysiewanie mieszanek roślin przyjaznych zapylaczom sprzyja wzrostowi liczby kwitnących gatunków, populacji dzikich pszczół i poprawie usług ekosystemowych w porównaniu z tradycyjnym, intensywnym rolnictwem³³⁸. Oznacza to, że właściwe decyzje projektowe mogą przekształcić parki fotowoltaiczne w przestrzenie wspierające bioróżnorodność na gruntach rolnych.

Z drugiej strony, niewłaściwa lokalizacja instalacji lub nadmiernie „inżynieryjne” zagospodarowanie terenu, które prowadzi do usuwania półnaturalnych siedlisk trawiastych, może ograniczać różnorodność gatunkową i osłabiać zdolność ekosystemów do świadczenia kluczowych usług przyrodniczych³³⁹. Dodatkowo, badania sugerują, że infrastruktura wiatrowa może wpływać na zachowania owadów społecznych, takich jak pszczoły miodne, co wskazuje na

³³⁶ Z.W. Al-Shammari i in., *Optimal sizing of hybrid system through particle swarm optimization for rural areas in Iraq...*; G. Callaghan, D. Williams, *Teddy bears and tigers: How renewable energy can revitalise local communities...*; M.R. McClung, M.D. Moran, *Minimizing Impacts of Future Renewable Energy Development on the World's Desert Ecosystems...*; N. Singh, R. Nyuur, B. Richmond, *Renewable Energy Development as a Driver of Economic Growth: Evidence from Multivariate Panel Data Analysis*, „Sustainability” t. 11 nr 8 (2019), DOI: 10.3390/su11082418, <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/8/2418>.

³³⁷ S. Asa'a i in., *A multidisciplinary view on agrivoltaics: Future of energy and agriculture*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” t. 200 (2024), DOI: 10.1016/j.rser.2024.114515, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032124002387>.

³³⁸ P. Sinha i in., *Best Practices in Responsible Land Use for Improving Biodiversity at a Utility-Scale Solar Facility*, „Case Studies in the Environment” t. 2 nr 1 (2018), DOI: 10.1525/cse.2018.001123, <https://online.ucpress.edu/cse/article/2/1/1/33870/Best-Practices-in-Responsible-Land-Use-for>; L.J. Walston i in., *If you build it, will they come? Insect community responses to habitat establishment at solar energy facilities in Minnesota, USA*, „Environmental Research Letters” t. 19 nr 1 (2024), DOI: 10.1088/1748-9326/ad0f72, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ad0f72>.

³³⁹ M. Nakatani, T. Osawa, *Assessment of suitability for photovoltaic power generation in periurban seminatural grasslands: toward the coexistence of seminatural grasslands and photovoltaic power generation*, „Discover Sustainability” t. 5 nr 1 (2024), DOI: 10.1007/s43621-024-00346-8.

potrzebę szczegółowych analiz lokalizacyjnych w przypadku pasiek położonych w pobliżu turbin³⁴⁰.

Chociaż rozwój OZE przynosi korzyści klimatyczne i często wspiera bezpieczeństwo środowiskowe³⁴¹, tempo i skala inwestycji generują nowe ślady infrastrukturalne – obejmujące obszary wytwarzania, przesyłu i magazynowania energii – które mogą kolidować z priorytetami ochrony krajobrazu, jeśli nie są właściwie zarządzane³⁴². Dlatego też unikanie bezpośrednich ingerencji w obszary o wysokiej wartości przyrodniczej oraz utrzymanie łączności ekologicznej powinny stanowić pierwszy etap planowania portfeli OZE.

W systemach wodnych inwestycje w hydroenergetykę i pływające instalacje PV modyfikują reżimy hydrologiczne i warunki siedliskowe organizmów wodnych, prowadząc do osuszania tarlisk czy zmian w rekrutacji gatunków³⁴³. Zmiany świetlne i termiczne generowane przez pływające instalacje wymagają szczegółowych ocen lokalnych i – w razie potrzeby – kompensacji³⁴⁴. Szerzej o wpływie hydroenergetyki na zasoby wodne w kolejnym podrozdziale.

W biotopach pustynnych, półnaturalnych i trawiastych, gdzie planowanie często zakłada niską wartość przyrodniczą, rzeczywisty wpływ inwestycji bywa niedoszacowany. Rozległe instalacje solarne mogą powodować fragmentację naturalnych układów, utratę unikatowych zespołów gatunkowych i ograniczenie ruchliwości fauny³⁴⁵. Rozwój bioenergii i intensyfikacja pozyskania biomasy prowadzą do kompromisów między celami węglowymi a ochroną gatunków, szczególnie w lasach, gdzie nadmierna eksploatacja zmienia strukturę drzewostanu i obniża jakość siedlisk. Badacze zwracają uwagę, że pojedyncze inwestycje rzadko wywołują dramatyczne skutki, jednak skumulowany rozwój może prowadzić do fragmentacji krajobrazu i spadku łączności ekologicznej, co zagraża trwałości populacji. Kierowanie rozwoju na tereny już przekształcone i obszary o niskim konflikcie może ograniczyć te efekty i przyspieszyć realizację celów klimatycznych³⁴⁶.

³⁴⁰ J. Fourrier i in., *Is it safe for honey bee colonies to locate apiaries near wind turbines?*...

³⁴¹ D. Armeanu, G. Vintilă, Ș. Gherghina, *Does Renewable Energy Drive Sustainable Economic Growth? Multivariate Panel Data Evidence for EU-28 Countries...*; Ü. Arslan, T. Yıldız, *Does the transition to renewable energy increase inflation in European countries?*...

³⁴² G.C. Wu i in., *Minimizing habitat conflicts in meeting net-zero energy targets in the western United States*, „Proceedings of the National Academy of Sciences” t. 120 nr 4 (2023), DOI: 10.1073/pnas.2204098120, <https://pnas.org/doi/10.1073/pnas.2204098120>.

³⁴³ I.L. Jones, J.W. Bull, *Major dams and the challenge of achieving “No Net Loss” of biodiversity in the tropics*, „Sustainable Development” t. 28 nr 2 (2020), DOI: 10.1002/sd.1997, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sd.1997>.

³⁴⁴ A. Gallaher, E. Kalies, S. Grodsky, *Sustainability trade-offs across modeled floating-solar waterscapes*, 29 lipca 2024 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-4566416/v1>.

³⁴⁵ A. Dunlap, B.K. Sovacool, B. Novaković, *‘A Dead Sea of Solar Panels:’ solar enclosure, extractivism and the progressive degradation of the California desert*, „The Journal of Peasant Studies” t. 52 nr 3 (2025), DOI: 10.1080/03066150.2024.2388051, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03066150.2024.2388051>.

³⁴⁶ J. Giuntoli i in., *The quest for sustainable forest bioenergy: win-win solutions for climate and biodiversity*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” t. 159 (2022), DOI: 10.1016/j.rser.2022.112180,

Ostatecznie, jak podkreślili Munday et al., Verma et al., Grimm i Köppel oraz Moore, pogodzenie celów klimatycznych z ochroną przyrody jest możliwe, ale wymaga systemowego podejścia. Kluczowe znaczenie ma przestrzeganie hierarchii łagodzenia, strategiczne planowanie w skali krajobrazu i długofalowy monitoring skutków środowiskowych. Zaniechanie tych działań prowadziłoby do utraty walorów krajobrazowych, spadku bioróżnorodności i ograniczenia korzyści klimatycznych, które miały stanowić podstawę rozwoju OZE³⁴⁷.

Modernizacja istniejących korytarzy sieciowych stanowi jedno z najbardziej efektywnych narzędzi ograniczania kosztów środowiskowych transformacji energetycznej. Zamiast tworzyć nowe linie przesyłowe, które wymagają zajęcia terenów, ingerencji w krajobraz i niosą ryzyko konfliktów społecznych, coraz częściej stosuje się ulepszanie już istniejącej infrastruktury przesyłowej. Obejmuje to zarówno wprowadzanie nowoczesnych technologii przesyłu – HVAC (High Voltage Alternating Current – klasyczny prąd przemienny) oraz HVDC (High Voltage Direct Current – nowoczesny przesył prądu stałego) – jak i tzw. rekonduktoring, czyli wymianę przewodów na przewody o większej przepustowości i niższych stratach energii. Takie działania pozwalają znacząco zwiększyć możliwości przesyłowe systemu bez konieczności budowy nowych korytarzy energetycznych. W efekcie ograniczają one presję przestrzenną, minimalizują fragmentację krajobrazu i przyspieszają proces inwestycyjny, jednocześnie wzmacniając odporność sieci na rosnące zapotrzebowanie wynikające z rozwoju odnawialnych źródeł energii³⁴⁸.

3.2.2. Oddziaływanie wizualne instalacji energetyki odnawialnej

Wdrażanie odnawialnych źródeł energii jest kluczowym elementem działań na rzecz łagodzenia zmian klimatu oraz realizacji celów zrównoważonego rozwoju. Coraz częściej zwraca się jednak uwagę na oddziaływania wizualne instalacji energetyki odnawialnej, które mogą wpływać na postrzeganie krajobrazu, generować konflikty społeczne i obniżać poziom akceptacji lokalnych społeczności. Odpowiedzialne planowanie przestrzenne oraz integracja aspektów estetycznych w procesie projektowania inwestycji mogą znacząco ograniczyć ten rodzaj obciążenia, wzmacniając jednocześnie społeczną legitymizację transformacji energetycznej. Badania dowodzą, że percepcja wizualna krajobrazu stanowi jeden

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032122001058>; J. Winberg, H.G. Smith, J. Ekroos, *Bioenergy crops, biodiversity and ecosystem services in temperate agricultural landscapes—A review of synergies and trade-offs*, „GCB Bioenergy” t. 15 nr 10 (2023), DOI: 10.1111/gcbb.13092, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcbb.13092>.

³⁴⁷ M. Grimm, J. Köppel, *Biodiversity Offset Program Design and Implementation...*; C. Moore, *Renewable Energy Adoption and Its Effect on Rural Development in United States...*; M. Munday, G. Bristow, R. Cowell, *Wind farms in rural areas: How far do community benefits from wind farms represent a local economic development opportunity? ...*; A. Verma i in., *Sustainable Transportation: Economics Driving Towards Environmental Solutions...*

³⁴⁸ G.C. Wu i in., *Minimizing habitat conflicts in meeting net-zero energy targets in the western United States*, „Proceedings of the National Academy of Sciences” t. 120 nr 4 (2023), DOI: 10.1073/pnas.2204098120.

z kluczowych czynników kształtujących postawy wobec OZE, szczególnie w przypadku farm wiatrowych i słonecznych.

McKenna i in. wykazali, że poziom akceptacji inwestycji pozostaje w silnym związku z atrakcyjnością krajobrazu – im bardziej malowniczy teren, tym większe prawdopodobieństwo sprzeciwu społecznego i wzrostu kosztów projektu wynikających z opóźnień i postępowań administracyjnych. Oznacza to, że planowanie przestrzenne musi uwzględniać społeczny odbiór estetyki krajobrazu, który staje się czynnikiem ekonomicznie relewantnym w procesach inwestycyjnych. W badaniu McKenna i wsp. analizowano konflikt między efektywnością kosztową a akceptacją społeczną lokalizacji lądowych farm wiatrowych w Wielkiej Brytanii, wykorzystując ponad 1,5 miliona ocen malowniczości (scenicness) z około 200 000 geotagowanych fotografii. Autorzy zastosowali modele regresji logistycznej do oceny wpływu malowniczości na wyniki wniosków o pozwolenia budowlane z Bazy Planowania Energii Odnawialnej - Renewable Energy Planning Database (REPD), uwzględniając zmienne kontrolne takie jak odległości od obszarów chronionych i lotnisk, wielkość projektu oraz efekty stałe lat. W preferowanym modelu 4 (z kryterium wskazującym na najlepszą specyfikację) wzrost malowniczości o jedną jednostkę zmniejsza szanse na akceptację wniosku o 22%. Wykluczenie 10% najbardziej malowniczych obszarów prowadzi do spadku potencjału o około 18% i wzrostu kosztów o 8-26%, w zależności od scenariusza (indywidualne turbiny vs. zoptymalizowane farmy, z lub bez kosztów sieciowych), podkreślając konieczność kompromisów między celami klimatycznymi a ochroną krajobrazów³⁴⁹.

Integracja zasad architektury krajobrazu i projektowania środowiskowego może znacząco przyczynić się do łagodzenia wizualnych skutków inwestycji. Glockner i in. wskazali, że przemyślane wkomponowanie instalacji w istniejące uwarunkowania przestrzenne – z wykorzystaniem naturalnych form terenu, rodzimej roślinności czy istniejących korytarzy widokowych – pozwala zachować harmonijne relacje między infrastrukturą techniczną a otoczeniem. W ten sposób krajobraz energetyczny może zostać przekształcony z obiektu sporów w element estetycznie i funkcjonalnie zintegrowany z przestrzenią lokalną. Ramy regulacyjne również odgrywają kluczową rolę w łagodzeniu konfliktów krajobrazowych. Ustanawianie standardów dotyczących wysokości turbin, minimalnych odległości od zabudowy oraz ochrony obszarów cennych przyrodniczo i kulturowo stanowi istotny mechanizm zarządzania postrzeganym obciążeniem wizualnym³⁵⁰.

Jednocześnie, jak podkreślili Azarova i in., proces legislacyjny powinien być uzupełniony o konsultacje społeczne, tak aby wypracowane regulacje odzwierciedlały lokalne wartości estetyczne i kulturowe, szczególnie w społecznościach o silnej tożsamości kulturowej. Zaangażowanie mieszkańców we wczesnych etapach

³⁴⁹ R. McKenna i in., *Scenicness assessment of onshore wind sites with geotagged photographs and impacts on approval and cost-efficiency*, „Nature Energy” t. 6 nr 6 (2021), DOI: 10.1038/s41560-021-00842-5, <https://www.nature.com/articles/s41560-021-00842-5>.

³⁵⁰ W. Glockner, K. Planinac, K. Dimond, *The Power of Place: Unleashing the Potential of Place-Based Green Energy Landscapes*, „Architecture” t. 4 nr 1 (2024), DOI: 10.3390/architecture4010010, <https://www.mdpi.com/2673-8945/4/1/10>.

projektowania pozwala lepiej rozpoznać znaczenie krajobrazu w wymiarze symbolicznym i emocjonalnym, co zwiększa szanse na akceptację projektów³⁵¹.

Ważną strategią ograniczania wpływu wizualnego jest także kolokacja funkcji oraz rozwój agrioltaiki, łączącej produkcję rolną z wytwarzaniem energii słonecznej. Jak dowodzili Pascaris i in., tego typu rozwiązania nie tylko poprawiają efektywność wykorzystania gruntów, lecz również wzmacniają akceptację społeczną, ponieważ instalacje fotowoltaiczne współistnieją z tradycyjnym użytkowaniem rolniczym, zachowując dotychczasowy charakter krajobrazu³⁵².

Coraz częściej stosuje się także narzędzia wizualizacyjne oparte na GIS (systemy informacji geograficznej) oraz modelowaniu 3D, które umożliwiają ocenę wpływu wizualnego jeszcze przed rozpoczęciem inwestycji. Symulacje umożliwiają wizualne przedstawienie przyszłego wyglądu instalacji z różnych punktów obserwacyjnych, ułatwiając mieszkańcom i decydentom świadome uczestnictwo w procesie planowania. Takie rozwiązania zwiększają przejrzystość decyzji inwestycyjnych i sprzyjają budowie zaufania³⁵³.

Skuteczne łagodzenie wpływu wizualnego wymaga ciągłego monitorowania i adaptacyjnego zarządzania. Tsani i in. podkreślają, że regularna ocena percepcji społecznej oraz otwarty dialog między inwestorem a społecznością umożliwiają wprowadzanie korekt w wyglądzie lub utrzymaniu instalacji, co sprzyja długofalowemu utrzymaniu poparcia społecznego³⁵⁴.

Minimalizacja wizualnych kosztów środowiskowych OZE wymaga zintegrowanego podejścia łączącego planowanie przestrzenne, estetykę krajobrazu, regulacje prawne i narzędzia partycypacyjne. Połączenie rozwiązań architektonicznych, technicznych i społecznych może zwiększyć akceptację społeczną dla inwestycji oraz ułatwić harmonijną integrację infrastruktury energetycznej z krajobrazem, co stanowi warunek powodzenia zrównoważonej transformacji energetycznej.

³⁵¹ V. Azarova i in., *Designing local renewable energy communities to increase social acceptance: Evidence from a choice experiment in Austria, Germany, Italy, and Switzerland*, „Energy Policy” t. 132 (2019), DOI: 10.1016/j.enpol.2019.06.067, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421519304379>.

³⁵² A.S. Pascaris i in., *Do agrivoltaics improve public support for solar? A survey on perceptions, preferences, and priorities*, „Green Technology, Resilience, and Sustainability” t. 2 nr 1 (2022), DOI: 10.1007/s44173-022-00007-x, <https://link.springer.com/10.1007/s44173-022-00007-x>.

³⁵³ T. Schauppenlehner, K. Bittner, M. Baumgartinger-Seiringer, *Large-Scale Agrivoltaics Visualisations for Assessing Landscape Impacts and Social Acceptance*, „AgriVoltaics Conference Proceedings” t. 1 (2024), DOI: 10.52825/agripv.v1i.596, <https://www.tib-op.org/ojs/index.php/agripv/article/view/596>.

³⁵⁴ T. Tsani i in., *Out of sight, out of mind? Cost of minimizing visibility of nationwide renewable energy systems*, 6 września 2024 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-5017073/v1>.

3.3. WPLYW ELEKTROWNI OZE NA ZASOBY WODNE

Odnawialne źródła energii w coraz większym stopniu kształtują relacje między sektorem energetycznym a gospodarką wodną. Ich wpływ jest złożony i wielowymiarowy – obejmuje zarówno pozytywne sprzężenia, jak i ryzyka środowiskowe, które zależą od technologii, warunków hydrologicznych oraz sposobu zarządzania. W szczególności energetyka wodna, geotermia, instalacje fotowoltaiczne i układy kogeneracyjne oddziałują na zasoby wodne poprzez zmianę przepływów, temperatury, składu chemicznego oraz stopnia dostępności wody dla ekosystemów i użytkowników.

3.3.1. Oddziaływanie hydroenergetyki na zasoby wodne

W literaturze wskazuje się, że największe ryzyka generuje energetyka wodna – zwłaszcza duże zbiorniki zaporowe, które prowadzą do przekształcenia naturalnych reżimów hydrologicznych, fragmentacji siedlisk i zmian w obiegu biogenów. Tworzenie sztucznych jezior zmienia dynamikę przepływu rzek, często powodując spadek bioróżnorodności i utratę siedlisk gatunków wodnych. W mniejszych skalach, przy zachowaniu zasad przepływu nienaruszalnego, skutki te mogą być ograniczone, jednak ich całkowite wyeliminowanie jest niemożliwe³⁵⁵. Energetyka wodna wciąż stanowi jeden z filarów systemów odnawialnych źródeł energii na świecie, pozostając głównym czynnikiem rozwoju infrastruktury rzecznej i przekształceń krajobrazowych. W wielu krajach odgrywa dominującą rolę w bilansie energetycznym, np. w Brazylii odpowiada za około 62% produkcji energii elektrycznej³⁵⁶, w Szwecji za około 38%³⁵⁷. Doświadczenia chińskie z ostatnich dekad pokazują jednak, że szybka ekspansja sektora hydroenergetycznego może prowadzić do znacznych presji ekologicznych, szczególnie przy niedostatecznie ostrożnym planowaniu zlewni i słabym nadzorze środowiskowym³⁵⁸. Globalne analizy wskazują, że tysiące nowych zapór - zarówno dużych, jak i małych - jest obecnie planowanych lub realizowanych, co zapowiada dalsze rozszerzanie zasięgu infrastruktury hydroenergetycznej oraz narastanie skumulowanych skutków dla rzek o swobodnym przepływie³⁵⁹. Badania cyklu życia podkreślają przy tym, że bilans środowiskowy

³⁵⁵ A. Taiwo Idowu i in., *Hydropower Development and River Ecosystems: A Review of Environmental Impact and Mitigation Strategies*, „International Journal of Advanced Multidisciplinary Research and Studies” t. 4 nr 6 (2024), DOI: 10.62225/2583049X.2024.4.6.4016, <https://www.multiresearchjournal.com/arclist/list-2024.4.6/id-4016>.

³⁵⁶ F.A. Veronez, F.R.D. Lima, G.M. Tshibangu, *Environmental impacts of hydropower plants in Brazil: an identification guide*, „Sustainability in Debate” t. 13 nr 1 (2022), DOI: 10.18472/SustDeb.v13n1.2022.40635, <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/40635>.

³⁵⁷ International Energy Agency (IEA), Sweden. *Sources of electricity generation*, (2025), <https://www.iea.org/countries/sweden/electricity>.

³⁵⁸ Z. Sun, X. Zhang, Y. Gao, *The Impact of Financial Development on Renewable Energy Consumption: A Multidimensional Analysis Based on Global Panel Data...*

³⁵⁹ N.K. Pleizier i in., *A meta-analysis of gas bubble trauma in fish*, „Fish and Fisheries” t. 21 nr 6 (2020), DOI: 10.1111/faf.12496, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/faf.12496>.

i ekonomiczny elektrowni wodnych zależy w dużym stopniu od skali, lokalizacji i reżimu eksploatacyjnego, które powinny stanowić integralny element planowania inwestycji³⁶⁰.

Tworzenie zbiorników wodnych i regulacja przepływów to kluczowe mechanizmy wywołujące skutki ekologiczne i społeczne. Duże zapory zalewają rozległe obszary, przekształcając środowiska lądowe w wodne i fragmentując krajobraz, co często prowadzi do utraty ciągłości siedlisk, powstawania izolowanych „wysp” ekosystemowych oraz spadku bioróżnorodności³⁶¹. W dorzeczu Amazonii zaobserwowano, że oddziaływanie zapór w połączeniu z ekstremalnymi zjawiskami klimatycznymi zwiększa wrażliwość ekosystemów leśnych i nasila śmiertelność drzew, co wskazuje na nieliniowe interakcje między presją hydrologiczną a zmianami klimatycznymi³⁶². Badania prowadzone w brazylijskim Cerrado i innych obszarach cennych przyrodniczo potwierdzają, że nawet sieci małych elektrowni wodnych mogą kumulować skutki w skali zlewni, prowadząc do trwałej modyfikacji reżimów przepływu i zwiększonego ryzyka ekologicznego³⁶³. Regulacja przepływów zmienia również morfologię koryta i dynamikę stref zalewowych, wpływając na sedimentację, dynamikę roślinności nadrzecznej oraz łączność między rzeką a jej ekosystemami przybrzeżnymi. Budowa zapór radykalnie zmienia naturalny transport osadów, prowadząc do akumulacji materiału w zbiornikach oraz deficytu osadów w odcinkach dolnych. W rezultacie pojawiają się zjawiska erozji koryta, pogorszenia jakości siedlisk oraz stopniowego zmniejszania pojemności zbiorników³⁶⁴. Proces ten wymusza kosztowne działania inżynierskie, takie jak pogłębianie, płukanie czy obejścia osadów, które nie tylko generują dodatkowe koszty finansowe, lecz także powodują dalsze zaburzenia ekologiczne osadów w odcinkach dolnych prowadzi

³⁶⁰ L.D. Robescu, D.A. Bondrea, *The water footprint from hydroelectricity: a case study for a hydropower plant in Romania*, „E3S Web of Conferences” t. 85 (2019), DOI: 10.1051/e3sconf/20198506012, <https://www.e3s-conferences.org/10.1051/e3sconf/20198506012>.

³⁶¹ N.B. Dávalos, S. Rodrigues-Filho, G. Litre, *The impacts of the construction of hydroelectrics on indigenous communities. Displacement, division and pilgrimage among The Tuxá peoples of Bahia state, Brazil*, „Sustentabilidade em Debate” t. 12 nr 1 (2021), DOI: 10.18472/SustDeb.v12n1.2021.36587, <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/36587>.

³⁶² P. Moser i in., *Interaction between extreme weather events and mega-dams increases tree mortality and alters functional status of Amazonian forests*, „Journal of Applied Ecology” t. 56 nr 12 (2019), DOI: 10.1111/1365-2664.13498, <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2664.13498>.

³⁶³ M.E. Ferreira i in., *Dams Pose a Critical Threat to Rivers in Brazil's Cerrado Hotspot*, „Water” t. 14 nr 22 (2022), DOI: 10.3390/w14223762, <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/22/3762>.

³⁶⁴ T. Pavlovna Spitsyna, R. Rizvanulayevich Tagirov, *Influence of river flow regulation in the Angara-Yenisei region on the hydrochemical regime of the cascade of hydroelectric power plant reservoirs and their downstream sections*, „E3S Web of Conferences” t. 417 (2023), DOI: 10.1051/e3sconf/202341702014, <https://www.e3s-conferences.org/10.1051/e3sconf/202341702014>.

z kolei do zmian geomorfologicznych i utraty substratów tarliskowych, co wpływa na strukturę zespołów ryb i makrobezkręgowców³⁶⁵.

Elektrownie wodne ingerują w funkcjonowanie ekosystemów rzecznych na wielu poziomach. Do najczęściej obserwowanych skutków należą: blokowanie tras migracji ryb, zaburzenia przepływów kluczowych dla tarła, zmiana siedlisk z nurtowych na stojące oraz pogorszenie jakości wody. Badania w dorzeczu Amazonki wykazały, że gatunki wymagające długich migracji i preferujące środowiska pelagiczne należą do najbardziej wrażliwych, co skutkuje funkcjonalnym zubożeniem zespołów rybnych³⁶⁶. Również makrobezkręgowce wykazują wyraźne reakcje na zmiany reżimu przepływu, a w rejonach małych elektrowni wodnych stwierdzono zanik taksonów wrażliwych³⁶⁷. W niektórych przypadkach pojawiają się również ostre formy śmiertelności, jak trauma gazowa wywołana nadmiernym nasyceniem wody tlenem, co wymaga wdrażania odpowiednich środków inżynierskich i zmian operacyjnych³⁶⁸.

Powstawanie zbiorników prowadzi do zmian termiki, natlenienia i obiegu biogenów, co ma bezpośredni wpływ na funkcjonowanie ekosystemów wodnych. Badania w kaskadzie Angara–Jenisej potwierdziły istotne zmiany w składzie chemicznym wód, wskazując na potrzebę zintegrowanego monitoringu hydrobiologicznego w procesie eksploatacji zapór³⁶⁹. Podobne wyniki uzyskano w dorzeczu rzeki Madeira, gdzie zaobserwowano pogorszenie jakości wód zalewowych i spadek ich produktywności, co wpłynęło na lokalne bezpieczeństwo żywnościowe. Te procesy chemiczne i biologiczne działają synergicznie, prowadząc do długofalowych zmian strukturalnych w ekosystemach rzecznych. Hydroenergetyka oddziałuje nie tylko na środowisko, lecz także na struktury społeczne i gospodarcze. Budowa zapór często wiąże się z utrudnieniami w dostępie do zasobów rybnych, przymusowymi przesiedleniami oraz zmianami tradycyjnych źródeł utrzymania³⁷⁰. Skrajny przykład społeczności Tuxá z dorzecza São Francisco

³⁶⁵ A.I.N. Nur, N.A. Sasongko, M.S. Boedoyo, *Environmental Impact and Life Cycle Costs of Large-Scale Hydroelectric Power Plants*, „JETISH: Journal of Education Technology Information Social Sciences and Health” t. 3 nr 1 (2024), DOI: 10.57235/jetish.v3i1.1242, <https://rayyanjournal.com/index.php/jetish/article/view/1242>.

³⁶⁶ A.L.M. de Souza i in., *Impacts of Hydroelectric Dams on Amazonian Fisheries: Assessing Functional Attributes in the Madeira River*, „River Research and Applications” t. 41 nr 7 (2025), DOI: 10.1002/rra.4451, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/rra.4451>.

³⁶⁷ A.M.C. Ruocco, J.L. Portinho, M.G. Nogueira, *Potential impact of small hydroelectric power plants on river biota: a case study on macroinvertebrates associated to basaltic knickzones*, „Brazilian Journal of Biology” t. 79 nr 4 (2019), DOI: 10.1590/1519-6984.191148, http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842019000400722&tlng=en.

³⁶⁸ N.K. Pleizier i in., *A meta-analysis of gas bubble trauma in fish...*

³⁶⁹ T. Pavlovna Spitsyna, R. Rizvanulayevich Tagirov, *Influence of river flow regulation in the Angara-Yenisei region on the hydrochemical regime of the cascade of hydroelectric power plant reservoirs and their downstream sections...*

³⁷⁰ R.E. Santos i in., *Damming Amazon Rivers: Environmental impacts of hydroelectric dams on Brazil's Madeira River according to local fishers' perception*, „Ambio” t. 49 nr 10 (2020), DOI: 10.1007/s13280-020-01316-w, <http://link.springer.com/10.1007/s13280-020-01316-w>.

(Brazylia) pokazuje jak istotna jest dyskusja o kosztach społecznych odnawialnych źródeł energii. Społeczność Tuxá, historycznie utrzymująca się z rolnictwa i rybołówstwa, w 1988 r. została wysiedlona ze swoich tradycyjnych ziem w wyniku budowy elektrowni wodnej, co doprowadziło do głębokich konfliktów wewnętrznych oraz złożonych skutków społecznych i środowiskowych. Mieszkańcy zostali zmuszeni do zmiany dotychczasowych form gospodarowania, co wpłynęło zarówno na strukturę ekonomiczną, jak i na codzienne praktyki żywieniowe oraz więź z rzeką São Francisco³⁷¹. Choć przypadek społeczności Tuxá pochodzi sprzed kilku dekad, pozostaje ważnym punktem odniesienia w analizie społecznych kosztów rozwoju hydroenergetyki. Pokazuje on, od jakiego poziomu świadomości i wrażliwości społecznej świat rozpoczął debatę o zrównoważonej transformacji energetycznej, a także, jak wysoką cenę płaciły lokalne społeczności za postęp technologiczny i gospodarczy. Współcześnie standardy środowiskowe i procedury konsultacyjne uległy znaczącej poprawie, jednak przykład ten przypomina, że potrzeba ochrony praw społeczności lokalnych oraz minimalizacji skutków środowiskowych pozostaje aktualna. Ciągłe podejmowanie tego tematu jest kluczowe, by uniknąć powielania błędów przeszłości i zapewnić, że rozwój energetyki odnawialnej rzeczywiście służy społecznemu i ekologicznemu dobru.

Profil środowiskowy elektrowni wodnych różni się w zależności od lokalizacji, skali i współkorzyści, takich jak nawadnianie czy retencja wody. Analizy śladu wodnego dowodzą, że parowanie ze zbiorników może generować znaczne straty zasobów wodnych, które należy uwzględniać przy alokacji usług ekosystemowych³⁷². Porównania z innymi technologiami, takimi jak energia słoneczna, pokazują, że kompromisy środowiskowo-ekonomiczne są silnie kontekstowe, dlatego planowanie inwestycji wymaga oceny cyklu życia i analiz scenariuszowych³⁷³.

Małe elektrownie wodne, definiowane w Polsce jako instalacje o mocy poniżej 5 MW (lub 10 MW w skali globalnej), stanowią istotny element zrównoważonego systemu energetycznego. Dostarczają one energię lokalnym społecznościom przy relatywnie niskiej presji na środowisko. Jak wskazują badania, rozwój MEW jest zwykle bardziej zrównoważony niż dużych elektrowni zaporowych, co pozwala ograniczać negatywne skutki społeczno-ekonomiczne ich funkcjonowania. Instalacje te wspierają rozwój obszarów wiejskich poprzez poprawę infrastruktury wodnej i zapewnienie dostępu do czystej energii, przyczyniając się jednocześnie do redukcji emisji gazów cieplarnianych i wzmacniania lokalnych gospodarek. Optymalne wykorzystanie ich potencjału wymaga jednak precyzyjnego prognozowania zapotrzebowania energetycznego i dostosowywania mocy

³⁷¹ N.B. Dávalos, S. Rodrigues-Filho, G. Litre, *The impacts of the construction of hydroelectrics on indigenous communities. Displacement, division and pilgrimage among The Tuxá peoples of Bahia state, Brazil...*

³⁷² L.D. Robescu, D.A. Bondrea, *The water footprint from hydroelectricity: a case study for a hydropower plant in Romania...*

³⁷³ A. Aytac, *Environmental and socio-economic impact comparison of solar and hydroelectric systems: A case of a real investment*, 27 czerwca 2024 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-4559710/v1>.

wytwórczych³⁷⁴. Dzięki niższym kosztom budowy i eksploatacji w porównaniu z dużymi zaporami, MEW stanowią korzystne rozwiązanie ekonomiczne dla regionów oddalonych od sieci przesyłowych. Rosnące znaczenie małych elektrowni sprawia, że są one dziś uznawane za jedno z najbardziej elastycznych źródeł energii odnawialnej, pozwalające na zaspokojenie zarówno lokalnych, jak i krajowych potrzeb w sposób zgodny z zasadami zrównoważonego rozwoju³⁷⁵.

Pomimo licznych korzyści, MEW wymagają odpowiedzialnego planowania i eksploatacji uwzględniającej oddziaływanie na środowisko przyrodnicze i społeczności lokalne. Choć ich wpływ biofizyczny jest zazwyczaj mniejszy niż w przypadku dużych zapór, podobne wyzwania społeczne i hydrologiczne mogą występować, co uzasadnia konieczność przeprowadzania szczegółowych ocen oddziaływania na środowisko już na etapie planowania³⁷⁶. Kluczowe znaczenie ma utrzymanie naturalnego reżimu hydrologicznego rzeki poniżej elektrowni, zapewnienie przepływów środowiskowych i wdrożenie systemów monitoringu hydrologiczno-ekologicznego, aby chronić bioróżnorodność i ograniczać ryzyko konfliktów społecznych³⁷⁷. Małe elektrownie wodne mogą zakłócać ekosystemy wodne i zagrażać szlakom migracji ryb, przyczyniając się do zaburzeń ekologicznych³⁷⁸. Rozwijane obecnie technologie, takie jak turbiny przyjazne dla ryb, turbiny poprzeczne czy urządzenia hydrokinetyczne, pozwalają ograniczyć śmiertelność i bariery migracyjne, jednak ich efektywność zależy od rygorystycznej selekcji lokalizacji, testów pilotażowych i długoterminowego monitoringu³⁷⁹. Wyniki analiz wskazują jednak, że właściwe zarządzanie przepływami umożliwia znalezienie równowagi między produkcją energii a ochroną ekosystemów wodnych³⁸⁰.

³⁷⁴ G. Li i in., *Short-Term Power Generation Energy Forecasting Model for Small Hydropower Stations Using GA-SVM*, „Mathematical Problems in Engineering” t. 2014 nr 1 (2014), DOI: 10.1155/2014/381387, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2014/381387>.

³⁷⁵ Z. Girma, *Techno-Economic Feasibility of Small Scale Hydropower in Ethiopia: The Case of the Kulfo River, in Southern Ethiopia*, „Journal of Renewable Energy” t. 2016 (2016), DOI: 10.1155/2016/8037892, <http://www.hindawi.com/journals/jre/2016/8037892/>.

³⁷⁶ K.M. Kibler, D.D. Tullos, *Cumulative biophysical impact of small and large hydropower development in Nu River, China*, „Water Resources Research” t. 49 nr 6 (2013), DOI: 10.1002/wrcr.20243, <http://doi.wiley.com/10.1002/wrcr.20243>.

³⁷⁷ N.P. Le, *Flood inundation analysis in downstream of small hydropower plant: a case study in Lang Son Province, Vietnam*, „International Journal of GEOMATE” t. 27 nr 123 (2024), DOI: 10.21660/2024.123.4617, <https://geomatejournal.com/geomate/article/view/4617/3512>.

³⁷⁸ V. Ferrario, B. Castiglioni, *Hydropower Exploitation in the Piave River Basin (Italian Eastern Alps)* [w:] *Renewable Energies and European Landscapes*, Dordrecht 2015.

³⁷⁹ P.H. Adiwibowo i in., *Crossflow Hydro Turbine with the Interference Blade Improve Turbine Performance* [w:] *Proceedings of the International Joint Conference on Science and Engineering 2022 (IJCSE 2022)*, Dordrecht 2022.

³⁸⁰ M. Craig i in., *Net revenue and downstream flow impact trade-offs for a network of small-scale hydropower facilities in California*, „Environmental Research Communications” t. 1 nr 1 (2019), DOI: 10.1088/2515-7620/aafd62, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2515-7620/aafd62>.

W obliczu zmian klimatycznych rośnie znaczenie zdolności adaptacyjnych małych elektrowni wodnych wobec zmiennych warunków hydrologicznych. Choć wcześniej uznawano je za mniej podatne na skutki klimatyczne niż duże zapory, badania wskazują, że również niewielkie instalacje mogą doświadczać spadku wydajności w wyniku niestabilności przepływów³⁸¹. Dlatego konieczne jest wdrażanie strategii adaptacyjnych, które zapewnią długofalową efektywność i niezawodność produkcji energii. Małe elektrownie przepływowe, niewymagające dużych zbiorników retencyjnych, charakteryzują się niższym ryzykiem związanym ze zmienną dostępnością wody i mogą stanowić element odporności systemów energetycznych na skutki zmian klimatu³⁸².

Postęp technologiczny stanowi kluczowy czynnik zwiększający efektywność i niezawodność małych elektrowni wodnych. Współczesne badania koncentrują się na udoskonalaniu turbin, tak by zapewnić stabilną pracę w szerokim zakresie przepływów. Zastosowanie systemów o zmiennej prędkości obrotowej turbiny i generatora pozwala na dynamiczne dostosowanie do zmian natężenia przepływu, co zwiększa efektywność oraz stabilność produkcji energii³⁸³, turbiny Banki, przystosowane do niskich spadów, poprawiają konwersję energii w mikroinstalacjach³⁸⁴. Ważnym rozwiązaniem innowacyjnym jest także wykorzystanie pomp jako turbin (PAT), które umożliwiają odzysk energii z nadwyżek ciśnienia w sieciach wodociągowych. Technologia ta stanowi opłacalną alternatywę dla klasycznych turbin w miejscach, gdzie ich zastosowanie byłoby nieefektywne, a dodatkowo może być integrowana z miejską infrastrukturą wodną, np. w oczyszczalniach ścieków, wspierając produkcję czystej energii³⁸⁵. Efektywność MEW zależy również od doboru lokalizacji i integracji z istniejącymi obiektami hydrotechnicznymi. Umieszczenie instalacji u podnóża zapór (tzw. *dam-toe hydropower*) pozwala wykorzystać istniejący spad wody i uzyskać dodatkową energię przy minimalnej ingerencji w krajobraz³⁸⁶.

³⁸¹ T.B.A. Couto i in., *Effects of small hydropower dams on macroinvertebrate and fish assemblages in southern Brazil*, „Freshwater Biology” t. 68 nr 6 (2023), DOI: 10.1111/fwb.14078, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/fwb.14078>.

³⁸² A. de C.L. Soares, C.J.C. Blanco, J. da S. Cruz, *Impact of climate change on hydroelectric power duration curves of small rural catchments in the Amazon*, „Engenharia Agrícola” t. 43 nr spe (2023), DOI: 10.1590/1809-4430-eng.agric.v43nepe20220144/2023, http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162023000800114&tlng=en.

³⁸³ D. Borkowski, M. Majdak, *Small Hydropower Plants with Variable Speed Operation—An Optimal Operation Curve Determination*, „Energies” t. 13 nr 23 (2020), DOI: 10.3390/en13236230, <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/23/6230>.

³⁸⁴ Y. Nishi i in., *Study on an Undershot Cross-Flow Water Turbine with Straight Blades*, „International Journal of Rotating Machinery” t. 2015 (2015), DOI: 10.1155/2015/817926, <https://www.hindawi.com/journals/ijrm/2015/817926/>.

³⁸⁵ J.C. Alberizzi i in., *Speed and Pressure Controls of Pumps-as-Turbines Installed in Branch of Water-Distribution Network Subjected to Highly Variable Flow Rates*, „Energies” t. 12 nr 24 (2019), DOI: 10.3390/en12244738, <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/24/4738>.

³⁸⁶ S.K. Singal, R.P. Saini, C.S. Raghuvanshi, *Optimization of low-head, dam-toe, small hydropower projects*, „Journal of Renewable and Sustainable Energy” t. 2 nr 4 (2010), DOI:

Współczesne podejście do hydroenergetyki coraz częściej wykorzystuje koncepcję nexus woda–energia, opisującą wzajemne zależności między systemami wodnymi a produkcją energii. Włączenie tej perspektywy w planowanie polityk środowiskowych i energetycznych pozwala identyfikować synergie oraz kompromisy między bezpieczeństwem wodnym, energetycznym i ekologicznym, co sprzyja zrównoważonemu rozwojowi. Kompleksowe planowanie, uwzględniające aspekty środowiskowe, techniczne i społeczne, sprzyja harmonijnemu wkomponowaniu MEW w otoczenie. Pozwala to równoważyć potrzeby środowiskowe, gospodarcze i społeczne, wspierając bardziej kompleksowy model rozwoju zrównoważonego³⁸⁷.

3.3.2. Zużycie wody w elektrowniach geotermalnych

Elektrownie geotermalne wchodzą w złożone relacje z lokalnymi zasobami wodnymi poprzez pobór i zatłaczanie płynów geotermalnych, obieg kondensatu oraz zapotrzebowanie na wodę do chłodzenia. Intensywność zużycia wody oraz ślad środowiskowy tych instalacji zależą w dużym stopniu od zastosowanej technologii wytwarzania (cykle upustowe, suche parowe, binarne) i od rodzaju systemu chłodzenia – mokrego, w którym woda odgrywa kluczową rolę w procesie kondensacji, lub powietrznego, o znacznie mniejszym zapotrzebowaniu na wodę. Badania prowadzone w aktywnych prowincjach geotermalnych wskazują, że elektrownie chłodzone wodą wymagają większych poborów wody słodkiej i generują ścieki wymagające oczyszczania oraz bezpiecznego odprowadzania, aby zapobiec zanieczyszczeniu wód powierzchniowych i gruntowych. Z kolei systemy chłodzenia powietrznego znacząco ograniczają zużycie wody, choć wiąże się to z niewielkimi stratami sprawności. Z tego względu dobór odpowiedniej technologii chłodzenia oraz zaprojektowanie wiarygodnych systemów zatłaczania zużytych płynów geotermalnych ma kluczowe znaczenie dla ograniczania wpływu takich instalacji na jakość i dostępność wody w danym obszarze³⁸⁸.

Wytwarzanie energii elektrycznej z geotermii charakteryzuje się szerokim zakresem oddziaływań na zasoby wodne, uzależnionym także od typu złoża wysokotemperaturowego bądź niskotemperaturowego, zastosowanej technologii konwersji oraz praktyk eksploatacyjnych, takich jak zatłaczanie, kaskadowe wykorzystanie ciepła czy ponowne użycie zużytej wody. W dobrze zaprojektowanych i prawidłowo eksploatowanych instalacjach o obiegu zamkniętym, z pełnym zatłaczaniem płynów oraz suchym lub hybrydowym chłodzeniem, zużycie wody słodkiej może być relatywnie niskie w porównaniu z innymi technologiami termicznymi. Jednak niewłaściwe zarządzanie odwiertami, płynami geotermalnymi

10.1063/1.3464755, <https://pubs.aip.org/jrse/article/2/4/043109/280184/Optimization-of-low-head-dam-toe-small-hydropower>.

³⁸⁷ P. Sieg, *Barriers and management practices for small hydropower: The case of the Kujawsko-Pomorskie Region in Poland's green energy transition*, „Acta Scientiarum Polonorum Administratio Locorum” t. 25 nr 1 (2026), DOI: 10.31648/aspal.11617, <https://czasopisma.uwm.edu.pl/index.php/aspal/article/view/11617>.

³⁸⁸ M. Ozcelik, *Environmental and Social Impacts of the Increasing Number of Geothermal Power Plants (Büyük Menderes Graben - Turkey)*, 16 maja 2021 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-427548/v1>.

czy ich odprowadzaniem może prowadzić do wyczerpania lub zanieczyszczenia lokalnych zasobów wód słodkich i powodować poważne skutki społeczne w regionach dotkniętych deficytem wody. W literaturze technicznej problem ten określa się jako zagadnienie zarządzania kontekstowego, możliwe do rozwiązania poprzez zestaw decyzji inżynierskich (dobór cyklu binarnego, kondensatorów powietrznych, systemów zatłaczania, kaskadowe wykorzystanie ciepła i odzysk energii odpadowej), działań operacyjnych (kontrola przepływów, monitorowanie zatłaczania) oraz środków zarządzania i nadzoru³⁸⁹. W niektórych przypadkach energia geotermalna może być nawet wykorzystywana do wytwarzania wody słodkiej – na przykład poprzez procesy odsalania lub odzysk kondensatu³⁹⁰.

W badaniach Sowiżdżał i in. podkreślono, że wykorzystanie energii geotermalnej w Polsce przynosi znaczące korzyści środowiskowe, ale jednocześnie wymaga ostrożnego zarządzania zasobami wód podziemnych, z których energia ta jest pozyskiwana. Autorzy przedstawiają geotermię jako źródło czyste i niskoemisyjne, które przyczynia się do ograniczenia zanieczyszczeń powietrza, a przez to – pośrednio – do poprawy zdrowia i jakości życia mieszkańców. Jednocześnie zwracają uwagę, że proces pozyskiwania i wykorzystywania wód geotermalnych może wpływać na środowisko wodne i gruntowe, jeśli nie jest odpowiednio kontrolowany. Największe potencjalne oddziaływania dotyczą fazy wiercen i eksploatacji złóż, podczas których może dojść do skażenia wód podziemnych w wyniku awarii lub błędów technologicznych. Nadmierna eksploatacja może z kolei prowadzić do obniżenia ciśnienia w złożu, spadku wydajności ujęcia, a nawet deformacji terenu (osuwisk, zapadania się gruntu), co obserwowano m.in. w polach geotermalnych Nowej Zelandii. Z kolei niewłaściwie zaprojektowane zatłaczanie chłodnych wód może prowadzić do ochłodzenia złoża i tzw. efektu „cold front breakthrough”, czyli obniżenia temperatury w rezerwarze³⁹¹.

W świetle obowiązujących w Polsce przepisów³⁹² zatłaczanie zużytych wód z powrotem do złoża jest najkorzystniejszym i formalnie wymaganym sposobem ich zagospodarowania, zwłaszcza przy wodach silnie zmineralizowanych

³⁸⁹ D. Moya, C. Aldás, P. Kaparaju, *Geothermal energy: Power plant technology and direct heat applications*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” t. 94 (2018), DOI: 10.1016/j.rser.2018.06.047, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032118304830>.

³⁹⁰ F. Montesdeoca-Martínez, S. Velázquez-Medina, *Integration of a Geothermal Plant in a System with High Renewable Energy Penetration for Desalination Plant Self-Consumption*, „Journal of Marine Science and Engineering” t. 11 nr 2 (2023), DOI: 10.3390/jmse11020353, <https://www.mdpi.com/2077-1312/11/2/353>; G. Yu, Z. Yu, *Research on a Coupled Total-Flow and Single-Flash (TF-SF) System for Power and Freshwater Generation from Geothermal Source*, „Applied Sciences” t. 10 nr 8 (2020), DOI: 10.3390/app10082689, <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/8/2689>.

³⁹¹ A. Sowiżdżał i in., *Could geothermal water and energy use improve living conditions? Environmental effects from Poland*, „Archives of Environmental Protection” (2023), DOI: 10.24425/aep.2019.127985, <https://journals.pan.pl/dlibra/publication/127985/edition/111664/content>.

³⁹² Dziennik Ustaw - rok 2018 poz. 1722, *Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. o zmianie ustawy – Prawo wodne oraz niektórych innych ustaw*, (2018).

(TDS>3g/l). Odprowadzanie takich wód do cieków powierzchniowych dopuszcza się jedynie po spełnieniu rygorystycznych norm jakości – dotyczących mineralizacji, zawartości chlorków, siarczanów, metali ciężkich oraz temperatury, aby nie szkodziły ekosystemom wodnym³⁹³.

Przy właściwym zatłaczaniu i monitoringu jakości ścieków geotermalnych wpływ instalacji na środowisko wodne jest minimalny. Przestrzeganie wymagań pozwoleń wodnoprawnych pozwala zachować dobry stan ilościowy i jakościowy wód powierzchniowych. Badania monitoringowe w rejonach zrzutu wód (np. Chochółów, Podhale) potwierdzają, że właściwe postępowanie eliminuje ryzyko przekroczeń parametrów środowiskowych i nie narusza celów Ramowej Dyrektywy Wodnej³⁹⁴. Z kolei wpływ instalacji geotermalnych na krajobraz i środowisko gruntowe uznano za ograniczony i krótkotrwały, głównie w fazie wiercen (pojawienie się wież i sprzętu technicznego). W długim okresie ingerencja w krajobraz jest minimalna – szczególnie w przypadku instalacji ciepłowniczych zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie zabudowy, gdzie minimalizuje się straty energii i ogranicza zajęcie terenu. W porównaniu z innymi technologiami energetycznymi, geotermia jest bardzo „kompaktowa” – wymaga nawet 30–50 razy mniejszej powierzchni niż energetyka węglowa czy słoneczna. Sowiżdżał i współautorzy wskazują, że geotermia ma korzystny bilans środowiskowy, o ile jest prowadzona w zgodzie z zasadami zrównoważonego gospodarowania wodami. Największe znaczenie mają tu: stosowanie systemów zamkniętych (closed-loop), zatłaczanie zużytej wody do złoża, bieżący monitoring jakości wód i szczelności instalacji oraz przestrzeganie przepisów wodnoprawnych i środowiskowych. Przy spełnieniu tych warunków geotermia przyczynia się do ochrony zasobów wodnych, ograniczenia emisji zanieczyszczeń i poprawy jakości życia, stając się istotnym elementem proekologicznej polityki energetycznej³⁹⁵.

3.3.3. Zużycie wody w elektrowniach biomasowych

W kontekście energetyki opartej na biomase woda stanowi jeden z kluczowych zasobów produkcyjnych, ponieważ wpływa zarówno na efektywność technologiczną wytwarzania energii, jak i na całkowity ślad środowiskowy tego procesu. Wraz ze wzrostem globalnej mocy wytwórczej rośnie także ślad wodny energetyki, czyli ilość wody potrzebnej do produkcji energii. Biomasa, jako jedno z głównych źródeł odnawialnych energii dyspozycyjnej, zwłaszcza w Unii Europejskiej, zwiększa zapotrzebowanie na dokładne i transparentne bilansowanie

³⁹³ A. Operacz, *Wstępna ocena wpływu odprowadzania zużytych wód termalnych z kompleksu „Chochółowskie Termy” na jakość wód Czarnego Dunajca*, „GAZ, WODA I TECHNIKA SANITARNA” t. 1 nr 11 (2018), DOI: 10.15199/17.2018.11.4, <http://sigma-not.pl/publikacja-117146-2018-11.html>.

³⁹⁴ pp. 1–73 Dz.U. L 327 z 22.12.2000, *Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej*, (2000).

³⁹⁵ A. Sowiżdżał i in., *Could geothermal water and energy use improve living conditions? Environmental effects from Poland...*

zużycia wody w ramach regionalnego planowania zasobów wodnych i energetycznych³⁹⁶.

Analizy cyklu życia pokazują, że największe zużycie wody w łańcuchu biomasy ma miejsce na etapie produkcji surowca – w rolnictwie i przetwórstwie. Woda wykorzystywana do nawadniania upraw energetycznych lub w procesach wstępnej obróbki (np. przy produkcji biopaliw ciekłych) często stanowi dominujący składnik całkowitego śladu wodnego. Z tego względu ograniczenie presji na zasoby wodne wymaga preferowania upraw deszczowych oraz wykorzystania pozostałości rolnych lub biomasy z obszarów suchych, gdzie nie ma potrzeby intensywnego nawadniania³⁹⁷.

W elektrowniach biomasowych woda wykorzystywana jest także w wielu innych etapach procesu wytwarzania energii, a dokładne określenie tych strumieni jest niezbędne do pełnego oszacowania całkowitego zapotrzebowania wodnego instalacji. Do głównych kierunków jej przepływu należą: chłodzenie – obejmujące pracę skraplaczy i układów pomocniczych oraz związane z tym uzupełnianie wody; oczyszczanie spalin, w szczególności poprzez mokre odsiarczanie spalin (WFGD); woda procesowa i pomocnicza wykorzystywana do zasilania kotłów, płukania, obróbki popiołu czy transportu szlamu; przygotowanie paliwa, w tym mycie i mokre przetwarzanie biomasy lub popiołów. Badania wskazują, że technologia chłodzenia oraz WFGD stanowią kluczowe czynniki determinujące wielkość zużycia wody w samym procesie wytwarzania energii³⁹⁸.

W przypadku elektrowni biomasowych zużycie wody jest w dużym stopniu determinowane przez właściwości samego surowca. Biomasa charakteryzuje się zwykle wysoką wilgotnością, niską gęstością energetyczną oraz zmiennym składem popiołu, co bezpośrednio wpływa na efektywność procesów spalania i potrzebę dodatkowych zabiegów technologicznych. Wysoka zawartość wody w biomase obniża sprawność spalania, jeśli paliwo nie zostanie wcześniej wysuszone lub uszlachetnione. W efekcie, aby wytworzyć tę samą ilość energii, elektrownia musi spalić większą ilość surowca, co przekłada się na wyższe zapotrzebowanie na wodę w procesach pomocniczych. Dodatkowo spalanie wilgotnej biomasy prowadzi do powstawania większej ilości popiołów i zanieczyszczeń, które wymagają intensywnego płukania, mokrej ekstrakcji lub przetwarzania w systemach odsiarczania spalin – procesów bardzo chłonnych wodnie, zwłaszcza w przypadku spalania odpadów rolniczych czy mieszanek współspalanych³⁹⁹.

³⁹⁶ J. Menéndez, J. Loredó, *An economic assessment of lignocellulosic biomass power plants*, „E3S Web of Conferences” t. 191 (2020), DOI: 10.1051/e3sconf/202019102003, <https://www.e3s-conferences.org/10.1051/e3sconf/202019102003>.

³⁹⁷ S. Amaducci i in., *Biomass production and energy balance of herbaceous and woody crops on marginal soils in the Po Valley*, „GCB Bioenergy” t. 9 nr 1 (2017), DOI: 10.1111/gcbb.12341, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcbb.12341>.

³⁹⁸ J. Macknick i in., *Review of Operational Water Consumption and Withdrawal Factors for Electricity Generating Technologies*, 1 marca 2011 r., <https://www.osti.gov/servlets/purl/1009674/>.

³⁹⁹ W.-H. Chen, J. Peng, X.T. Bi, *A state-of-the-art review of biomass torrefaction, densification and applications*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” t. 44 (2015),

Z tego względu w wielu instalacjach stosuje się procesy wstępnego przetwarzania biomasy, takie jak torrefakcja (termiczne podsuszenie) lub zagęszczanie, które pozwalają usunąć nadmiar wilgoci i zwiększyć wartość opałową paliwa. Tego typu modernizacje ograniczają masę przetwarzanego surowca, zmniejszają tendencję do powstawania mokrego popiołu i żużla, a w konsekwencji – redukują ilość wody potrzebnej w całym procesie energetycznym⁴⁰⁰. Badania nad efektywnością elektrowni biomasowych potwierdzają, że poprawa jakości surowca oraz jego właściwe przygotowanie mogą istotnie zmniejszyć zużycie wody na jednostkę wytworzonej energii (MWh). Dzieje się tak dzięki ograniczeniu wykorzystania materiałów pomocniczych i zmniejszeniu ilości odpadów wymagających mokrej obróbki⁴⁰¹.

Proces oczyszczania spalin i utylizacji popiołu w elektrowniach biomasowych ma istotne znaczenie dla bilansu wodnego całej instalacji. W sytuacjach, gdy biomasa jest współspalana z węglem lub gdy przepisy środowiskowe wymagają kontroli emisji dwutlenku siarki (SO₂), stosuje się zwykle mokre systemy odsiarczania spalin. Są one jednak bardzo wodochłonne, ponieważ pracują w układach recyrkulacyjnych, w których konieczne jest ciągle uzupełnianie cieczy roboczej. W efekcie mogą one odpowiadać za znaczną część całkowitego zużycia wody w zakładach, w których są zainstalowane⁴⁰².

Z drugiej strony, wiele rodzajów biomasy zawiera znacznie mniej siarki niż węgiel, co oznacza, że w instalacjach spalających wyłącznie biomasę potrzeba intensywnego odsiarczania może być znacznie mniejsza lub całkowicie zbędna. W konsekwencji prowadzi to do ograniczenia jednostkowego zużycia wody, zwłaszcza w porównaniu z elektrowniami węglowymi⁴⁰³.

Poza samym procesem odsiarczania, również inne technologie mokrego oczyszczania – takie jak mechaniczno-niekatalityczna ekstrakcja popiołu lub usuwanie zanieczyszczeń z gazów spalinowych – wymagają użycia znacznych ilości wody procesowej i generują ścieki przemysłowe, które muszą być odpowiednio zagospodarowane. Badania wskazują, że choć tego typu systemy mogą przynosić korzyści, np. poprawę jakości popiołu i możliwości jego dalszego wykorzystania, to

DOI: 10.1016/j.rser.2014.12.039,
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032114010910>.

⁴⁰⁰ A.H. Awang i in., *Integration Analysis of Torrefied Empty Fruit Bunch as Feedstock to Biomass-Based Power Generation Plants*, „Chemical Engineering & Technology” t. 46 nr 12 (2023), DOI: 10.1002/ceat.202200609,
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ceat.202200609>.

⁴⁰¹ F.J. Simioni i in., *Eco-efficiency in the transformation of forest biomass residues in electrical energy*, „Clean Technologies and Environmental Policy” t. 23 nr 5 (2021), DOI: 10.1007/s10098-021-02039-6, <https://link.springer.com/10.1007/s10098-021-02039-6>.

⁴⁰² Y.Y. Xiong, Y.Y. Liu, H.Z. Tan, *Effect of Operational Parameters of Wet Flue Gas Desulfurization on Water Consumption*, „Advanced Materials Research” t. 726–731 (2013), DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.726-731.2026, <https://www.scientific.net/AMR.726-731.2026>.

⁴⁰³ W.-H. Chen, J. Peng, X.T. Bi, *A state-of-the-art review of biomass torrefaction, densification and applications...*

równocześnie zwiększają zapotrzebowanie na wodę i wymagają skutecznego zarządzania obiegiem cieczy w zakładzie⁴⁰⁴.

Znaczące korzyści w ograniczaniu zużycia wody może przynieść również integracja procesów cieplnych i zwiększanie ogólnej efektywności energetycznej poprzez wykorzystanie technologii wspomagających, takich jak podgrzewanie słoneczne. Tego rodzaju rozwiązania zmniejszają zapotrzebowanie na parę technologiczną i podnoszą sprawność cyklu, co przekłada się na niższe zużycie wody w przeliczeniu na jednostkę wytworzonej energii⁴⁰⁵. Postęp technologiczny umożliwia także wdrażanie cyfrowych systemów zarządzania wodą, opartych na architekturach cyberfizycznych i obliczeniach w chmurze. Umożliwiają one bieżące monitorowanie i optymalizację procesów zaopatrzenia, uzdatniania oraz ponownego wykorzystania wody, co redukuje niepotrzebne straty i poprawia efektywność operacyjną⁴⁰⁶.

Wdrażanie działań ograniczających zużycie wody w elektrowniach biomasowych wymaga uwzględnienia zarówno uwarunkowań ekonomicznych, jak i lokalnych czynników środowiskowych – w szczególności dostępności zasobów wodnych oraz zasad ich zarządzania. Analizy ekonomiczne wskazują, że skala instalacji, logistyka paliwowa i sposób zaprojektowania zakładu w dużym stopniu determinują zarówno koszty operacyjne, jak i możliwość wprowadzenia modernizacji, w tym integracji procesów wstępnego oczyszczania. W praktyce to właśnie lokalna dostępność wody oraz presja regulacyjna kształtują wybory technologiczne – przykładowo, w regionach o deficycie wody preferowane są systemy chłodzenia suchego⁴⁰⁷.

Wpływ odnawialnych źródeł energii na zasoby wodne jest silnie zróżnicowany przestrzennie, a skutki ich wdrażania zależą od lokalnych warunków hydrologicznych, klimatycznych i glebowych. Badania dotyczące wielkoobszarowych plantacji bioenergetycznych – takich jak uprawy eukaliptusa czy drzew szybko rosnących o krótkiej rotacji – wskazują, że efekty hydrologiczne mogą być bardzo różne w zależności od regionu. W niektórych obszarach intensywna uprawa biomasy prowadzi do spadku poziomu wód gruntowych i zmniejszenia przepływów w ciekach powierzchniowych, podczas gdy w innych wpływ ten jest

⁴⁰⁴ J.-H. Park i in., *Mechano-Noncatalytic Wet Treatment Method for Extracting Ash from Biomass at Room Temperature and Its Effect on Ash Behaviors*, „ACS Sustainable Chemistry & Engineering” t. 11 nr 40 (2023), DOI: 10.1021/acssuschemeng.3c01913, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.3c01913>.

⁴⁰⁵ A. Ghazarian i in., *Thermodynamic simulation of a hybrid thermo-solar externally fired gas turbine power plant fueled with biomass* [w:] 2018.

⁴⁰⁶ P. Kungwalrut i in., *Improving the Efficiency of Water Management System in Biomass Power Plant Using Cyber-Physical Cloud Computing*, „International Journal of Intelligent Engineering and Systems” t. 11 nr 4 (2018), DOI: 10.22266/ijies2018.0831.19, <http://www.inass.org/2018/2018083119.pdf>.

⁴⁰⁷ J. Menéndez, J. Loredó, *An economic assessment of lignocellulosic biomass power plants...*

znacznie słabszy i zależy głównie od sezonowości opadów oraz zdolności retencyjnych gleby⁴⁰⁸.

W ujęciu globalnym badania podkreślają, że „zielona woda” – czyli wilgotność gleby i ewapotranspiracja pochodząca z opadów – stanowi ograniczony zasób determinujący możliwość rozwoju bioenergii na lądzie. Nadmierne wykorzystanie tej wody może prowadzić do konfliktu z potrzebami rolnictwa i funkcjonowaniem ekosystemów, dlatego w planowaniu przestrzennym bioenergii konieczne jest ustalanie limitów przywłaszczania zasobów zielonej wody oraz ich ścisła kontrola⁴⁰⁹.

Modele klimatyczno-hydrologiczne sugerują ponadto, że zmiany pokrycia terenu wynikające z rozwoju upraw bioenergetycznych mogą wpływać na lokalne cykle opadów i tworzyć regionalne sprzężenia zwrotne klimatu, co dodatkowo komplikuje zarządzanie wodą. Zjawiska te nie zastępują jednak działań lokalnych, lecz podkreślają potrzebę zintegrowanego podejścia do ochrony zasobów wodnych w kontekście planowania energetyki odnawialnej⁴¹⁰. Mimo nieuniknionych kompromisów między produkcją bioenergii, zużyciem wody a ochroną bioróżnorodności, odpowiednie planowanie przestrzenne i ograniczanie przywłaszczania tzw. „zielonej wody” pozwalają minimalizować negatywne skutki. Co więcej, dobrze zaprojektowane systemy bioenergetyczne mogą przynosić dodatkowe korzyści środowiskowe, takie jak rekultywacja gleb czy sekwestracja węgla⁴¹¹.

Zużycie wody w energetyce opartej na biomasie ma wielowymiarowy charakter. Z jednej strony obejmuje wodę operacyjną, zużywaną głównie w procesach chłodzenia i oczyszczania spalin, z drugiej – tzw. wodę „upstream”, czyli wykorzystywaną na wcześniejszych etapach cyklu życia paliwa, zwłaszcza do

⁴⁰⁸ A. Heidari i in., *Spatially variable hydrologic impact and biomass production tradeoffs associated with Eucalyptus (E. grandis) cultivation for biofuel production in Entre Rios, Argentina*, „GCB Bioenergy” t. 13 nr 5 (2021), DOI: 10.1111/gcbb.12815, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcbb.12815>; J.F. Schyns, D. Vanham, *The Water Footprint of Wood for Energy Consumed in the European Union*, „Water” t. 11 nr 2 (2019), DOI: 10.3390/w11020206, <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/2/206>.

⁴⁰⁹ P. D’Odorico i in., *The Global Food-Energy-Water Nexus*, „Reviews of Geophysics” t. 56 nr 3 (2018), DOI: 10.1029/2017RG000591, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2017RG000591>; J.F. Schyns i in., *Limits to the world’s green water resources for food, feed, fiber, timber, and bioenergy*, „Proceedings of the National Academy of Sciences” t. 116 nr 11 (2019), DOI: 10.1073/pnas.1817380116, <https://pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1817380116>.

⁴¹⁰ S. Dangol i in., *Impacts of Bioenergy Crop Cultivation on Regional Climate, Hydrology, and Water Quality in the U.S. Northern High Plains*, „Water Resources Research” t. 61 nr 2 (2025), DOI: 10.1029/2024WR037782, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2024WR037782>; Z. Li i in., *Increased precipitation over land due to climate feedback of large-scale bioenergy cultivation*, „Nature Communications” t. 14 nr 1 (2023), DOI: 10.1038/s41467-023-39803-9, <https://www.nature.com/articles/s41467-023-39803-9>.

⁴¹¹ D. Leela i in., *Building a bioenergy system towards a circular bioeconomy in Africa*, „IOP Conference Series: Earth and Environmental Science” t. 1338 nr 1 (2024), DOI: 10.1088/1755-1315/1338/1/012059, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1338/1/012059>.

nawadniania upraw energetycznych i mokrego przetwarzania biopaliw ciekłych. Oba te komponenty znacząco wpływają na całkowity ślad wodny wytwarzania energii z biomasy. Najskuteczniejsze ograniczenie presji wodnej można osiągnąć poprzez zintegrowane podejście technologiczne – obejmujące wdrożenie systemów chłodzenia o niskim zużyciu wody, wykorzystanie surowców nienawadnianych, procesy torrefakcji lub zagęszczania, łączenie technologii ciepłych z energią słoneczną oraz zastosowanie cyfrowych systemów zarządzania wodą. Współdziałanie tych elementów pozwala znacząco zmniejszyć ilość wody potrzebnej do wytworzenia jednostki energii elektrycznej z biomasy.

3.3.4. Ochrona zasobów wodnych a rozwój OZE

Zrównoważony rozwój odnawialnych źródeł energii wymaga nie tylko minimalizowania emisji gazów cieplarnianych, lecz także racjonalnego gospodarowania zasobami wodnymi, które stanowią kluczowy komponent każdego systemu energetycznego. Woda jest niezbędna w całym cyklu życia instalacji OZE – od pozyskiwania surowców, przez procesy technologiczne, aż po eksploatację i rekultywację terenów inwestycyjnych. Dlatego ochrona zasobów wodnych staje się jednym z istotnych kryteriów oceny środowiskowej transformacji energetycznej.

Znaczna część technologii OZE, zwłaszcza biomasa, geotermia i energetyka wodna, wykazuje bezpośrednie lub pośrednie powiązania z zasobami wodnymi. W przypadku energetyki biomasowej, woda wykorzystywana jest zarówno w fazie uprawy surowca (nawadnianie), jak i w procesach wytwarzania energii – głównie w chłodzeniu, oczyszczaniu spalin i obróbce popiołu. Z kolei instalacje geotermalne oddziałują na środowisko wodne poprzez pobór i zatłaczanie wód podziemnych, co wymaga stałego monitoringu ich jakości i ilości, aby uniknąć degradacji chemicznej i zmian ciśnienia w złożu⁴¹².

Geotermia zużywa znacznie mniej wody niż energetyka węglowa czy jądrowa, ale jej wpływ na zasoby wodne zależy od rodzaju systemu i warunków lokalnych. W systemach otwartych, gdzie woda termalna nie jest w pełni zatłaczana z powrotem do złoża, istnieje ryzyko obniżenia poziomu wód podziemnych lub ich zanieczyszczenia. W systemach zamkniętych, opartych na pełnej recykulacji czynnika roboczego, zagrożenie to jest minimalne – płyn geotermalny jest ponownie wtryskiwany do złoża. Kluczowe znaczenie ma jednak stały monitoring środowiskowy obejmujący kontrolę jakości wód, pomiary emisji gazowych oraz obserwację mikrosejsmiki, co pozwala szybko wykrywać i ograniczać ryzyko operacyjne. Dzięki takim rozwiązaniom geotermia uznawana jest za jedno z najbezpieczniejszych i najbardziej przyjaznych środowisku źródeł energii, przy czym jej oddziaływania mają głównie charakter lokalny, a nie globalny⁴¹³.

W obu przypadkach – geotermia oraz biomasa - zastosowanie nowoczesnych rozwiązań umożliwia znaczne ograniczenie zużycia wody słodkiej oraz ryzyka

⁴¹² J. Macknick i in., *Review of Operational Water Consumption and Withdrawal Factors for Electricity Generating Technologies...*

⁴¹³ M. Kaczmarczyk, A. Sowizdzał, *Environmental and Social Dimensions of Energy Transformation Using Geothermal Energy*, „Energies” t. 18 nr 13 (2025), DOI: 10.3390/en18133565, <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/13/3565>.

zanieczyszczenia. W przeciwieństwie do technologii cieplnych, źródła nietermiczne, takie jak wiatr i energia słoneczna, wymagają jedynie symbolicznych ilości wody w fazie eksploatacji, co czyni je najmniej wodochłonnymi spośród wszystkich typów instalacji energetycznych⁴¹⁴.

W ujęciu prawnym i instytucjonalnym ochrona wód w kontekście energetyki odnawialnej jest regulowana przez Ramową Dyrektywę Wodną⁴¹⁵ oraz Ustawę Prawo Wodne⁴¹⁶, które nakładają obowiązek prowadzenia gospodarki wodnej zgodnie z zasadą zrównoważonego użytkowania. Kluczowe znaczenie ma tu zarządzanie zasobami w układzie dorzeczy, ocena oddziaływania inwestycji na cele środowiskowe oraz wymóg utrzymania dobrego stanu wód. Inwestycje OZE podlegają więc obowiązkowi uzyskania pozwolenia wodnoprawnego oraz spełnienia wymogów w zakresie jakości ścieków, emisji termicznych i bilansu hydrologicznego.

W obliczu globalnej transformacji energetycznej oraz konieczności redukcji emisji gazów cieplarnianych coraz większą uwagę poświęca się rozwojowi technologii wodorowych. Zielony wodór, wytwarzany z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii, jest postrzegany jako jedno z kluczowych ogniw przyszłej gospodarki niskoemisyjnej – pozwalając na magazynowanie energii, stabilizację systemów OZE i dekarbonizację sektorów przemysłowych. Wraz z rosnącym zainteresowaniem tym paliwem pojawiły się jednak pytania o jego wpływ na zasoby wodne, gdyż elektroliza wymaga użycia czystej wody jako surowca. Najbardziej aktualne analizy wskazują jednak, że skalę zużycia wody przez gospodarkę wodorową należy uznać za nieistotną w ujęciu globalnym. Nawet przy produkcji ok. 2,3 Gt H₂ rocznie zapotrzebowanie wyniosłoby zaledwie 1,5 ppm światowych zasobów słodkiej wody. Co więcej, energetyka wodorowa zużywałaby ponad 30 razy mniej wody niż technologie oparte na paliwach kopalnych, a ewentualne wykorzystanie wody morskiej po odsalaniu nie stanowiłoby znaczącego obciążenia energetycznego ani kosztowego. W konsekwencji, zielony wodór nie stanowi zagrożenia dla globalnych zasobów wodnych, a jego rozwój może sprzyjać budowie bardziej zrównoważonego i odpornego systemu energetycznego⁴¹⁷.

Ponowne wykorzystanie wody, pozyskiwanie alternatywnych źródeł oraz cyfryzacja systemów zarządzania stanowią obecnie kluczowe kierunki ograniczania presji sektora energetycznego na zasoby wodne. Recykling wody procesowej i ścieków przemysłowych – w tym kondensatów pochodzących ze spalarni, wód

⁴¹⁴ J. Macknick i in., *Review of Operational Water Consumption and Withdrawal Factors for Electricity Generating Technologies...*

⁴¹⁵ pp. 1–73 Dz.U. L 327 z 22.12.2000, *Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej...*

⁴¹⁶ Dziennik Ustaw - rok 2018 poz. 1722, *Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. o zmianie ustawy – Prawo wodne oraz niektórych innych ustaw...*

⁴¹⁷ R.R. Beswick, A.M. Oliveira, Y. Yan, *Does the Green Hydrogen Economy Have a Water Problem?*, „ACS Energy Letters” t. 6 nr 9 (2021), DOI: 10.1021/acsenergylett.1c01375, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsenergylett.1c01375>; J. Rey, F. Segura, J. Andújar, *Green Hydrogen: Resources Consumption, Technological Maturity, and Regulatory Framework*, „Energies” t. 16 nr 17 (2023), DOI: 10.3390/en16176222, <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/17/6222>.

obiegowych z mokrych systemów odsiarczania spalin czy oczyszczonych ścieków komunalnych – pozwala istotnie ograniczyć pobór i zużycie wody słodkiej, o ile umożliwiają to obowiązujące przepisy oraz wymogi jakościowe⁴¹⁸.

Coraz większe znaczenie zyskuje również wykorzystanie zasobów wodnych innych niż słodkie, takich jak wody słonawe, odzyskane lub pochodzące z procesów przemysłowych, które mogą być stosowane do nawadniania upraw energetycznych lub w obiegach technologicznych. Takie rozwiązania skutecznie zmniejszają presję na tzw. „niebieską wodę” – czyli wodę powierzchniową i podziemną, wykorzystywaną przez człowieka⁴¹⁹.

Dodatkowo rozwój cyfrowych systemów zarządzania wodą w przemyśle energetycznym umożliwia bieżące monitorowanie i optymalizację bilansów wodnych. Zastosowanie technologii opartych na analizie danych w czasie rzeczywistym pozwala na predykcyjną konserwację infrastruktury – wykrywanie i zapobieganie wyciekom, lepsze planowanie obiegów wody oraz efektywniejsze jej alokowanie w okresach deficytu. W rezultacie cyfryzacja procesów staje się jednym z najskuteczniejszych narzędzi ograniczania strat wody i podnoszenia efektywności środowiskowej systemów energetycznych⁴²⁰.

Efektywne planowanie rozwoju odnawialnych źródeł energii wymaga uwzględnienia przestrzennych i środowiskowych uwarunkowań, aby ograniczyć negatywny wpływ na zasoby wodne i ekosystemy. Jednym z kluczowych kierunków jest integracja lokalizacji instalacji bioenergetycznych z celami krajobrazowymi – w szczególności poprzez zagospodarowanie gruntów zdegradowanych lub marginalnych, które nie konkurują z rolnictwem ani nie zagrażają cennym obszarom wodnym i przyrodniczym. Takie podejście pozwala nie tylko ograniczyć presję na wodę, ale też generuje korzyści dodatkowe, jak poprawa retencji, zapobieganie erozji czy rekultywacja terenów⁴²¹.

Zrównoważone gospodarowanie wodą wymaga również zarządzania w skali dorzeczy, które umożliwia kontrolę zużycia i alokację ograniczonych zasobów między różne sektory. W tym celu stosuje się narzędzia takie jak limity śladu wodnego, wskaźniki dorzeczowe czy zasady przydziału uwzględniające pełen cykl

⁴¹⁸ J.F. Schyns, D. Vanham, *The Water Footprint of Wood for Energy Consumed in the European Union...*

⁴¹⁹ A. Mayer i in., *Modeling water-energy tradeoffs for cultivating algae for biofuels in a semi-arid region with fresh and brackish water supplies*, „Biofuels, Bioproducts and Biorefining” t. 14 nr 6 (2020), DOI: 10.1002/bbb.2137, <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bbb.2137>; Y. Wang i in., *Study on energy-food water footprint and pressure on available water resources in three northeastern provinces*, „E3S Web of Conferences” t. 528 (2024), DOI: 10.1051/e3sconf/202452802020, <https://www.e3s-conferences.org/10.1051/e3sconf/202452802020>.

⁴²⁰ P. D’Odorico i in., *The Global Food-Energy-Water Nexus...*

⁴²¹ D. Leela i in., *Building a bioenergy system towards a circular bioeconomy in Africa...*; D.G. Neary, *Impacts of Bio-Based Energy Generation Fuels on Water and Soil Resources* [w:] *Energy Systems and Environment*, InTech 2018.

życia projektów energetycznych⁴²². Niezbędna jest także koordynacja międzysektorowa i zaangażowanie interesariuszy, które zwiększają akceptację społeczną projektów i ograniczają konflikty dotyczące podziału zasobów wodnych. Procesy partycypacyjne ułatwiają przeniesienie wyników analiz technicznych na lokalne decyzje, uwzględniające potrzeby społeczne, żywnościowe i ekologiczne. Zachęty finansowe i polityczne, takie jak ulgi podatkowe, dotacje czy preferencyjne finansowanie, mogą przyspieszyć wdrażanie rozwiązań ograniczających zużycie wody, w tym chłodzenia powietrznego, torrefakcji biomasy czy recyklingu wód procesowych. Skuteczny projekt regulacyjny powinien natomiast uwzględniać kompleksowe oceny powiązań między żywnością, energią i wodą (FEW nexus) oraz promować stosowanie surowców nienawadnianych i pozostałości rolnych w systemach wsparcia. Kluczową rolę odgrywa monitorowanie i raportowanie poboru oraz zużycia wody na poziomie zakładu, co stanowi podstawę do wdrażania skutecznych instrumentów regulacyjnych i rynkowych premiujących technologie niskowodne⁴²³.

Dla skutecznego wdrażania polityk wodno-energetycznych konieczne jest doskonalenie danych hydrologicznych i standaryzacja analiz cyklu życia. Rozwój modeli zlewniowych oraz integracja modeli powiązań FEW z danymi społeczno-ekonomicznymi i opiniami interesariuszy umożliwią tworzenie lokalnie dopasowanych ścieżek transformacji energetycznej, które uwzględniają ograniczenia dotyczące wody i wspierają zrównoważony rozwój⁴²⁴.

W kontekście zarządzania strategicznego, rośnie potrzeba tworzenia spójnych polityk wodno-energetycznych, które uwzględniają lokalne warunki hydrologiczne oraz priorytety środowiskowe. Wdrażanie zasad „water-smart energy transition” oznacza, że decyzje dotyczące rozwoju poszczególnych technologii OZE powinny być podejmowane w oparciu o ocenę ich wpływu na zasoby wodne – zarówno w skali lokalnej, jak i regionalnej. Ochrona zasobów wodnych stanowi integralny element rozwoju odnawialnych źródeł energii. Odpowiedzialne gospodarowanie wodą w sektorze OZE – poprzez zastosowanie nowoczesnych technologii, monitoringu, regulacji prawnych i planowania zintegrowanego – może nie tylko ograniczyć presję środowiskową, lecz także przyczynić się do zwiększenia społecznej akceptacji i trwałości transformacji energetycznej.

3.4. ŚLAD WĘGLOWY I EMISYJNOŚĆ TECHNOLOGII OZE JAKO OBSZAR ZARZĄDZANIA ŚRODOWISKOWEGO

Analizy cyklu życia jednoznacznie wskazują, że technologie odnawialnych źródeł energii charakteryzują się wielokrotnie niższym śladem węglowym

⁴²² M.M. Mekonnen, W. Gerbens-Leenes, *The Water Footprint of Global Food Production*, „Water” t. 12 nr 10 (2020), DOI: 10.3390/w12102696, <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/10/2696>.

⁴²³ J.F. Schyns, D. Vanham, *The Water Footprint of Wood for Energy Consumed in the European Union...*

⁴²⁴ S.H. Gheewala, *Life cycle thinking in sustainability assessment of bioenergy systems*, „E3S Web of Conferences” t. 277 (2021), DOI: 10.1051/e3sconf/202127701001, <https://www.e3s-conferences.org/10.1051/e3sconf/202127701001>.

w porównaniu z systemami opartymi na paliwach kopalnych. Dane z harmonizacji przeprowadzonej przez *National Renewable Energy Laboratory* (NREL)⁴²⁵ oraz raportu *IPCC AR6 WGIII*⁴²⁶ pokazują, że emisje gazów cieplarnianych z uwzględnieniem pełnego cyklu życia (od pozyskania surowców do wycofania z eksploatacji) (ang. *cradle-to-grave*) dla wytwarzania energii elektrycznej z OZE mieszczą się zazwyczaj w przedziale 10–50 g CO₂-eq/kWh, podczas gdy w przypadku gazu ziemnego wynoszą średnio 450 g CO₂-eq/kWh, a dla węgla przekraczają 900 g CO₂-eq/kWh.

Spośród źródeł odnawialnych energia wiatrowa cechuje się najniższą emisyjnością – mediany dla farm lądowych wynoszą około 11 g CO₂-eq/kWh, a dla morskich około 13 g CO₂-eq/kWh. W przypadku fotowoltaiki wartości wahają się w granicach 35–45 g CO₂-eq/kWh, zależnie od technologii modułów i miksu energetycznego w łańcuchu dostaw. Elektrownie wodne wykazują większe zróżnicowanie (10–100 g CO₂-eq/kWh), co wynika z emisji metanu (CH₄) ze zbiorników, szczególnie w klimacie tropikalnym. Dla geotermii emisje mieszczą się w zakresie 25–45 g CO₂-eq/kWh, zależnie od głębokości odwiertów, rodzaju chłodzenia i sposobu reiniekcji. Energia z biomasy pozostaje kategorią najbardziej zmienną – od kilkudziesięciu do nawet 200 g CO₂-eq/kWh – w zależności od pochodzenia surowca, rodzaju upraw (deszczowych lub nawadnianych) oraz założeń dotyczących bilansu biogenicznego węgla⁴²⁷.

Kluczowymi źródłami emisji w cyklu życia OZE są procesy wydobywania i przetwarzania materiałów (stal, cement, aluminium, krzem) oraz budowa infrastruktury. Faza eksploatacji jest praktycznie bezemisyjna, co oznacza, że dalsza dekarbonizacja łańcuchów dostaw oraz rozwój recyklingu komponentów (np. modułów PV i łopat turbin wiatrowych) prowadzić będzie do dalszego spadku wskaźników LCA. Według danych IPCC, redukcja śladu węglowego OZE względem węgla sięga ponad 95%, a w przypadku nowoczesnych technologii fotowoltaicznych i wiatrowych nawet 98–99% w przeliczeniu na jednostkę wyprodukowanej energii elektrycznej⁴²⁸.

W przypadku bioenergii NREL wskazuje przedział od -1000 do 1300 g CO₂-eq/kWh⁴²⁹ emisji gazów cieplarnianych w całym cyklu życia, co oznacza, że w niektórych analizach cyklu życia bilans emisji gazów cieplarnianych jest netto poniżej zera. Wynika to z założeń metodycznych, zgodnie z którymi biogeniczny węgiel zawarty w biomase pochodzi z atmosferycznego CO₂ pochłoniętego w procesie fotosyntezy. W połączeniu z technologiami wychwytywania

⁴²⁵ National Renewable Energy Laboratory (NREL), *Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Electricity Generation: Update*, (2021).

⁴²⁶ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change - AR6 WGIII Chapter 06*, (2022).

⁴²⁷ Ibid.; United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), *Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Sources*, (2022).

⁴²⁸ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change - AR6 WGIII Chapter 06...*; National Renewable Energy Laboratory (NREL), *Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Electricity Generation: Update...*

⁴²⁹ National Renewable Energy Laboratory (NREL), *Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Electricity Generation: Update...*

i składowania dwutlenku węgla lub z wykorzystaniem odpadów organicznych i pozostałości rolnych, które zapobiegają emisjom metanu z rozkładu, całkowity bilans węgla może stać się ujemny. Oznacza to, że system usuwa z atmosfery więcej CO₂, niż emituje w trakcie całego cyklu życia, choć w praktyce dotyczy to jedynie wybranych konfiguracji technologicznych i specyficznych założeń analitycznych.

W tabeli 7 przedstawiano zestawienie medianowych wartości emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia (LCA) dla wybranych technologii wytwarzania energii elektrycznej. Dane zostały opracowane przez Narodowe Laboratorium Energetyki Odnawialnej na podstawie szerokiego przeglądu literatury naukowej, dostępnych raportów branżowych oraz uśrednionych szacunków z wielu analiz LCA. Zestawienie obejmuje poszczególne etapy cyklu życia instalacji — fazę budowy (One-Time Upstream), eksploatacji (Ongoing Combustion i Ongoing Non-Combustion) oraz likwidacji (One-Time Downstream) — i pozwala porównać całkowity ślad węglowy różnych technologii energetycznych, zarówno odnawialnych, jak i konwencjonalnych, w przeliczeniu na jednostkę wyprodukowanej energii elektrycznej.

Tabela 7. Mediany współczynników emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia dla technologii wytwarzania energii elektrycznej według faz cyklu życia

Technologia wytwarzania	Wydobycie surowców, produkcja komponentów, budowa	Trwale spalanie	Bieżąca eksploatacja (także transport)	Emisje po zakończeniu eksploatacji	Całkowity ślad węglowy
Odnawialne					
Biomasa	Nie podano	—	Nie podano	Nie podano	52
Fotowoltaika	~28	—	~10	~5	43
Energia słoneczna skupiona (CSP)	20	—	10	0,53	28
Geotermia	15	—	6,9	0,12	37
Hydroenergetyka	6,2	—	1,9	0,004	21
Energia oceaniczna	Nie podano	—	Nie podano	Nie podano	8
Energia wiatrowa	12	—	0,74	0,34	13
Magazynowanie					
Elektrownie szczytowo-pompowe	3	—	1,8	0,07	7,4
Baterie litowo-jonowe	32	—	Nie podano	3,4	33
Magazynowanie wodoru	27	—	2,5	1,9	38
Nieodnawialne					

Energia jądrowa	2	—	12	0,7	13
Gaz ziemny	0,8	389	71	0,02	486
Ropa naftowa	Nie podano	Nie podano	Nie podano	Nie podano	840
Węgiel	<5	1010	10	<5	1001

Źródło: NREL

Ślad węglowy odnawialnych źródeł energii pozostaje niski i systematycznie maleje dzięki postępowi technologicznemu oraz dekarbonizacji przemysłu. Utrzymanie tego trendu wymaga jednak pełnego raportowania danych LCA, ujednolicenia metod pomiaru emisji w całym cyklu życia oraz uwzględniania czynników regionalnych i materiałowych, które mogą wpływać na ostateczny bilans środowiskowy instalacji OZE⁴³⁰. Choć analiza śladu węglowego instalacji OZE potwierdza ich znacząco niższy wpływ na emisję gazów cieplarnianych w porównaniu z technologiami konwencjonalnymi, to pełna ocena ich zrównoważenia środowiskowego wymaga również uwzględnienia problemów związanych z końcową fazą cyklu życia, czyli rekultywacją i utylizacją instalacji OZE.

3.5. REKULTYWACJA I UTYLIZACJA INSTALACJI OZE JAKO OBSZAR ODPOWIEDZIALNOŚCI ŚRODOWISKOWEJ PRZEDSIĘBIORSTW

Rekultywacja i utylizacja instalacji odnawialnych źródeł energii stanowią istotny, choć często niedoszacowany element ich całkowitych kosztów środowiskowych. Wraz ze starzeniem się pierwszej generacji farm fotowoltaicznych i wiatrowych coraz wyraźniej ujawnia się problem zagospodarowania zużytych komponentów, których demontaż, recykling i ponowne wykorzystanie materiałów wymagają odpowiednich technologii oraz ram prawnych. Oceniając wpływ OZE na środowisko konieczne jest również uwzględnienie skutków środowiskowych końcowej fazy cyklu życia instalacji, obejmującej procesy likwidacji, odzysku surowców i rekultywacji terenów poeksploatacyjnych.

Recykling łopat turbin wiatrowych stanowi jedno z kluczowych wyzwań zrównoważonego rozwoju energetyki wiatrowej, wynikające z ich złożonej struktury kompozytowej opartej na żywicach termoutwardzalnych (głównie epoksydowych lub poliestrowych) wzmocnionych włóknami szklanymi, które stanowią około 60% masy elementu. Globalne prognozy wskazują na kumulację 43 milionów ton odpadów z łopat wycofanych z eksploatacji do 2050 roku, co podkreśla pilną potrzebę opracowania efektywnych technologii zamykających obieg materiałów w sektorze

⁴³⁰ N. Cruz-Pérez i in., *A comparison between carbon footprint of water production facilities in the Canary Islands: groundwater resources vs. seawater desalination*, „Sustainable Water Resources Management” t. 8 nr 4 (2022), DOI: 10.1007/s40899-022-00706-0, <https://link.springer.com/10.1007/s40899-022-00706-0>; S.H. Gheewala, *Life cycle thinking in sustainability assessment of bioenergy systems...*

odnawialnych źródeł energii⁴³¹. Obecnie 85–90% takich odpadów trafia na składowiska ze względu na wysokie koszty i ograniczoną efektywność dostępnych metod recyklingu. Problem potęgują rosnące moce instalowane (ok. 90 GW rocznie od 2020 r.) oraz trend do coraz większych łopat, które zawierają więcej materiału i są trudniejsze logistycznie do demontażu i przetworzenia⁴³².

Andersen i in. wyróżniają dwie zasadnicze ścieżki zagospodarowania:

- ponowne wykorzystanie (repurposing) całych łopat lub segmentów w infrastrukturze (mosty pieszce, ścieżki, wiaty, ekrany akustyczne, mała architektura), w rolnictwie (ogrodzenia, wiaty, zabudowy gospodarcze) oraz w systemach energetycznych (konstrukcje pod zadaszenia fotowoltaiczne, elementy mikrosieci off-grid, obudowy magazynów BESS);
- recykling termo-chemiczny, obejmuje metody takie jak współspalanie w cementowniach, piroliza, fluidyzacja czy solwoliza, umożliwiające odzysk włókien, lecz z częściową utratą ich wytrzymałości (do 50% w pirolizie klasycznej, ok. 75% przy mikrofalowej, do 90% w procesach solwolizy i cieczy superkrytycznych), co ogranicza ich ponowne zastosowanie w wymagających konstrukcjach, takich jak nowe łopaty turbin.

Równolegle rozwijane są projekty „design for recycling”: m.in. łopaty Siemens Gamesa przystosowane do niskotemperaturowej solwolizy oraz prace LM Wind Power nad żywicami termoplastycznymi (Elium®), które potencjalnie upraszczają recykling w porównaniu z duroplastami⁴³³.

W kontekście ambitnych celów instalacyjnych (320 GW rocznie do 2030 r.) oraz wymogów gospodarki o obiegu zamkniętym, badania Beauson i in. koncentrują się na innowacyjnym podejściu polegającym na przetapianiu odzyskanych włókien szklanych w celu wytworzenia nowych włókien o parametrach porównywalnych z materiałami pierwotnymi, co stanowi pierwszy udokumentowany eksperyment na skalę przemysłową z wykorzystaniem rzeczywistych odpadów z łopat⁴³⁴.

W literaturze pojawiają się również przykłady wdrożeń przemysłowych pokazujących praktyczną możliwość zamknięcia obiegu materiałowego w energetyce wiatrowej. Jednym z przykładów innowacyjnych badań w obszarze recyklingu materiałów kompozytowych w energetyce wiatrowej jest projekt obejmujący odzysk i ponowne wykorzystanie włókien szklanych z łopat turbin wycofanych z eksploatacji. Celem projektu było sprawdzenie, czy odzyskane materiały mogą zostać ponownie wykorzystane do produkcji nowych włókien bez utraty jakości i właściwości mechanicznych. W tym celu zużyte łopaty poddano procesowi termicznego rozdziału materiału, a następnie przetworzono odzyskane włókna na

⁴³¹ J. Beauson i in., *Glass Fibers Produced With Recovered Glass Fibers From Wind Turbine Blades—Recycling Value Chain and Properties of Glass Fibers and Composites*, „Polymer Composites” (2025), DOI: 10.1002/pc.70006, <https://4spepublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pc.70006>.

⁴³² P.H. Andersen i in., *Re-purposing Wind Turbine Blades*, „Proceedings of the 6th Product Lifetimes and the Environment Conference (PLATE2025)” nr 6 (2025), DOI: 10.54337/plate2025-10269, <https://journals.aau.dk/index.php/plate2025/article/view/10269>.

⁴³³ Ibid.

⁴³⁴ J. Beauson i in., *Glass Fibers Produced With Recovered Glass Fibers From Wind Turbine Blades—Recycling Value Chain and Properties of Glass Fibers and Composites...*

proszek, który w niewielkiej ilości (ok. 2%) wprowadzono do standardowego procesu produkcji włókien szklanych. W wyniku eksperymentu powstało 76 ton nowych włókien typu E-glass, które wykazały niemal identyczne parametry fizyczne i chemiczne jak surowce pierwotne — różnice nie przekraczały 5%. Kompozyty wykonane na bazie tych włókien uzyskały bardzo dobre właściwości wytrzymałościowe, pozwalające na ich ponowne wykorzystanie w elementach konstrukcyjnych turbin wiatrowych. Co istotne, proces umożliwił zmniejszenie zużycia surowców pierwotnych o 5–10% oraz redukcję śladu węglowego o 20–30%, przy zachowaniu jakości porównywalnej z produktami konwencjonalnymi. Opracowanie to potwierdza, że zamknięty obieg materiałów kompozytowych w energetyce wiatrowej jest możliwy technicznie i ekonomicznie, jeśli proces odzysku zostanie odpowiednio zintegrowany z istniejącym łańcuchem dostaw. Wyniki te wyznaczają kierunek dalszych działań na rzecz wdrożenia zasad gospodarki o obiegu zamkniętym w sektorze odnawialnych źródeł energii, pokazując, że innowacje materiałowe mogą skutecznie łączyć cele środowiskowe z efektywnością przemysłową⁴³⁵.

W koncepcji „innovation governance” zaproponowano dopasowanie podaży i popytu na zużyte łopaty między sektorem energetycznym, przemysłem i samorządami. Wyróżniono trzy formy zarządzania: rynkową – sprzedaż materiału jako surowca wtórnego (np. do cementowni), pośrednią – tworzenie sieci współpracy międzybranżowej oraz trzecią stronę – koordynację przez instytucje publiczne i naukowe. Takie podejście ma na celu ograniczenie kosztów logistycznych i poprawę transparentności parametrów materiałowych, co zwiększa atrakcyjność ponownego użycia. Rozwiązanie problemu końca życia łopat turbin wymaga równoczesnego rozwoju innowacji technologicznych i instytucjonalnych. Tylko połączenie postępu w zakresie materiałów, procesów recyklingu i efektywnego zarządzania przepływem odpadów pozwoli ograniczyć ich składowanie i włączyć sektor energetyki wiatrowej w praktyki gospodarki o obiegu zamkniętym⁴³⁶.

W sytuacji braku rozwiniętych rynków recyklingu oraz odpowiednich regulacji prawnych, zużyte łopaty turbin wiatrowych są najczęściej składowane na wysypiskach, gromadzone w magazynach lub spalane w instalacjach przemysłowych. Praktyki te mogą powodować negatywne skutki środowiskowe, takie jak trwałe zajmowanie terenu, emisje CO₂ w procesie spalania czy potencjalne uwalnianie związków chemicznych z dodatków użytych w kompozytach. Tego typu utylizacja uznawana jest za nieoptymalną z punktu widzenia gospodarki o obiegu zamkniętym, a w wielu krajach zaczyna być stopniowo ograniczana regulacjami prawnymi wprowadzającymi obowiązki odzysku i ponownego wykorzystania materiałów. W literaturze podkreśla się, że krótkoterminowe rozwiązania, takie jak odzysk energii poprzez spalanie lub składowanie odpadów kompozytowych, prowadzą do przesunięcia długofalowych kosztów środowiskowych – zarówno w postaci utraty zasobów materiałowych, jak i zwiększonych emisji gazów cieplarnianych. Wraz ze wzrostem ilości wycofywanych łopat praktyki te mogą stać się również ekonomicznie nieefektywne, co uzasadnia potrzebę tworzenia regulacji i mechanizmów

⁴³⁵ Ibid.

⁴³⁶ P.H. Andersen i in., *Re-purposing Wind Turbine Blades...*

wspierających rozwój systemów recyklingu i ponownego wykorzystania materiałów⁴³⁷.

W wielu jurysdykcjach obecna infrastruktura utylizacji — obejmująca składowiska oraz spalarnie odpadów z odzyskiem energii — pozostaje najtańszym rozwiązaniem w przypadku braku dotacji lub wymogów regulacyjnych, co w praktyce utrwała liniowy model gospodarowania zasobami i opóźnia wdrażanie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym⁴³⁸.

Podobne wyzwania dotyczą również sektora fotowoltaiki, gdzie rosnąca liczba wyeksploatowanych modułów generuje narastający strumień odpadów wymagających efektywnego odzysku surowców i ponownego włączenia ich do cyklu produkcyjnego. W literaturze podkreśla się, że szybkie tempo rozwoju sektora PV wymaga równoległego planowania procesów utylizacji i recyklingu, aby ograniczyć przyszłe obciążenia środowiskowe wynikające z masowego wycofywania instalacji⁴³⁹. Dane z analiz branżowych wskazują, że różnorodność technologii fotowoltaicznych oraz ich rosnący udział w rynku sprawiają, iż kompleksowe uwzględnienie analizy cyklu życia oraz etapu końca eksploatacji nabiera kluczowego znaczenia w ocenie ich wpływu na środowisko⁴⁴⁰.

Ponowne wykorzystanie zużytych modułów fotowoltaicznych pozwala zachować znaczną część energii wbudowanej w ich produkcję, co przynosi szybsze korzyści energetyczne niż sam proces recyklingu. Jednak jego popularność w dużej mierze zależy od czynników społecznych, ekonomicznych i organizacyjnych. Walzberg i in. zauważyli, że proces recyklingu w obecnej formie często prowadzi do utraty większości energii wbudowanej w moduły, a rozwój rynku ponownego wykorzystania wymaga poprawy zaufania użytkowników oraz wprowadzenia odpowiednich mechanizmów, takich jak systemy gwarancji jakości używanych paneli. Czynniki społeczne, takie jak zaufanie użytkowników, gwarancje producentów oraz odpowiednie zachęty ekonomiczne, decydują o tym, czy zużyte moduły znajdą nabywców, czy też trafią do recyklingu. Jednocześnie nawet przy wysokich wskaźnikach ponownego użycia nie jest możliwe całkowite zaspokojenie

⁴³⁷ Z. Gao, *The Coming Tide of Wind Turbine Blades Retirement: Threats and Treatment Measures*, „Highlights in Science, Engineering and Technology” t. 29 (2023), DOI: 10.54097/hset.v29i.4487, <https://drpress.org/ojs/index.php/HSET/article/view/4487>; D.

Glosser, L. Russell, P. Striby, *Glass Fiber Waste from Wind Turbines: Its Chemistry, Properties, and End-of-life Uses* [w:] *Optical Fiber and Applications*, IntechOpen 2023; A. Śledzik, M. Banach, *Pro-Environmental Solutions in Architecture—The Problem of Decommissioned Wind Blades*, „Sustainability” t. 17 nr 7 (2025), DOI: 10.3390/su17072963, <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/7/2963>.

⁴³⁸ R. Martini, G. Xydis, *Repurposing and recycling wind turbine blades in the United States*, „Environmental Progress & Sustainable Energy” t. 42 nr 1 (2023), DOI: 10.1002/ep.13932, <https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ep.13932>.

⁴³⁹ U. Karthick, *Solar Sustainability: Redefining Waste Management in Renewable Energy*, „International Research Journal on Advanced Engineering Hub (IRJAEH)” t. 2 nr 01 (2024), DOI: 10.47392/IRJAEH.2024.0006.i1, <https://irjaeh.com/index.php/journal/article/view/182>.

⁴⁴⁰ M.N. Lunag i in., *Life cycle analysis of a solar photovoltaic system in a Philippine university*, „IOP Conference Series: Earth and Environmental Science” t. 1419 nr 1 (2024), DOI: 10.1088/1755-1315/1419/1/012044, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1419/1/012044>.

rosnącego zapotrzebowania na materiały w sektorze PV, co podkreśla konieczność łączenia ponownego wykorzystania z efektywnymi metodami recyklingu i projektowaniem w duchu gospodarki o obiegu zamkniętym⁴⁴¹.

Muteri i in. również wskazali, że w miarę rozwoju i dywersyfikacji sektora PV coraz większe znaczenie zyskuje podejście oparte na cyklu życia, w którym strategie zachowania energii wbudowanej, takie jak ponowne wykorzystanie modułów, powinny być traktowane priorytetowo tam, gdzie jest to technicznie i ekonomicznie uzasadnione. Wyniki analiz cyklu życia instalacji fotowoltaicznych zależą przede wszystkim od ilości energii elektrycznej zużytej podczas produkcji oraz od sprawności i trwałości samych modułów. Im mniej energii potrzeba do wytworzenia paneli i im dłużej one działają, tym krótszy jest czas zwrotu energetycznego i mniejszy całkowity ślad węglowy. Trzeba jednak pamiętać, że zwiększanie sprawności paneli nie może odbywać się kosztem znacząco większego zużycia energii w procesie produkcji ani wykorzystania gazów o wysokim potencjale cieplarnianym. Uwzględnienie w analizie recyklingu materiałów takich jak szkło, aluminium czy półprzewodniki pozwala zmniejszyć całkowity wpływ środowiskowy nawet o kilkadziesiąt procent. Z kolei scenariusze, w których zużyte panele są po prostu składowane, nie oddają w pełni potencjalnych korzyści wynikających z ponownego obiegu surowców i odzysku energii⁴⁴².

Paradygmat „od kołyski do kołyski” (Cradle to Cradle, C2C) zakłada projektowanie produktów w taki sposób, aby po zakończeniu ich eksploatacji wszystkie materiały mogły zostać w pełni odzyskane lub ponownie wykorzystane, eliminując pojęcie odpadu⁴⁴³. W odniesieniu do instalacji fotowoltaicznych koncepcja ta przekształca etap końca cyklu życia z problemu utylizacji w możliwość tworzenia zamkniętych obiegów materiałowych i ponownego projektowania systemów. Ramy C2C, podobnie jak gospodarka o obiegu zamkniętym, priorytetowo traktują utrzymanie cyrkulacji surowców, bezpieczne substytucje materiałowe oraz projektowanie modułów z myślą o ponownym użyciu i recyklingu o wysokiej wartości⁴⁴⁴.

W praktyce zastosowanie podejścia C2C w sektorze fotowoltaiki obejmuje kilka kluczowych elementów. Po pierwsze, dobór materiałów konstrukcyjnych powinien umożliwiać ich łatwy odzysk i przetworzenie, co sprzyja wykorzystaniu takich surowców jak szkło, aluminium, krzem czy srebro. Po drugie, projekt modułów

⁴⁴¹ J. Walzberg, A. Carpenter, G.A. Heath, *Role of the social factors in success of solar photovoltaic reuse and recycle programmes*, „Nature Energy” t. 6 nr 9 (2021), DOI: 10.1038/s41560-021-00888-5, <https://www.nature.com/articles/s41560-021-00888-5>.

⁴⁴² V. Muteri i in., *Review on Life Cycle Assessment of Solar Photovoltaic Panels*, „Energies” t. 13 nr 1 (2020), DOI: 10.3390/en13010252, <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/1/252>.

⁴⁴³ A. Ismayilova, G. Silvius, *Cradle-to-Cradle in Project Management*, „International Journal of Circular Economy and Waste Management” t. 1 nr 1 (2021), DOI: 10.4018/IJCEWM.20210101.oa1, <http://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/IJCEWM.20210101.oa1>.

⁴⁴⁴ P. Morone, G. Yilan, *A paradigm shift in sustainability: from lines to circles*, „Acta Innovations” nr 36 (2020), DOI: 10.32933/ActaInnovations.36.1, <http://www.proakademia.eu/en/acta-innovations/find-issueskw/all-articles2020-36/a-paradigm-shift-in-sustainability-from-lines-to-circles/>.

powinien uwzględniać możliwość prostego demontażu i segregacji komponentów, np. poprzez stosowanie złączy śrubowych zamiast trwałych spoin lub klejów rozpuszczalnych, co ułatwia recykling o wysokiej jakości. Po trzecie, konieczne jest tworzenie zintegrowanych łańcuchów dostaw, które zapewniają obieg materiałów między producentami, użytkownikami i zakładami odzysku, umożliwiając ich ponowne włączenie do produkcji. Wreszcie, substytucja materiałów toksycznych (np. ołowiu, kadmu) ich bezpieczniejszymi odpowiednikami stanowi warunek dalszego rozwoju zrównoważonych technologii PV. Dzięki temu moduły fotowoltaiczne po 25–30 latach użytkowania nie stają się odpadem, lecz źródłem wartościowych surowców, które mogą być ponownie wykorzystane w procesach wytwórczych zgodnie z ideą gospodarki cyrkularnej.

Postęp technologiczny w zakresie recyklingu paneli fotowoltaicznych stanowi jeden z kluczowych kierunków rozwoju gospodarki o obiegu zamkniętym w sektorze odnawialnych źródeł energii. Jak wskazują Martínez i in., aktualne badania i wdrożenia przemysłowe koncentrują się na udoskonalaniu trzech głównych ścieżek technologicznych: procesów mechanicznych, chemicznych oraz termicznych. Metody mechaniczne – obejmujące rozdrabnianie, separację szkła i metali – coraz częściej wykorzystują innowacyjne techniki, takie jak fragmentacja elektrohydrauliczna i wysokonapięciowa, pozwalające ograniczyć straty materiałowe i emisje pyłów. Z kolei recykling chemiczny, oparty na hydrometalurgii, umożliwia odzysk metali o wysokiej wartości, w tym srebra, miedzi, aluminium i krzemu, przy rosnącym zastosowaniu tzw. *zielonych rozpuszczalników*, np. D-limonenu. Natomiast metody termiczne – głównie piroliza – służą do usuwania warstwy enkapsulantu EVA, choć nadal wiążą się z dużym zużyciem energii i emisją lotnych związków organicznych.

W ostatnich latach obserwuje się także rozwój nowych technologii o wysokim potencjale środowiskowym, takich jak wykorzystanie superkrytycznego CO₂ czy laserowej delaminacji, które pozwalają na selektywne oddzielanie komponentów i odzysk szkła oraz ogniw fotowoltaicznych bez ich uszkodzenia. Coraz większą uwagę poświęca się również recyklingowi ogniw perowskitowych, w których stosuje się materiały sorpcyjne do wychwytu ołowiu, ograniczając tym samym ryzyko toksycznych emisji.

Na poziomie przemysłowym znaczący wkład w rozwój technologii recyklingu wnoszą przedsiębiorstwa takie jak Veolia, ROSI Solar, NPC, Loser Chemie czy SolarCycle, które opracowują zautomatyzowane procesy odzysku szkła, krzemu i metali szlachetnych, osiągając efektywność sięgającą nawet 95%. Mimo tego autorzy podkreślają, że recykling PV nadal boryka się z barierami ekonomicznymi i technologicznymi, w tym z wysokimi kosztami energii, problemem usuwania warstwy EVA oraz ograniczoną skalą dostępnych odpadów. Martínez i in. konkludują, że dalszy rozwój tego sektora wymaga integracji innowacji technologicznych z ramami regulacyjnymi i instrumentami wsparcia, które umożliwią

pełne włączenie procesów recyklingu PV w logikę zrównoważonego zarządzania cyklem życia instalacji odnawialnych źródeł energii⁴⁴⁵.

W literaturze podkreśla się, że dynamiczny wzrost liczby instalacji PV prowadzi do powstania nowego strumienia odpadów, którego masa do 2050 roku może przekroczyć 70–80 mln ton. Recykling paneli fotowoltaicznych przynosi wymierne korzyści środowiskowe, zarówno poprzez ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, jak i poprzez odzysk cennych surowców. Jak wskazują badania, proces ten może zmniejszyć emisję CO₂ o 11–18 tysięcy ton w przeliczeniu na 1900 MW mocy konwencjonalnej, jednocześnie znacząco ograniczając zapotrzebowanie na metale krytyczne, takie jak tellur, srebro czy indium. Dodatkowym efektem jest redukcja ryzyka skażenia gleby i wód gruntowych substancjami toksycznymi, w tym ołowiem i kadmem, które występują w strukturze niektórych modułów PV. Według danych Międzynarodowej Agencji Energii Odnawialnej recykling zaledwie 186 ton odpadów fotowoltaicznych pozwala uniknąć emisji odpowiadających pracy elektrowni konwencjonalnej o mocy około 2,6 MW, co potwierdza duży potencjał środowiskowy tego procesu. Rozwój sektora recyklingu PV wymaga jednak dalszych działań - komercjalizacji technologii o wysokim współczynniku odzysku przekraczającym 90%, wdrożenia globalnych standardów rozszerzonej odpowiedzialności producenta oraz stworzenia odpowiednich ram legislacyjnych i finansowych wspierających jego rozwój. Przyszłość recyklingu paneli fotowoltaicznych wiąże się z integracją różnych technologii – mechanicznych, termicznych i hydrometalurgicznych – w jeden zrównoważony system odzysku materiałów, pozwalający zamknąć obieg surowców i minimalizować ślad środowiskowy całego cyklu życia instalacji PV⁴⁴⁶.

Recykling PV nie jest tylko kwestią technologiczną, ale warunkiem utrzymania „zielonego wizerunku” branży fotowoltaicznej. Jeśli sektor nie rozwiąże problemu utylizacji, może utracić wiarygodność ekologiczną, na której opiera się jego społeczna akceptacja. Ekonomiczna motywacja (różnica kosztów między składowaniem a recyklingiem) oraz wymogi regulacyjne staną się decydującymi czynnikami przesądzającymi o przyszłości tego rynku⁴⁴⁷.

W literaturze dotyczącej końca cyklu życia instalacji hydroenergetycznych coraz większą uwagę poświęca się wpływowi procesu rozbiórki zapór i obiektów towarzyszących na środowisko. Analizy LCA wskazują, że etap dekomisji i rekultywacji może generować znaczne emisje gazów cieplarnianych, zwłaszcza w wyniku transportu, zużycia materiałów wybuchowych oraz składowania odpadów betonowych. Badanie Mostafaei i in. (2025) przeprowadzone dla zapory grawitacyjnej Bluestone w USA wykazało, że całkowity ślad węglowy rozbiórki konstrukcji może sięgać 735 t CO₂-eq na metr szerokości obiektu, z czego ponad połowa pochodzi z procesów składowania, a około 46% z użycia materiałów wybuchowych. Jednocześnie autorzy dowiedli, że zastosowanie recyklingu

⁴⁴⁵ M. Martínez i in., *Technological Advancement in Solar Photovoltaic Recycling: A Review*, „Minerals” t. 14 nr 7 (2024), DOI: 10.3390/min14070638, <https://www.mdpi.com/2075-163X/14/7/638>.

⁴⁴⁶ M.S. Chowdhury i in., *An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling*, „Energy Strategy Reviews” t. 27 (2020), DOI: 10.1016/j.esr.2019.100431, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211467X19301245>.

⁴⁴⁷ M. Peplow, *Solar Panels Face Recycling Challenge*, „ACS Central Science” nr 8 (2022).

materiałowego – w szczególności ponownego wykorzystania betonu jako kruszywa oraz odzysku stali zbrojeniowej – pozwala zredukować emisje nawet o 95% przy jedynie nieznacznym wzroście kosztów końca cyklu życia. Kluczowym czynnikiem środowiskowym pozostaje jednak cement, który odpowiada za większość emisji zarówno w fazie budowy, jak i demontażu. Wyniki te podkreślają znaczenie podejścia „design for deconstruction”, czyli projektowania z myślą o przyszłym demontażu i recyklingu elementów konstrukcyjnych. Ujęcie to wpisuje się w szerszy paradygmat gospodarki o obiegu zamkniętym w sektorze hydroenergetyki, wskazując, że rekultywacja obiektów wodnych może być nie tylko obowiązkiem środowiskowym, ale również szansą na ograniczenie kosztów emisji i odzysk zasobów materiałowych w długim horyzoncie energetycznym⁴⁴⁸.

W przypadku instalacji geotermalnych etap końca cyklu życia obejmuje przede wszystkim zamykanie odwiertów, rekultywację terenu oraz zarządzanie odpadami powstałymi podczas eksploatacji. Projekt GEOENVI⁴⁴⁹, realizowany w ramach programu Horizon 2020, został powołany w celu opracowania jednolitych europejskich zasad oceny wpływu środowiskowego instalacji geotermalnych oraz zwiększenia społecznej akceptacji tej technologii poprzez promowanie przejrzystych i zrównoważonych praktyk jej eksploatacji. Inicjatywa ta miała na celu stworzenie kompleksowych wytycznych dla analizy cyklu życia, obejmujących nie tylko fazę eksploatacji, ale również proces budowy, utrzymania i końca cyklu życia.

Wytyczne projektu GEOENVI precyzują szczegółowe zalecenia dotyczące analizy i zarządzania końcem cyklu życia instalacji geotermalnych, wskazując, że etap ten wymaga ujęcia zarówno aspektów technicznych, jak i środowiskowych. Zgodnie z dokumentem, w analizach LCA należy uwzględniać emisje i zużycie energii wynikające z cementacji oraz rekultywacji odwiertów, obejmujących wykorzystanie betonu, paliw i transportu materiałów. Istotnym elementem jest również recykling metali pochodzących z infrastruktury naziemnej – stali, aluminium czy miedzi – który może częściowo kompensować emisje generowane w fazie budowy i montażu. GEOENVI zaleca ponadto, aby w ramach rekultywacji analizować biologiczne odtworzenie terenów poeksploatacyjnych jako integralny składnik wpływu na użytkowanie gruntów, zwłaszcza w regionach wiejskich i rolniczych. Ważnym aspektem końca cyklu życia jest także monitoring po zamknięciu instalacji, prowadzony przez co najmniej 30 lat, umożliwiający ocenę ryzyka ewentualnych wycieków CO₂ lub płynów termalnych z odwiertów. Wreszcie, GEOENVI podkreśla potrzebę integracji fazy końca cyklu życia z oceną bezpieczeństwa geologicznego i analizą emisji resztkowych, co pozwala na pełniejsze zrozumienie długofalowych skutków środowiskowych eksploatacji i rekultywacji systemów geotermalnych. W ten sposób dokument ustanawia europejski standard podejścia do końca cyklu życia instalacji geotermalnych, łącząc

⁴⁴⁸ H. Mostafaei i in., *Sustainability Enhancement and Evaluation of a Concrete Dam Using Recycling*, „Applied Sciences” t. 15 nr 5 (2025), DOI: 10.3390/app15052479, <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/5/2479>.

⁴⁴⁹ I. Blanc i in., *First version of harmonized guidelines to perform environmental assessment for geothermal systems based on LCA and non LCA impact indicators: LCA Guidelines for Geothermal Installations*, „GEOENVI” (2020).

techniczne procedury zamknięcia z wymogami ochrony środowiska i bezpieczeństwa⁴⁵⁰

Badania Starczewskiej i in. dla polskiego systemu geotermalnego typu EGS (Enhanced Geothermal System - zaawansowany typ geotermii, w którym energia cieplna pozyskiwana jest z głębokich, gorących skał poprzez ich sztuczną stymulację hydrauliczną, co umożliwia cyrkulację płynu roboczego i odzysk ciepła w zamkniętym obiegu) wykazały, że choć faza dekomisji ma mniejszy udział w całkowitym śladzie środowiskowym niż etap budowy, pozostaje istotnym źródłem emisji związanych z wykorzystaniem betonu do cementacji odwiertów i energii niezbędnej do ich zabezpieczenia. W analizie cyklu życia wykonanej metodą ReCiPe 2016 stwierdzono, że etap rekultywacji generuje dodatkowe obciążenia głównie w kategoriach zużycia surowców i toksyczności dla ekosystemów⁴⁵¹.

W kontekście instalacji opartych na biomasie i biogazie istotnym elementem oceny kosztów środowiskowych jest nie tylko faza eksploatacji, ale również procesy związane z końcem cyklu życia, w tym utylizacja pozostałości spalania, recykling materiałów konstrukcyjnych oraz zagospodarowanie produktów ubocznych fermentacji⁴⁵². Badania Chen i in. wykazały, że technologie energetycznego wykorzystania biomasy znacząco redukują obciążenia środowiskowe względem energetyki węglowej - od 14% do 98% w zależności od zastosowanej technologii. Dla pełnej oceny cyklu życia konieczne jest uwzględnienie fazy końcowej, obejmującej recykling pozostałości popiołów, odzysk metali i rekultywację terenów poeksploatacyjnych⁴⁵³.

Zagadnienia końca cyklu życia instalacji biomasowych nabierają coraz większego znaczenia w analizach środowiskowych i ekonomicznych. Przegląd Akhlisah i in. obejmujący ponad 150 badań LCA wskazuje, że choć technologie biomasowe są uznawane za niskoemisyjne, ich rzeczywisty wpływ środowiskowy w dużej mierze zależy od źródła surowca, sposobu jego transportu oraz zarządzania odpadami poprocesowymi. Etapy uprawy biomasy i spalania paliwa generują największe obciążenia środowiskowe, natomiast faza końca życia – obejmująca recykling metali, odzysk popiołów i rekultywację terenu – może działać kompensacyjnie, redukując całkowity ślad węglowy systemu nawet o 10–20%. Popioły po spalaniu biomasy, bogate w wapń, fosfor i potas, mogą być ponownie wykorzystywane jako materiał nawozowy lub składnik cementu, natomiast w instalacjach biogazowych stosowanie digestatu jako nawozu organicznego ogranicza emisję podtlenku azotu i zmniejsza zapotrzebowanie na nawozy mineralne. Wyniki przeglądu podkreślają, że planowanie procesów recyklingu i rekultywacji już

⁴⁵⁰ Ibid.

⁴⁵¹ M. Starczewska i in., *Life cycle assessment of enhanced geothermal systems with CO2 as a working fluid—polish case study*, „Clean Technologies and Environmental Policy” t. 27 nr 4 (2025), DOI: 10.1007/s10098-024-03081-w, <https://link.springer.com/10.1007/s10098-024-03081-w>.

⁴⁵² J. Nyika, M. Dinka, A.A. Adediran, *Recycling Plant Biomass and Life Cycle Assessment in Circular Economy Systems* [w:] *Plant Biomass Derived Materials*, Wiley 2024.

⁴⁵³ S. Chen i in., *Life Cycle Assessment and Economic Analysis of Biomass Energy Technology in China: A Brief Review*, „Processes” t. 8 nr 9 (2020), DOI: 10.3390/pr8091112, <https://www.mdpi.com/2227-9717/8/9/1112>.

na etapie projektowania elektrowni biomasowych stanowi kluczowy warunek dla ich zgodności z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym oraz dla dalszego obniżania kosztów środowiskowych tej technologii. Biomasa przestaje być traktowana jedynie jako neutralne węglowo paliwo, a staje się wielofunkcyjnym zasobem⁴⁵⁴.

Wraz z dynamicznym rozwojem technologii odnawialnych źródeł energii – szczególnie fotowoltaiki i energetyki wiatrowej – rośnie zapotrzebowanie na systemy magazynowania energii, a tym samym liczba zużytych akumulatorów i baterii wymagających utylizacji. Według Międzynarodowej Agencji Energetycznej⁴⁵⁵ recykling baterii litowo-jonowych stanowi kluczowy element ograniczania zużycia surowców krytycznych, takich jak lit, kobalt i nikiel, oraz może pokryć 20–30 % przyszłego zapotrzebowania na te pierwiastki do 2050 roku. Niewłaściwe postępowanie z odpadami bateryjnymi niesie jednak poważne ryzyko środowiskowe, obejmujące skażenie gleby i wód podziemnych, emisję metali ciężkich i związków organicznych lotnych oraz zagrożenia pożarowe⁴⁵⁶.

W odpowiedzi na te wyzwania Unia Europejska przyjęła rozporządzenie⁴⁵⁷, które ustanawia obowiązek recyklingu baterii oraz minimalne poziomy odzysku surowców — między innymi 90 % dla kobaltu i niklu oraz 50 % dla litu. Rozwój nowoczesnych technologii odzysku, takich jak hydrometalurgia i pirometalurgia, pozwala ograniczyć ilość odpadów i zmniejszyć ślad węglowy produkcji nowych ogniw, jednak procesy te pozostają energochłonne. Dlatego coraz większe znaczenie zyskuje projektowanie akumulatorów z myślą o ponownym wykorzystaniu (*design for recycling*) oraz integracja zasad gospodarki o obiegu zamkniętym z politykami rozwoju sektora OZE⁴⁵⁸.

Nowe generacje akumulatorów, takie jak baterie półprzewodnikowe, wprowadzają do obiegu odmienne strumienie materiałów, w tym elektrolity stałe i elementy ceramiczne, których właściwości po zakończeniu eksploatacji oraz potencjał recyklingu nie są jeszcze w pełni poznane. Aktualne badania podkreślają konieczność prowadzenia ocen cyklu życia dla tych technologii wraz ze wzrostem ich znaczenia rynkowego oraz ostrożności w przyjmowaniu, że procedury stosowane dla

⁴⁵⁴ Z.N. Akhlishah i in., *Environmental impacts of biomass energy: A life cycle assessment perspective for circular economy*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” t. 226 (2026), DOI: 10.1016/j.rser.2025.116363, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032125010366>.

⁴⁵⁵ International Energy Agency (IEA), *Recycling of Critical Minerals*, „Strategies to Scale Up Recycling and Urban Mining - World Energy Outlook Special Report” (2024).

⁴⁵⁶ G. Harper i in., *Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles*, „Nature” t. 575 nr 7781 (2019), DOI: 10.1038/s41586-019-1682-5, <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1682-5>.

⁴⁵⁷ European Union, *Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1542 z dnia 12 lipca 2023 r. w sprawie baterii i zużytych baterii, zmieniające dyrektywę 2008/98/WE i rozporządzenie (UE) 2019/1020 oraz uchylające dyrektywę 2006/66/WE*, „PE/2/2023/REV/1” (2023).

⁴⁵⁸ International Energy Agency (IEA), *Batteries and Secure Energy Transitions...*

klasycznych baterii litowo-jonowych będzie można bezpośrednio zastosować w przypadku ich półprzewodnikowych odpowiedników⁴⁵⁹.

W krajach o niskich i średnich dochodach, gdzie brakuje formalnych systemów zbiórki i recyklingu, odzysk zużytych baterii często odbywa się w sposób nieformalny i niekontrolowany. Takie praktyki, obejmujące m.in. otwarte spalanie, wytapianie metali lub ługowanie kwasami, prowadzą do emisji pyłów, par metali ciężkich oraz skażenia gleb i wód gruntowych w pobliżu miejsc przetwarzania. Konsekwencje tych działań są szczególnie dotkliwe z perspektywy sprawiedliwości środowiskowej, gdyż to właśnie społeczności zamieszkujące w sąsiedztwie nieformalnych punktów recyklingu ponoszą największe ryzyko narażenia na toksyczne substancje i długofalowe skutki zdrowotne⁴⁶⁰. Badania terenowe potwierdzają obecność podwyższonych stężeń ołowiu i zanieczyszczonych wód w pobliżu takich obszarów⁴⁶¹. Ograniczenie tych zagrożeń wymaga transformacji nieformalnych praktyk w formalne, kontrolowane systemy recyklingu, wspierane przez odpowiednie instrumenty polityczne, regulacyjne i finansowe.

Ponowne wykorzystanie zużytych akumulatorów trakcyjnych lub baterii z pojazdów elektrycznych w zastosowaniach stacjonarnych o niższym obciążeniu – takich jak magazynowanie energii w systemach fotowoltaicznych czy mikrosieciach – może przynieść istotne korzyści środowiskowe. Zgodnie z wynikami badań Nie i in. oraz Iqbal i in., rozwiązania drugiego życia pozwalają wydłużyć okres użytkowania baterii, opóźnić proces recyklingu, zachować wbudowaną energię oraz zmniejszyć krótkoterminowe zapotrzebowanie na surowce pierwotne. Analizy LCA wskazują, że takie podejście może ograniczyć całkowity wpływ środowiskowy w przeliczeniu na kWh energii, o ile systemy drugiego życia funkcjonują dostatecznie długo i spełniają rygorystyczne standardy bezpieczeństwa⁴⁶².

Korzyści te są jednak uwarunkowane. Jak zauważają Iqbal i in., zróżnicowana pojemność resztkowa ogniw, niepewność dotycząca ich trwałości oraz koszty selekcji, certyfikacji i integracji mogą ograniczać, a nawet niwelować pozytywne

⁴⁵⁹ A. Machin i in., *Environmental Aspects and Recycling of Solid-State Batteries: A Comprehensive Review*, „Batteries” t. 10 nr 7 (2024), DOI: 10.3390/batteries10070255, <https://www.mdpi.com/2313-0105/10/7/255>.

⁴⁶⁰ I. Dmytriiev i in., *Development of a System for Recycling Used Batteries and Lead-Containing Batteries: Assessment of the Economic Effect with Minimising Damage to the Environment*, „Scientific Horizons” t. 25 nr 3 (2022), DOI: 10.48077/scihor.25(3).2022.98-104, <https://sciencehorizon.com.ua/en/journals/tom-25-3-2022/rozrobka-sistemi-utilizatsiyi-vidpratsovanikh-batareyok-ta-svintsevikh-akumulyatoriv-otsinka-ekonomichnogo-efektu-z-minimizatsiyeyu-shkodi-dovkillyu>.

⁴⁶¹ M.A. Fakunle, J.A. Adegoke, J.O. Enemali, *Determination of the Spread of Heavy Metal from Ori-Ile Battery Waste Dumpsite Using Electrical Resistivity Method*, „Annals of West University of Timisoara - Physics” t. 63 nr 1 (2021), DOI: 10.2478/awutp-2021-0003, <https://www.sciendo.com/article/10.2478/awutp-2021-0003>.

⁴⁶² H. Iqbal i in., *A survey of second-life batteries based on techno-economic perspective and applications-based analysis*, „Carbon Neutrality” t. 2 nr 1 (2023), DOI: 10.1007/s43979-023-00049-5, <https://link.springer.com/10.1007/s43979-023-00049-5>; Y. Nie i in., *Literature Review on Power Battery Echelon Reuse and Recycling from a Circular Economy Perspective*, „International Journal of Environmental Research and Public Health” t. 20 nr 5 (2023), DOI: 10.3390/ijerph20054346, <https://www.mdpi.com/1660-4601/20/5/4346>.

efekty środowiskowe. W przypadku przedwczesnej awarii lub braku odpowiednich protokołów bezpieczeństwa systemy drugiego życia mogą prowadzić do wcześniejszej utylizacji i wyższych emisji niż kontrolowany recykling. Z tego powodu ponowne wykorzystanie baterii powinno być częścią zintegrowanego podejścia systemowego, które obejmuje plan recyklingu po zakończeniu drugiego cyklu użytkowania⁴⁶³.

Badania Iturrondobeitia i in., Pražanová i in. podkreślają, że skuteczna redukcja szkód środowiskowych wymaga nie tylko innowacji technicznych, ale także sprawnych systemów zbiórki i odpowiednich instrumentów politycznych. Rozszerzona odpowiedzialność producenta (EPR), systemy kaucji, mechanizmy nagród i kar oraz regulacje dotyczące identyfikacji i klasyfikacji baterii znacząco zwiększają wskaźniki odzysku i finansują bezpieczne przetwarzanie⁴⁶⁴. Co więcej, badania zachowań konsumentów pokazują, że sama świadomość ekologiczna nie wystarcza – dostępna infrastruktura zbiórki i odpowiednie zachęty ekonomiczne są kluczowe, by ograniczyć liczbę baterii trafiających na składowiska i do nieformalnych strumieni odpadów⁴⁶⁵.

Utylizacja zużytych baterii i akumulatorów wykorzystywanych w systemach OZE wiąże się z podwójnym zagrożeniem środowiskowym: lokalnym - wynikającym z możliwości skażenia gleb i wód metalami ciężkimi oraz niebezpiecznymi elektrolitami w przypadku nieformalnego przetwarzania lub składowania, oraz globalnym - związanym z utratą cennych surowców i koniecznością ich ponownego wydobycia. Analizy cyklu życia wskazują, że formalny recykling, bezpieczne wdrażanie systemów drugiego życia oraz odpowiedni dobór technologii odzysku znacząco ograniczają łączny wpływ środowiskowy w porównaniu z tradycyjną utylizacją i produkcją pierwotną. Zmniejszenie ryzyka ekologicznego wymaga spójnej polityki surowcowej, systemów kaucji i zbiórki, rozwoju technologii recyklingu o niskim śladzie środowiskowym oraz integracji strategii drugiego życia z gwarantowanym recyklingiem po jego zakończeniu. Wdrażanie tych rozwiązań staje się pilne wobec szybko rosnącej liczby magazynów energii opartych na bateriach w instalacjach odnawialnych na całym świecie⁴⁶⁶.

⁴⁶³ H. Iqbal i in., *A survey of second-life batteries based on techno-economic perspective and applications-based analysis...*

⁴⁶⁴ M. Iturrondobeitia i in., *Environmental Impact Assessment of LiNi 1/3 Mn 1/3 Co 1/3 O 2 Hydrometallurgical Cathode Recycling from Spent Lithium-Ion Batteries*, „ACS Sustainable Chemistry & Engineering” t. 10 nr 30 (2022), DOI: 10.1021/acssuschemeng.2c01496, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.2c01496>; A. Pražanová, V. Knap, D.-I. Stroe, *Literature Review, Recycling of Lithium-Ion Batteries from Electric Vehicles, Part II: Environmental and Economic Perspective*, „Energies” t. 15 nr 19 (2022), DOI: 10.3390/en15197356, <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/19/7356>.

⁴⁶⁵ Y. Zhang i in., *High-Selectivity Recycling of Valuable Metals from Spent Lithium-Ion Batteries Using Recyclable Deep Eutectic Solvents*, „ChemSusChem” t. 17 nr 9 (2024), DOI: 10.1002/cssc.202301774, <https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cssc.202301774>.

⁴⁶⁶ D. Cocco, L. Lecis, D. Micheletto, *Life Cycle Assessment of an Integrated PV-ACAES System*, „Energies” t. 16 nr 3 (2023), DOI: 10.3390/en16031430, <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/3/1430>; J. Meegoda, G. Charbel, D. Watts, *Sustainable*

Wspólnym mianownikiem dla wszystkich technologii OZE staje się konieczność zintegrowanego podejścia do końca cyklu życia, obejmującego nie tylko odzysk materiałów, ale także odtworzenie wartości środowiskowych terenów zdegradowanych przez działalność energetyczną. Rekultywacja obiektów OZE stanowi zatem nie tylko obowiązek ekologiczny, ale również element racjonalnego zarządzania kosztami środowiskowymi w długim horyzoncie funkcjonowania systemu energetycznego.

Chociaż odnawialne źródła energii odgrywają kluczową rolę w przeciwdziałaniu zmianom klimatu i promowaniu zrównoważonego rozwoju, ich wdrożenie może prowadzić do znaczących negatywnych skutków, które wymagają rozważenia. Należą do nich degradacja środowiska, zagrożenia dla bioróżnorodności oraz potencjalne obciążenia gospodarcze. Kompleksowe podejście, obejmujące rygorystyczne oceny oddziaływania na środowisko, zaangażowanie społeczności i staranne planowanie, ma kluczowe znaczenie dla złagodzenia negatywnych skutków związanych z przejściem na energię odnawialną. Zrównoważenie tych dynamik będzie ostatecznie kluczowe dla osiągnięcia zrównoważonej przyszłości energetycznej.

4. SPOŁECZNO-ZDROWOTNY OBSZAR ZARZĄDZANIA KOSZTAMI SPOŁECZNYMI W PRZEDSIĘBIORSTWACH SEKTORA OZE

Analiza kosztów środowiskowych przedstawiona w rozdziale trzecim pozwoliła uchwycić materialny i ekologiczny wymiar oddziaływań instalacji odnawialnych źródeł energii – od emisji i zużycia zasobów po skutki rekultywacji i utylizacji. Jednak skutki te nie kończą się na środowisku przyrodniczym. Każda zmiana w strukturze energetycznej wpływa również na jakość życia, zdrowie i dobrostan społeczności, które funkcjonują w otoczeniu tych inwestycji. Dlatego kolejny rozdział rozszerza perspektywę analizy, koncentrując się na społeczno-zdrowotnych czynnikach determinujących koszt społeczny OZE. W tym ujęciu środowisko, zdrowie publiczne i relacje społeczne tworzą wzajemnie powiązany system, w którym efektywność transformacji energetycznej zależy nie tylko od minimalizacji emisji, lecz także od umiejętnego zarządzania jej wpływem na człowieka i jego otoczenie.

4.1. TEORETYCZNE UJĘCIE EFEKTÓW ZEWNĘTRZNYCH W ZARZĄDZANIU KOSZTAMI SPOŁECZNYMI OZE

Pojęcie efektów zewnętrznych stanowi fundament teoretyczny analizy kosztów społecznych i środowiskowych, w tym kosztów zdrowotnych związanych z rozwojem odnawialnych źródeł energii. Klasyczną definicję zaproponował w 1920 roku Arthur C. Pigou, wskazując, że działalność gospodarcza może powodować uboczne skutki - zarówno pozytywne, jak i negatywne, które nie są uwzględniane w rachunku

rynkowym, a więc nie obciążają bezpośrednio sprawcy, lecz społeczeństwo. W tym ujęciu koszty społeczne są różnicą między całkowitymi kosztami społeczeństwa a kosztami prywatnymi ponoszonymi przez producenta. Pigou postulował interwencję publiczną w postaci podatków korygujących lub subsydiów, które miały na celu „internalizację” skutków zewnętrznych, czyli przeniesienie ich kosztów do systemu ekonomicznego i decyzyjnego podmiotu⁴⁶⁷.

W połowie XX wieku Ronald Coase rozszerzył to podejście, dowodząc, że efekty zewnętrzne nie wynikają z samej działalności gospodarczej, lecz z nieprecyzyjnie określonych praw własności oraz z istnienia kosztów transakcyjnych, które utrudniają negocjacje między stronami. Z perspektywy zarządzania oznacza to, że redukcja kosztów społecznych może być osiągnięta nie tylko poprzez regulacje, lecz również przez instytucjonalne mechanizmy współpracy – dialog interesariuszy, kontrakty społeczne, mechanizmy kompensacyjne czy lokalne porozumienia środowiskowe. W kontekście OZE, gdzie korzyści i obciążenia środowiskowe rozkładają się nierównomiernie między społecznościami, logika Coase’a uzasadnia tworzenie systemów partycypacyjnego zarządzania konfliktami i rekompensatami⁴⁶⁸.

Ujęcie współczesne, reprezentowane przez Elinor Ostrom, wprowadza pojęcie „zagnieżdżonych efektów zewnętrznych” i wskazuje, że skuteczne zarządzanie kosztami społecznymi wymaga wielopoziomowego podejścia (multi-level governance). Ostrom podkreśliła, że zewnętrzności nie są wyłącznie problemem rynku czy państwa, lecz wyzwaniem dla współzarządzania – obejmującego administrację, przedsiębiorstwa i społeczności lokalne. W tym sensie internalizacja kosztów społecznych OZE nie jest wyłącznie zadaniem regulacyjnym, lecz procesem koordynacji instytucjonalnej i społecznej, który wymaga współdzielenia odpowiedzialności i budowania zaufania oraz identyfikacji grup dotkniętych skutkami inwestycji⁴⁶⁹. Właśnie w tym miejscu teoria efektów zewnętrznych łączy się z teorią interesariuszy, ponieważ pozwala wskazać, kto faktycznie ponosi konsekwencje negatywnych efektów zewnętrznych i kto powinien zostać włączony w proces ich ograniczania.

Uzupełnieniem perspektywy efektów zewnętrznych jest teoria interesariuszy, która pozwala przejść od abstrakcyjnego ujęcia kosztów społecznych do identyfikacji konkretnych grup ponoszących konsekwencje działalności przedsiębiorstwa. Zgodnie z tym podejściem przedsiębiorstwo nie powinno być analizowane wyłącznie przez pryzmat interesów właścicieli kapitału, lecz jako podmiot funkcjonujący w szerokim otoczeniu społecznym, obejmującym pracowników, klientów,

⁴⁶⁷ A.C. Pigou, *The Economics of Welfare*, „Macmillan - The Online Library of Liberty” (1932), <https://oll.libertyfund.org/titles/pigou-the-economics-of-welfare>.

⁴⁶⁸ R. Coase, *The Problem of Social Cost*, „The Journal of Law & Economics” t. 56 nr 4 (1960); P. Paniagua, *Anatomy of Externalities*, „Centre for the Study of Governance & Society. King’s College London” (2023), <https://csgs.kcl.ac.uk/anatomy-of-externalities/>.

⁴⁶⁹ E. Ostrom, *Beyond Markets and States: Polycentric Governance of Complex Economic Systems*, „American Economic Review” t. 100 nr 3 (2010), DOI: 10.1257/aer.100.3.641, <https://pubs.aeaweb.org/doi/10.1257/aer.100.3.641>; E. Ostrom, *Nested externalities and polycentric institutions: must we wait for global solutions to climate change before taking actions at other scales?*, „Economic Theory” t. 49 nr 2 (2012), DOI: 10.1007/s00199-010-0558-6, <http://link.springer.com/10.1007/s00199-010-0558-6>.

społeczności lokalne, instytucje publiczne, organizacje pozarządowe oraz inne grupy zaangażowane lub dotknięte skutkami jego działalności. Teoria ta rozszerza paradygmat zarządzania na obszary odpowiedzialności społecznej, transparentności i dialogu z otoczeniem, co czyni ją szczególnie aktualną w kontekście współczesnych wyzwań zrównoważonego rozwoju i ładu korporacyjnego⁴⁷⁰. W kontekście odnawialnych źródeł energii teoria ta ma szczególne znaczenie, ponieważ inwestycje OZE generują zarówno korzyści publiczne, takie jak redukcja emisji i wzrost bezpieczeństwa energetycznego, jak i lokalne obciążenia społeczne, przestrzenne, krajobrazowe czy zdrowotne.

Teoria interesariuszy koncentruje się na analizie relacji między przedsiębiorstwem a jego otoczeniem z perspektywy korzyści wynikających z tych powiązań. Wskazuje ona, że skuteczne zarządzanie wymaga uwzględnienia interesów różnych grup, jednak nie precyzuje jednoznacznie, jak menedżerowie powinni rozwiązywać sytuacje konfliktu między sprzecznymi oczekiwaniami. W efekcie pozostawia im znaczną autonomię decyzyjną, co może prowadzić zarówno do elastycznego kształtowania strategii, jak i do ryzyka nadużyć. Relacje z interesariuszami, będące rezultatem aspiracji i celów różnych grup, odzwierciedlają się w praktykach zarządzania organizacjami. Stanowią one podstawę rozumienia i wdrażania koncepcji społecznej odpowiedzialności biznesu (CSR), której celem jest poszukiwanie działań przynoszących równocześnie korzyści zarówno dla pracowników, jak i dla przedsiębiorstwa⁴⁷¹.

Teoria interesariuszy umożliwia zatem reinterpretację efektów zewnętrznych jako skutków działalności przedsiębiorstwa rozłożonych nierównomiernie między różne grupy społeczne. Negatywne efekty zewnętrzne nie są w tym ujęciu jedynie kategorią ekonomiczną, lecz również problemem relacji, zaufania, legitymizacji i jakości zarządzania. Ograniczanie kosztów społecznych OZE wymaga więc nie tylko ich pomiaru i internalizacji, ale także rozpoznania oczekiwań interesariuszy, prowadzenia dialogu, zapewnienia przejrzystości decyzji oraz tworzenia mechanizmów partycypacji i rekompensat. W tym sensie teoria interesariuszy wzmacnia podejście Coase'a i Ostrom, wskazując, że skuteczna internalizacja efektów zewnętrznych zależy od jakości relacji między przedsiębiorstwem, administracją publiczną i społecznością lokalną.

Rozwinięciem tej perspektywy jest teoria zbiorowych decyzji interesariuszy (ang. *enterprise theory of stakeholders' collective choice*), która przesuwa akcent z samego rozpoznawania oczekiwań różnych grup na ich aktywny udział w procesie współdecydowania. Teoria ta akcentuje znaczenie konsensusu, współodpowiedzialności i podziału kontroli, co w kontekście OZE pozwala interpretować lokalne porozumienia, modele współwłasności energetycznej, klastry energii, spółdzielnie energetyczne czy fundusze kompensacyjne jako narzędzia

⁴⁷⁰ H. Yang, *A Review of the Enterprise Theory: Formation, Essence, Boundary and Goal*, „Scientific and Social Research” t. 4 nr 1 (2022), DOI: 10.36922/ssr.v4i1.1314, <https://ojs.bbwpublisher.com/index.php/ssr/article/view/4583>.

⁴⁷¹ A. Wójcik-Karpacz, *Implikacje praktyczne teorii interesariuszy: czego mniejsze firmy mogą się nauczyć od większych względem interesariuszy wewnętrznych?*, „Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach” t. 348 (2018).

ograniczania konfliktów wynikających z nierównomiernego rozkładu kosztów i korzyści transformacji energetycznej. Im większy udział interesariuszy w projektowaniu, wdrażaniu i kontroli inwestycji, tym większa szansa na przekształcenie negatywnych efektów zewnętrznych w pozytywne efekty społeczne, takie jak wzrost zaufania, lokalne korzyści ekonomiczne, rozwój kapitału społecznego i wyższy poziom akceptacji społecznej⁴⁷².

Teoria interesariuszy oraz jej rozwinięcie w postaci teorii zbiorowych decyzji interesariuszy pozwalają przejść od ekonomicznego rozumienia efektów zewnętrznych do zarządczego ujęcia kosztów społecznych. Wskazują one, że skuteczna internalizacja negatywnych skutków działalności przedsiębiorstw OZE wymaga nie tylko instrumentów regulacyjnych i ekonomicznych, lecz także identyfikacji grup dotkniętych inwestycją, prowadzenia dialogu, współdecydowania, monitorowania skutków oraz tworzenia mechanizmów kompensacyjnych. W takim ujęciu koszty społeczne i zdrowotne mogą być traktowane nie tylko jako uboczne konsekwencje transformacji energetycznej, ale również jako przedmiot świadomego pomiaru, oceny i doskonalenia w ramach systemów zarządzania.

Z perspektywy nauk o zarządzaniu i jakości teoria efektów zewnętrznych stanowi ramę dla projektowania i oceny systemów zarządzania odpowiedzialnością środowiskową i społeczną. Koncepcje Pigou, Coase'a i Ostrom tłumaczą, w jaki sposób negatywne skutki uboczne (np. hałas, stres, degradacja krajobrazu, ryzyka zdrowotne) mogą być identyfikowane, mierzone i minimalizowane poprzez narzędzia zarządcze takie jak ocena oddziaływania społecznego (SIA), ocena wpływu na zdrowie (HIA), społeczny cykl życia produktu (S-LCA) oraz systemy jakości środowiskowej. Integracja tych podejść pozwala traktować koszty społeczno-zdrowotne nie jako nieuniknione skutki transformacji energetycznej, lecz jako parametr jakości zarządzania – odzwierciedlający poziom zaawansowania instytucjonalną, poziom dialogu społecznego i efektywność systemu rekompensat.

W tym ujęciu efektywne zarządzanie kosztami społecznymi OZE polega nie tylko na ich ograniczaniu, ale także na przekształcaniu negatywnych efektów zewnętrznych w pozytywne – poprzez rozwój lokalny, innowacje społeczne oraz budowanie kapitału zaufania między społecznością, inwestorem i administracją publiczną.

W kontekście zarządzania kosztami społecznymi odnawialnych źródeł energii warto odnieść się również do założeń teorii dynamicznych zdolności⁴⁷³. Jej istota – zdolność organizacji do elastycznego reagowania na zmiany otoczenia i wykorzystywania innowacji – znajduje zastosowanie także w procesie ograniczania negatywnych efektów zewnętrznych transformacji energetycznej. Perspektywa ta pozwala postrzegać adaptacyjność i uczenie się organizacyjne jako czynniki wspierające efektywne zarządzanie wpływem społecznym i środowiskowym.

⁴⁷² D. Wang i in., *Stakeholder Symbiosis in the Context of Corporate Social Responsibility*, „Symmetry” t. 12 nr 11 (2020), DOI: 10.3390/sym12111897, <https://www.mdpi.com/2073-8994/12/11/1897>.

⁴⁷³ D.J. Teece, *A capability theory of the firm: an economics and (Strategic) management perspective*, „New Zealand Economic Papers” t. 53 nr 1 (2019), DOI: 10.1080/00779954.2017.1371208, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00779954.2017.1371208>.

Logikę takiego podejścia przedstawia rysunek 29, ukazujący przejście od rozpoznania efektów zewnętrznych i grup interesariuszy do mechanizmów internalizacji kosztów oraz oceny ich skutków z perspektywy sprawiedliwości energetycznej.



Rys. 29. Schemat zarządzania kosztami społecznymi OZE w ujęciu efektów zewnętrznych i interesariuszy

Źródło: opracowanie własne

Nawet najbardziej zaawansowane mechanizmy zarządcze wymagają uzupełnienia o wymiar normatywny – pytanie o sprawiedliwość i równy podział korzyści i obciążeń w procesie transformacji. Odpowiedzi na te kwestie dostarcza współczesna teoria sprawiedliwości energetycznej, która stanowi punkt wyjścia kolejnego podrozdziału.

4.2. SPRAWIEDLIWOŚĆ ENERGETYCZNA JAKO KONTEKST ZARZĄDZANIA KOSZTAMI SPOŁECZNYMI OZE

Podczas, gdy klasyczne ujęcia Pigou i Coase’a koncentrowały się na mechanizmach kompensacji i internalizacji kosztów zewnętrznych, współczesne koncepcje, takie jak teoria sprawiedliwości energetycznej (Sovacool & Dworkin) – poszerzają perspektywę o wymiar społeczny i etyczny. Wskazują, że dystrybucja kosztów i korzyści energetycznych nie może być analizowana wyłącznie ekonomicznie, lecz musi uwzględniać zasadę równości, partycypacji i uznania społecznego⁴⁷⁴.

Sovacool i Dworkin wyróżnili trzy główne wymiary sprawiedliwości energetycznej: dystrybucyjny, proceduralny i uznania. Pierwszy z nich – sprawiedliwość dystrybucyjna – odnosi się do równomiernego podziału korzyści i obciążeń wynikających z produkcji oraz konsumpcji energii. W kontekście odnawialnych źródeł energii oznacza to, że społeczności lokalne nie powinny ponosić nieproporcjonalnych kosztów (np. hałasu, utraty walorów krajobrazu, ograniczeń przestrzennych), nie czerpiąc jednocześnie adekwatnych korzyści ekonomicznych czy infrastrukturalnych. Sprawiedliwość proceduralna natomiast podkreśla wagę

⁴⁷⁴ B.K. Sovacool, M.H. Dworkin, *Energy Justice: Conceptual Insights and Practical Applications*, „Applied Energy” t. 142 (2015), <https://ssrn.com/abstract=3447328>.

przejrzystych procesów decyzyjnych, dostępu do informacji i realnego uczestnictwa interesariuszy w planowaniu i lokalizacji inwestycji. Z kolei sprawiedliwość uznania koncentruje się na poszanowaniu różnorodności społecznej i kulturowej – uwzględnieniu głosu grup, które często pozostają na marginesie debaty energetycznej, a które najczęściej ponoszą bezpośrednie skutki transformacji⁴⁷⁵.

W perspektywie sprawiedliwości energetycznej kluczowe staje się nie tylko pytanie, kto korzysta z transformacji, lecz także kto ponosi jej ukryte koszty – w tym np. wywłaszczenie, utratę ziemi lub ograniczenie dotychczasowych funkcji użytkowych terenów. Chociaż większość instalacji odnawialnych nie wymaga relokacji ludności, badania pokazują, że duże projekty infrastruktury OZE mogą prowadzić do przesiedleń i napięć społecznych, zwłaszcza tam, gdzie zajmują znaczące obszary gruntów lub ingerują w tradycyjne sposoby użytkowania terenu. W badaniach nad rozwojem energetyki wiatrowej w krajach Globalnego Południa wykazano, że budowa mega-farm wiatrowych w strefach wiejskich i na terenach rdzennych społeczności może prowadzić do pośrednich form wywłaszczenia – utraty dostępu do pastwisk, szlaków migracji zwierząt, pól uprawnych czy zasobów naturalnych, co zmusza mieszkańców do zmiany miejsca zamieszkania lub źródeł utrzymania⁴⁷⁶. Podobne zjawiska odnotowano przy budowie wielkoskalowych elektrowni słonecznych, gdzie koncentracja gruntów i wzrost wartości ziemi prowadziły do wypychania drobnych rolników z lokalnych rynków ziemi⁴⁷⁷. Relokacje są najlepiej udokumentowane w przypadku wielkich projektów hydroenergetycznych, gdzie przesiedlenia mają wymiar masowy (np. 1,3 mln osób w przypadku zapory Trzech Przełomów), jednak literatura wskazuje, że również OZE lądowe mogą powodować „displacement without moving”, czyli utratę terytorium i środków produkcji bez fizycznego przesiedlenia⁴⁷⁸. W kontekście transformacji energetycznej oznacza to, że nawet „zielone” projekty mogą generować koszty społeczne związane z miejscem, tożsamością i sprawiedliwością, jeśli proces planowania nie obejmuje konsultacji, rekompensat i ochrony użytkowników gruntów.

⁴⁷⁵ Ibid.

⁴⁷⁶ S. Avila, *Environmental justice and the expanding geography of wind power conflicts*, „Sustainability Science” t. 13 nr 3 (2018), DOI: 10.1007/s11625-018-0547-4, <http://link.springer.com/10.1007/s11625-018-0547-4>; A. Dunlap, *Negotiating Climate Change in Crisis. 10. End the „Green” Delusions: Industrial Scale Renewable Energy is Fossil Fuel+*, Cambridge 2021.

⁴⁷⁷ K. Yenneti, R. Day, *Procedural (in)justice in the implementation of solar energy: The case of Charanaka solar park, Gujarat, India*, „Energy Policy” t. 86 (2015), DOI: 10.1016/j.enpol.2015.08.019, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030142151530063X>.

⁴⁷⁸ J. Baka, *Making Space for Energy: Wasteland Development, Enclosures, and Energy Disposessions*, „Antipode” t. 49 nr 4 (2017), DOI: 10.1111/anti.12219, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/anti.12219>; B.K. Sovacool i in., *Dispossessed by decarbonisation: Reducing vulnerability, injustice, and inequality in the lived experience of low-carbon pathways*, „World Development” t. 137 (2021), DOI: 10.1016/j.worlddev.2020.105116, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0305750X20302436>.

Włączenie perspektywy sprawiedliwości energetycznej do analiz kosztów społecznych OZE pozwala reinterpretować pojęcie efektów zewnętrznych, przesuując akcent z ekonomicznej kompensacji szkód na zarządzanie relacjami społecznymi i zdrowotnymi. W tym sensie sprawiedliwość energetyczna staje się nowoczesnym paradygmatem zarządzania jakością systemów energetycznych, w którym równowaga między efektywnością technologiczną, akceptacją społeczną i ochroną zdrowia publicznego stanowi kluczowy element oceny kosztów społecznych.

Zarządzanie kosztami społecznymi OZE w duchu sprawiedliwości energetycznej oznacza zatem nie tylko redukcję negatywnych efektów zewnętrznych, lecz także aktywną dystrybucję korzyści w sposób sprzyjający spójności społecznej i rozwojowi lokalnemu. W tym ujęciu transformacja energetyczna jest procesem nie tyle technologicznym, co społecznym – wymagającym uczciwego dialogu, współuczestnictwa i transparentności w podejmowaniu decyzji, aby zrównoważony rozwój był postrzegany jako wspólna wartość, a nie koszt.

4.3. ZDROWOTNE KONSEKWENCJE TRANSFORMACJI ENERGETYCZNEJ JAKO KONTEKST KOSZTÓW SPOŁECZNYCH

Transformacja energetyczna w kierunku odnawialnych źródeł energii niesie ze sobą wymierne korzyści zdrowotne wynikające z ograniczenia emisji zanieczyszczeń powietrza. Jak wskazują autorzy opracowania *Public Health Improvement by Reducing Air Pollution*⁴⁷⁹, przejście z energetyki opartej na paliwach kopalnych na systemy OZE prowadzi do znacznej redukcji emisji pyłów zawieszonych PM_{2,5} oraz gazów takich jak SO_x i NO_x — kluczowych czynników ryzyka chorób układu oddechowego i krążenia. Badania oparte na modelach epidemiologicznych (Jacobson⁴⁸⁰; Goodkind et al.⁴⁸¹; Cofala et al.⁴⁸²) wskazali, że globalne wycofanie paliw kopalnych mogłoby zmniejszyć przedwczesną śmiertelność o od 1 do 4 milionów przypadków rocznie. Według tych analiz, korzyści ekonomiczne wynikające z poprawy jakości powietrza w krajach wysokoemisyjnych sięgają setek

⁴⁷⁹ A. Badreddine, H. Larbi Cherif, *Public health improvement by reducing air pollution: A strategy for the transition to renewable energy*, „Health Economics and Management Review” t. 5 nr 1 (2024), DOI: 10.61093/hem.2024.1-01, <https://armgpublishing.com/journals/hem/volume-5-issue-1/article-1/>.

⁴⁸⁰ M.Z. Jacobson, *Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security*, „Energy Environ. Sci.” t. 2 nr 2 (2009), DOI: 10.1039/B809990C, <https://xlink.rsc.org/?DOI=B809990C>.

⁴⁸¹ A.L. Goodkind i in., *Fine-scale damage estimates of particulate matter air pollution reveal opportunities for location-specific mitigation of emissions*, „Proceedings of the National Academy of Sciences” t. 116 nr 18 (2019), DOI: 10.1073/pnas.1816102116, <https://pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1816102116>.

⁴⁸² C. J. i in., *Implications of energy trajectories from the World Energy Outlook for 2015 for India's air pollution. Final Report submitted to the International Energy Agency.*, „International Institute for Applied Systems Analysis” (2015).

miliardów dolarów rocznie, znacznie przewyższając koszty inwestycji w transformację energetyczną.

Badreddine i Cherif podkreślili również, że poprawa zdrowia publicznego stanowi jeden z najważniejszych efektów zewnętrznych transformacji energetycznej - nierzadko bardziej odczuwalny społecznie niż same redukcje emisji CO₂. Zmniejszenie stężeń zanieczyszczeń przekłada się nie tylko na spadek liczby hospitalizacji i absencji chorobowych, ale także na obniżenie kosztów systemów ochrony zdrowia. W ujęciu przestrzennym korzyści te koncentrują się w rejonach zurbanizowanych i przemysłowych, gdzie dotychczas dominowała energetyka węglowa. Z perspektywy polityki zdrowotnej autorzy podkreślają konieczność integracji planowania energetycznego z celami zdrowia publicznego – poprzez wspólne strategie redukcji emisji, monitorowanie jakości powietrza i ocenę skutków zdrowotnych (Health Impact Assessment). Wskazują, że takie podejście wzmacnia społeczny wymiar transformacji energetycznej, czyniąc ją bardziej sprawiedliwą i akceptowalną społecznie⁴⁸³.

Gallagher i Holloway przeprowadzili systematyczny przegląd badań nad zintegrowanym modelowaniem skutków dekarbonizacji dla jakości powietrza i zdrowia publicznego w Stanach Zjednoczonych. Na podstawie 26 analiz empirycznych autorzy wykazali, że redukcja emisji paliw kopalnych prowadzi do równoczesnej poprawy jakości powietrza i spadku śmiertelności związanej z chorobami układu oddechowego i sercowo-naczyniowego. Zmniejszenie emisji prekursorów zanieczyszczeń, takich jak SO₂, NO_x i pyłów zawieszonych PM_{2,5}, przekłada się na niższe stężenia wtórnych aerozoli w atmosferze – mimo że zależność ta ma charakter nieliniowy. Największe efekty zdrowotne uzyskano przy ograniczeniu emisji z elektrowni węglowych. W niektórych scenariuszach redukcja PM_{2,5} pozwoliła uniknąć nawet kilku tysięcy przedwczesnych zgonów rocznie (Driscoll et al., 2015; Wiser et al., 2016). W innych scenariuszach (Buonocore i in., 2016; Millstein i in.; 2017) stwierdzono, że korzyści zdrowotne i ekonomiczne wynikające z poprawy jakości powietrza były większe niż koszty wdrożenia polityk klimatycznych, a w wielu przypadkach przewyższały znormalizowany koszt energii z nowych instalacji wiatrowych i fotowoltaicznych⁴⁸⁴.

Efekty zdrowotne transformacji mają charakter lokalny i krótkoterminowy, w przeciwieństwie do globalnych skutków redukcji emisji CO₂, które ujawniają się po dekadach. Oznacza to, że inwestycje w OZE przynoszą szybkie korzyści społeczne w regionach dotychczas narażonych na zanieczyszczenia powietrza – zwłaszcza tam, gdzie koncentrowała się energetyka węglowa. Wartością dodaną transformacji jest także ograniczenie nierówności środowiskowych: społeczności zlokalizowane w pobliżu źródeł emisji uzyskują największą poprawę jakości powietrza, co stanowi element sprawiedliwości środowiskowej. Gallagher i Holloway zauważyli jednak, że

⁴⁸³ A. Badreddine, H. Larbi Cherif, *Public health improvement by reducing air pollution: A strategy for the transition to renewable energy...*

⁴⁸⁴ C.L. Gallagher, T. Holloway, *Integrating Air Quality and Public Health Benefits in U.S. Decarbonization Strategies*, „Frontiers in Public Health” t. 8 (2020), DOI: 10.3389/fpubh.2020.563358, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2020.563358/full>.

niektóre strategie, np. szybka elektryfikacja transportu bez równoległej dekarbonizacji źródeł prądu, mogą lokalnie zwiększać stężenia ozonu lub $PM_{2,5}$ w rejonach z dominującą produkcją energii z węgla. W ujęciu ekonomicznym monetyzowane współkorzyści zdrowotne mieściły się w przedziale 50–250 USD za tonę unikniętej emisji CO_2 , co czyniło je porównywalnymi lub większymi od kosztów wdrażania polityk klimatycznych⁴⁸⁵.

W badaniu Sanyal i Wuebbles analizowano wpływ przejścia na gospodarkę opartą na czystej energii na jakość powietrza w skali globalnej, z wykorzystaniem zintegrowanego modelu Community Earth System Model (CESM). Autorzy porównali scenariusz społeczeństwa bez paliw kopalnych (*Clean Energy Society, CES*) z dwiema ścieżkami referencyjnymi, które zakładają utrzymanie tradycyjnych źródeł energii. Wyniki symulacji wskazują, że całkowite odejście od paliw kopalnych w sektorach energetyki i transportu mogłoby doprowadzić do znacznej poprawy jakości powietrza na wszystkich kontynentach⁴⁸⁶.

Model CESM wykazał redukcję ozonu troposferycznego (O_3) średnio o 20–30% w porównaniu z bazowymi scenariuszami emisji, przy czym w regionach o najwyższych stężeniach – zwłaszcza w Azji Południowej i Wschodniej – poprawa przekraczała 30%. Jeszcze większe zmiany odnotowano w przypadku pyłów zawieszonych: globalne stężenia $PM_{2,5}$ spadły o ponad 50%, a dla frakcji antropogenicznej redukcja wyniosła około 60%. Tak duże obniżenie emisji przełożyło się na znaczący spadek liczby dni z przekroczeniami standardów jakości powietrza (NAAQS i WHO), które w wielu miastach całkowicie zniknęły⁴⁸⁷.

W ujęciu regionalnym, największą poprawę odnotowano w miastach o dotychczas wysokich poziomach zanieczyszczeń – m.in. w Indiach, Chinach i krajach Afryki Subsaharyjskiej. W scenariuszu czystej energii liczba dni o jakości powietrza uznanej za „niezdrową” (wg wskaźnika AQI – Indeks Jakości Powietrza) spadła w tych obszarach z ponad 30% do mniej niż 10% w skali roku. W regionach Ameryki Północnej i Europy model nie wykazał praktycznie żadnych dni z przekroczeniami norm WHO. Autorzy podkreślają, że poprawa jakości powietrza w scenariuszu CES wynika bezpośrednio z wyeliminowania emisji SO_2 , NO_x i cząstek węglowych pochodzących ze spalania paliw kopalnych w energetyce, transporcie i przemyśle. Jednocześnie zauważają, że nawet przy utrzymaniu części emisji z biomasy, efekt netto pozostaje jednoznacznie pozytywny. Wnioski z badań są jednoznaczne: globalna transformacja w kierunku czystych źródeł energii znacząco poprawiłaby jakość powietrza i ograniczyła ekspozycję ludności na ozon i pyły zawieszone – odpowiednio o około 42,5% i 54,7%. Autorzy podkreślają, że skutki takiej transformacji miałyby charakter powszechny, obejmując zarówno kraje wysoko rozwinięte, jak i rozwijające się, czyniąc czystą energię jednym z kluczowych narzędzi poprawy zdrowia publicznego w skali globalnej⁴⁸⁸.

⁴⁸⁵ Ibid.

⁴⁸⁶ S. Sanyal, D.J. Wuebbles, *The Potential Impact of a Clean Energy Society on Air Quality*, „Earth’s Future” t. 10 nr 6 (2022), DOI: 10.1029/2021EF002558, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2021EF002558>.

⁴⁸⁷ Ibid.

⁴⁸⁸ Ibid.

O ile modelowe badania Sanyal i Wuebbles ukazało globalny wpływ transformacji energetycznej na poprawę jakości powietrza, o tyle analizy ekonometryczne i panelowe pozwalają dostrzec jej bezpośrednie przełożenie na zdrowie populacji.

Caruso i współautorzy wskazali, że w grupie 12 państw UE wzrost udziału energii odnawialnej stanowił istotny czynnik wydłużający średnią długość życia⁴⁸⁹. Podobne wyniki uzyskali Dorbonova i Sugözü, którzy w panelu krajów azjatyckich wykazali, że rozwój sektora OZE przyczynia się do spadku kosztów opieki zdrowotnej i poprawy zdrowia publicznego⁴⁹⁰. Z kolei Aderinto dowiódł, że w krajach Afryki Zachodniej wykorzystanie energii odnawialnej wiąże się z niższą śmiertelnością dzieci i wyższą oczekiwaną długością życia⁴⁹¹.

Mechanizmy stojące za tymi zależnościami są wielowymiarowe. Obejmują mniejsze narażenie na zanieczyszczenia środowiskowe, które ogranicza występowanie chorób układu krążenia, oddechowego i powikłań okołoporodowych, a także redukcję zanieczyszczeń powietrza w gospodarstwach domowych, gdzie czysta energia elektryczna zastępuje biomasę lub naftę. Ważnym kanałem pośrednim są również korzyści ekonomiczne wynikające z inwestycji i zatrudnienia w sektorze OZE, które wzmacniają społeczne determinanty zdrowia. Jak zauważa Kumar, korzyści te obejmują nie tylko poprawę dobrostanu społecznego, lecz także szersze efekty środowiskowe, takie jak redukcja emisji gazów cieplarnianych czy ograniczenie zużycia wody, które łącznie wspierają zdrowie i jakość życia populacji⁴⁹².

Rozwój rozproszonej energetyki odnawialnej i elektryfikacja kluczowych usług mogą znacząco poprawić jakość, odporność i równość systemów opieki zdrowotnej. Jak pokazują Gurieff i in., integracja odnawialnych źródeł energii w infrastrukturze medycznej – poprzez lokalne instalacje, magazynowanie i zarządzanie popytem – zwiększa niezawodność dostaw energii, ogranicza emisje operacyjne oraz zmniejsza narażenie pacjentów i personelu na zanieczyszczenia. Szpitale wykorzystujące OZE stają się jednocześnie modelami zrównoważonych

⁴⁸⁹ G. Caruso, E. Colantonio, S.A. Gattone, *Relationships between Renewable Energy Consumption, Social Factors, and Health: A Panel Vector Auto Regression Analysis of a Cluster of 12 EU Countries*, „Sustainability” t. 12 nr 7 (2020), DOI: 10.3390/su12072915, <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/7/2915>.

⁴⁹⁰ İ. Dorbonova, İ.H. Sugözü, *Analyzing the relationship between health expenditure, renewable energy and life expectancy: evidence from Asian countries*, „ESAM Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi” t. 5 nr 1 (2024), DOI: 10.53662/esamdergisi.1459607, <http://dergipark.org.tr/en/doi/10.53662/esamdergisi.1459607>.

⁴⁹¹ E. Aderinto, *Energy Consumption, Environmental Quality and Health Nexus in West African Countries: Implications for Sustainable Development*, 10 lipca 2023 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-3057950/v1>.

⁴⁹² M. Kumar, *Social, Economic, and Environmental Impacts of Renewable Energy Resources* [w:] *Wind Solar Hybrid Renewable Energy System*, IntechOpen 2020.

centrów energetycznych, które mogą pełnić rolę wzorców dekarbonizacji w swoich społecznościach⁴⁹³.

Zdecentralizowane formy energetyki społecznościowej sprzyjają współtworzeniu lokalnych wizji transformacji energetycznej. Jak wskazali Hurlbert i in.⁴⁹⁴ oraz Stephens⁴⁹⁵, takie rozwiązania wzmacniają partycypację społeczną i pozwalają uniknąć sytuacji, w których korzyści zdrowotne z OZE trafiają jedynie do uprzywilejowanych grup. Stephens zwraca uwagę, że bez celowego projektowania i polityk równościowych elektryfikacja może paradoksalnie pogłębiać istniejące nierówności. W tym kontekście kluczowe znaczenie zyskuje idea sprawiedliwej transformacji, akcentowana w badaniach nad odejściem od węgla w Republice Południowej Afryki⁴⁹⁶ oraz w rekomendacjach warsztatów Amerykańskiego Towarzystwa Chorób Klatki Piersiowej (American Thoracic Society, ATS), które podkreślają konieczność łączenia dekarbonizacji z zasadami równości i włączenia społecznego (ATS w 2023 roku zwołało grupę 39 klinicystów, badaczy, rzeczników społeczności, administratorów programów badawczych i ekspertów polityki zdrowotnej, aby scharakteryzować zagrożenia dla zdrowia układu oddechowego i obawy dotyczące sprawiedliwości energetycznej wynikające ze zmiany klimatu)⁴⁹⁷.

Choć liczne badania potwierdziły, że transformacja energetyczna oparta na odnawialnych źródłach energii przynosi znaczne korzyści zdrowotne i społeczne, proces ten nie jest pozbawiony wyzwań. Wraz ze wzrostem skali wykorzystania technologii OZE pojawiają się także nowe źródła obciążeń zdrowotnych i środowiskowych, wynikające m.in. z hałasu turbin wiatrowych, efektu migotania cienia, emisji mikrocząstek z paneli fotowoltaicznych czy niekontrolowanej utylizacji materiałów i baterii. Dlatego dla pełnej oceny kosztów społecznych transformacji konieczne jest również uwzględnienie potencjalnych negatywnych skutków zdrowotnych związanych z rozwojem odnawialnych technologii.

Rozwój technologii odnawialnych, mimo licznych korzyści środowiskowych, wiąże się z nowymi obciążeniami zdrowotnymi i społecznymi, które ujawniają się w całym cyklu życia instalacji – od wydobycia surowców, przez produkcję i eksploatację, po etap recyklingu.

⁴⁹³ N. Gurieff i in., *Healthy Power: Reimagining Hospitals as Sustainable Energy Hubs*, „Sustainability” t. 12 nr 20 (2020), DOI: 10.3390/su12208554, <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/20/8554>.

⁴⁹⁴ M. Hurlbert i in., *Diverse community energy futures in Saskatchewan, Canada*, „Clean Technologies and Environmental Policy” t. 22 nr 5 (2020), DOI: 10.1007/s10098-020-01859-2, <https://link.springer.com/10.1007/s10098-020-01859-2>.

⁴⁹⁵ J.C. Stephens, *Electrification: Opportunities for social justice and social innovation*, „MRS Bulletin” t. 46 nr 12 (2021), DOI: 10.1557/s43577-021-00245-7, <https://link.springer.com/10.1557/s43577-021-00245-7>.

⁴⁹⁶ J. Irlam i in., *The ‘just transition’ and health in South Africa*, „South African Health Review” t. 25 (2023), DOI: 10.61473/001c.75137, <https://sahr.hst.org.za/article/75137-the-just-transition-and-health-in-south-africa>.

⁴⁹⁷ D.P. Croft i in., *Climate Change and Respiratory Health: Opportunities to Contribute to Environmental Justice: An Official American Thoracic Society Workshop Report*, „Annals of the American Thoracic Society” t. 22 nr 5 (2025), DOI: 10.1513/AnnalsATS.202502-219ST, <https://www.atsjournals.org/doi/10.1513/AnnalsATS.202502-219ST>.

Łańcuchy dostaw baterii i materiałów krytycznych (lit, kobalt, metale ziem rzadkich) generują ryzyko narażenia zawodowego i środowiskowego na pyły, metale ciężkie i odczynniki chemiczne, szczególnie w regionach pozbawionych kontroli przemysłowych. Jak wskazali Yu i Manthiram, zrównoważony dobór materiałów, udoskonalenie procesów przetwarzania oraz nadzór nad końcem cyklu życia baterii są kluczowe dla ograniczenia zewnętrznych kosztów zdrowotnych technologii magazynowania energii⁴⁹⁸. Podobne wnioski przedstawili Pakhira i in., podkreślili oni znaczenie projektowania materiałów wodorowych i baterijnych z uwzględnieniem pełnego cyklu życia⁴⁹⁹.

Produkcja modułów fotowoltaicznych i systemów solarnych termicznych obejmuje procesy chemiczne z udziałem pyłu krzemowego, rozpuszczalników oraz cienkowarstwowych półprzewodników zawierających toksyczne pierwiastki, takie jak kadm. W przypadku braku odpowiednich norm i systemów recyklingu może to prowadzić do zagrożeń dla zdrowia pracowników i lokalnych społeczności. Adekanmbi i in. zalecali kompleksową ocenę cyklu życia i kontrolę EHS (environmental, health and safety)⁵⁰⁰, a Castro i in. – w analizie brazylijskiego sektora PV – wskazują na konieczność uwzględniania kosztów zdrowotnych produkcji i utylizacji w całkowitym bilansie społecznym⁵⁰¹.

Fotowoltaika bywa kojarzona z promieniowaniem elektromagnetycznym, ale pomiary pokazują, że jest to technologia o jednych z najniższych poziomów emisji w energetyce. Panele same w sobie są elementami biernymi, a źródłem emisji są głównie inwertery, przewody i urządzenia energoelektroniczne. Generują one pola elektromagnetyczne podobne do innych instalacji elektrycznych – z reguły na poziomach istotnych z punktu widzenia kompatybilności elektromagnetycznej (zakłócenia radiowe, problem dla służb łączności), ale nie zbliżających się do norm ekspozycji ludności na pola elektromagnetyczne. Badania nad systemami z różnymi konfiguracjami pokazują, że odpowiednio zaprojektowane i zgodne z normami instalacje PV spełniają wymagania regulacyjne, a problemem jest raczej potencjalna interferencja radiowa niż udokumentowane ryzyko zdrowotne. Innymi słowy: emisje elektromagnetyczne z fotowoltaiki są realne technicznie, trzeba je kontrolować

⁴⁹⁸ X. Yu, A. Manthiram, *Sustainable Battery Materials for Next-Generation Electrical Energy Storage*, „Advanced Energy and Sustainability Research” t. 2 nr 5 (2021), DOI: 10.1002/aesr.202000102,

<https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/aesr.202000102>.

⁴⁹⁹ S. Pakhira, V. Kumar, S. Ghosh, *Revealing the Superior Electrocatalytic Performance of 2D Monolayer WSe₂ Transition Metal Dichalcogenide for Efficient H₂ Evolution Reaction*, „Advanced Materials Interfaces” t. 10 nr 8 (2023), DOI: 10.1002/admi.202202075, <https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/admi.202202075>.

⁵⁰⁰ Alex Olanrewaju Adekanmbi i in., *Assessing the environmental health and safety risks of solar energy production*, „World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences” t. 17 nr 2 (2024), DOI: 10.30574/wjbphs.2024.17.2.0080, <https://wjbphs.com/content/assessing-environmental-health-and-safety-risks-solar-energy-production>.

⁵⁰¹ P.H.G.R.P. Castro i in., *Integrated analysis of photovoltaic system externalities in Brazil: public health expenditures, energy quality, architectural aspects and real estate value*, „Renewable Energy and Environmental Sustainability” t. 7 (2022), DOI: 10.1051/rees/2022002, <https://www.rees-journal.org/10.1051/rees/2022002>.

projektowo i normatywnie, ale w obecnym stanie wiedzy nie ma podstaw, by traktować prawidłowo wykonane instalacje PV jako istotne zagrożenie dla zdrowia, tylko jako kolejny system elektryczny, który musi spełnić standardy bezpieczeństwa i kompatybilności⁵⁰².

Mimo częstych obaw społecznych związanych z rzekomymi zagrożeniami zdrowotnymi ze strony dużych instalacji fotowoltaicznych, dostępne dowody wskazują, że ryzyka zdrowotne związane z PV są znikome, a korzyści zdrowotne wynikające z ograniczenia emisji z paliw kopalnych – bardzo duże. Raport podkreśla, że panele PV nie emitują substancji toksycznych podczas pracy, a stosowane materiały – szkło, aluminium i polimery – są stabilne i szczelnie zamknięte. Nawet technologie cienkowarstwowe, mimo zawartości metali, cechują się wysoką trwałością, niską rozpuszczalnością i minimalnym ryzykiem uwolnienia toksyn, również w sytuacjach awaryjnych. Badania symulacyjne i testy wskazują, że współczesne moduły spełniają kryteria odpadów nietoksycznych, a w Europie i USA rozwijają się systemy ich zbiórki i recyklingu. Promieniowanie elektromagnetyczne generowane przez instalacje PV jest niższe niż typowe tło ekspozycji w gospodarstwach domowych, a w odległości kilku metrów od instalacji spada poniżej poziomów pomiarowych. Raport wskazuje także, że największe rzeczywiste zagrożenia dotyczą jedynie pracowników obsługi (porażenie prądem, ryzyko łuku elektrycznego), a nie osób mieszkających w pobliżu. Łączny efekt redukcji SO₂, NO_x i pyłu PM_{2,5} dzięki energii solarnej przynosi według NREL i LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory; Narodowe Laboratorium Lawrence’a Berkeley’a) korzyści zdrowotne szacowane na ok. 8 centów/kWh (uzyskana w analizach opartych na modelach epidemiologicznych i ekonomicznych), czyli więcej niż wartość samej energii. W świetle tych danych fotowoltaika jawi się jako technologia o minimalnych kosztach zdrowotnych i znaczących korzyściach dla zdrowia publicznego⁵⁰³.

Hałas generowany przez turbiny wiatrowe stanowi jeden z najczęściej dyskutowanych czynników wpływu energetyki wiatrowej na zdrowie i jakość życia mieszkańców. Aktualne badania nad wpływem hałasu turbin wiatrowych na zdrowie publiczne wskazują, że jego skutki mają głównie charakter psychospołeczny, a nie fizjologiczny. Jak podkreślają van Kamp i van den Berg, podstawowym skutkiem oddziaływania akustycznego turbin jest irytacja, której częstość wzrasta wraz z poziomem ekspozycji dźwięku. Reakcje te nie wynikają jednak wyłącznie z natężenia hałasu, lecz są silnie modulowane przez czynniki społeczne i percepcyjne – postawy wobec odnawialnych źródeł energii, zaufanie do instytucji oraz udział mieszkańców w procesie lokalizacyjnym inwestycji. W konsekwencji osoby, które postrzegają inwestycję jako narzuconą lub niesprawiedliwą, wykazują wyższy

⁵⁰² D. Kroner i in., *Radiated Electromagnetic Emission from Photovoltaic Systems—Measurement Results: Inverters and Modules*, „Energies” t. 17 nr 8 (2024), DOI: 10.3390/en17081893, <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/8/1893>.

⁵⁰³ T. Cleveland, *Health and Safety Impacts of Solar Photovoltaics*, „NC State University - NC Clean Energy Technology Center” (2017).

poziom stresu i zaburzeń snu, nawet przy porównywalnych warunkach akustycznych⁵⁰⁴.

Wyniki analiz nie potwierdzają jednoznacznego związku między hałasem turbin a chorobami somatycznymi – takimi jak nadciśnienie, cukrzyca czy schorzenia układu krążenia – choć pośrednie efekty stresu i deprywacji snu mogą zwiększać ryzyko takich zaburzeń. Dźwięki niskoczęstotliwościowe i infradźwięki, często wymieniane w debacie publicznej, nie wykazują odmiennego biologicznego działania niż dźwięki o wyższej częstotliwości i nie stanowią osobnej kategorii zagrożeń zdrowotnych. Co istotne, hałas turbin wiatrowych jest odbierany jako bardziej dokuczliwy niż hałas drogowy o podobnym natężeniu, co wynika z jego zmiennej modulacji amplitudy oraz powiązania z dominującą wizualnie obecnością turbin w krajobrazie⁵⁰⁵.

Światowa Organizacja Zdrowia rekomenduje, by średnioroczna ekspozycja na hałas turbin wiatrowych nie przekraczała 45 dB Lden, uznając ten poziom za graniczny dla ryzyka wystąpienia istotnej irytacji i obniżenia jakości życia⁵⁰⁶. Autorzy przeglądu wskazują jednak, że równie ważnym czynnikiem ochronnym jak redukcja hałasu jest sprawiedliwość proceduralna – włączenie społeczności lokalnych w procesy decyzyjne i zapewnienie transparentności inwestycji, co znacząco obniża poziom stresu i zwiększa akceptację społeczną dla energetyki wiatrowej⁵⁰⁷.

Badania Qu i Tsuchiya dotyczące percepcji hałasu turbin wiatrowych w obszarach podmiejskich Wielkiej Brytanii potwierdzają istnienie zależności między poziomem ekspozycji akustycznej a subiektywnie odczuwaną uciążliwością. Wśród 359 ankietowanych mieszkańców, zlokalizowanych w promieniu 2 km od trzech farm wiatrowych, około 16% deklaroowało słyszalność hałasu, a 11% zgłaszało wyraźne rozdrażnienie. Odsetek osób zirytowanych wzrastał z 3% przy ekspozycji poniżej 30 dBA do 30% przy poziomach powyżej 40 dBA, co wskazuje na typową relację dawka–odpowiedź. Choć nie stwierdzono istotnego związku między hałasem a zaburzeniami snu, autorzy zauważyli, że irytacja dźwiękiem pośrednio wpływała na jakość snu i samopoczucie. Subiektywne dolegliwości, takie jak bóle głowy czy dyskomfort uszu, częściej występowały u osób deklarujących negatywny stosunek do farm wiatrowych lub posiadających widok na turbiny z domu. Wrażliwość na hałas była również większa wśród osób starszych i o niższym poziomie wykształcenia, co podkreśla rolę czynników społeczno-demograficznych w odbiorze uciążliwości. Autorzy rekomendują utrzymanie minimalnej odległości około 900 metrów między turbinami a zabudową mieszkaniową oraz uwzględnianie aspektów wizualnych i społecznych w procesie planowania inwestycji, aby ograniczać potencjalne skutki zdrowotne i poprawić akceptację społeczną energetyki wiatrowej⁵⁰⁸.

⁵⁰⁴ I. van Kamp, F. van den Berg, *Health Effects Related to Wind Turbine Sound: An Update*, „International Journal of Environmental Research and Public Health” t. 18 nr 17 (2021), DOI: 10.3390/ijerph18179133, <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/17/9133>.

⁵⁰⁵ Ibid.

⁵⁰⁶ World Health Organization (WHO). Regional Office for Europe, *Environmental Noise Guidelines for the European Region*, 2019.

⁵⁰⁷ I. van Kamp, F. van den Berg, *Health Effects Related to Wind Turbine Sound: An Update...*

⁵⁰⁸ F. Qu, A. Tsuchiya, *Perceptions of Wind Turbine Noise and Self-Reported Health in Suburban Residential Areas*, „Frontiers in Psychology” t. 12 (2021), DOI:

W odróżnieniu od farm wiatrowych zlokalizowanych na lądzie, instalacje morskie (offshore) charakteryzują się znacznie mniejszym oddziaływaniem akustycznym na otoczenie. Analiza Argüelles Díaz i in. przeprowadzona dla eksperymentalnej stacji E2O u wybrzeży Asturii wykazała, że maksymalne poziomy hałasu generowanego przez turbiny wynosiły ok. 52 dBA w bezpośrednim sąsiedztwie instalacji i spadały do około 30 dBA przy linii brzegowej, pozostając wyraźnie poniżej obowiązujących norm środowiskowych. Autorzy podkreślają, że dźwięk z turbin morskich ulega silnemu tłumieniu w przestrzeni wodno-powietrznej, a jego wpływ na zdrowie i komfort mieszkańców wybrzeża jest praktycznie pomijalny. Wyniki te potwierdzają, że lokalizacja farm wiatrowych na morzu może istotnie ograniczać społeczne i zdrowotne skutki hałasu, stanowiąc kompromis między rozwojem energetyki wiatrowej a ochroną dobrostanu społeczności przybrzeżnych⁵⁰⁹.

Najnowsze badania akustyczne wykazują, że zmienność dźwięku turbin wiatrowych wynika nie tylko z modulacji amplitudy, ale także z modulacji częstotliwości, co może zwiększać subiektywne odczucie dokuczliwości hałasu, mimo że poziomy dźwięku mieszczą się w granicach norm środowiskowych⁵¹⁰. Najnowsze badania modelowe prowadzone w Polsce (Stępień i in., 2023) wykazały, że stosowane obecnie metody obliczeń akustycznych (ISO 9613-2 i CNOSSOS-EU) nie w pełni odwzorowują propagację niskoczęstotliwościowego hałasu generowanego przez turbiny wiatrowe. Rzeczywiste pomiary wskazują na różnice sięgające nawet 20 dB w zakresie infradźwięków (1–63 Hz), co sugeruje, że standardowe analizy środowiskowe mogą niedoszacowywać zasięgu i intensywności tych dźwięków. Autorzy podkreślają potrzebę rozwoju bardziej precyzyjnych modeli uwzględniających rzeczywiste warunki atmosferyczne i terenowe, aby dokładniej oceniać potencjalne oddziaływanie akustyczne turbin wiatrowych na zdrowie i komfort mieszkańców⁵¹¹.

Badania nad migotaniem cienia generowanym przez turbiny wiatrowe pokazały, że jego wpływ zdrowotny ma przede wszystkim charakter psychospołeczny, a nie fizjologiczny. Analiza obejmująca 61 farm wiatrowych i 35 tys. domów w USA wskazuje, że choć modelowane godziny ekspozycji dobrze przewidują, kto zauważy zjawisko, to poziom irytacji tylko słabo zależy od rzeczywistej intensywności migotania. Znacznie silniej działają czynniki społeczne: stosunek do farmy, wrażliwość na hałas, wykształcenie, a nawet to, czy mieszkańcy czerpią korzyści finansowe z projektu. Około 17% osób doświadcza wysokiej irytacji, lecz nie

10.3389/fpsyg.2021.736231,

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2021.736231/full>.

⁵⁰⁹ K.M. Argüelles Díaz i in., *Simplified Assessment on the Wind Farm Noise Impact of the E2O Experimental Offshore Station in the Asturian Coast*, „Energies” t. 13 nr 21 (2020), DOI: 10.3390/en13215788, <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/21/5788>.

⁵¹⁰ M. Czapla, T. Wszolek, *Analysis of Wind Turbine Acoustic Signals in Terms of Detecting Amplitude Modulation and Frequency Deviation* [w:] *Proceedings of the 10th Convention of the European Acoustics Association Forum Acusticum 2023*, Turin, Italy 2024.

⁵¹¹ B. Stępień i in., *Modelling Low-Frequency Noise of Wind Turbines* [w:] *Proceedings of the 10th Convention of the European Acoustics Association Forum Acusticum 2023*, Turin, Italy 2024.

stwierdzono specyficznych, bezpośrednich efektów zdrowotnych. Migotanie cienia należy więc traktować jako koszt zewnętrzny obciążający dobrostan i zdrowie psychiczne, którego skala zależy bardziej od kontekstu społecznego i jakości procesu inwestycyjnego niż od samej liczby godzin ekspozycji⁵¹².

Zmiany mikroklimatyczne w pobliżu farm wiatrowych i słonecznych coraz częściej stają się przedmiotem badań, ponieważ instalacje te modyfikują lokalne warunki termiczne i aerodynamiczne. Choć skala tych zjawisk jest niewielka i wyraźnie ograniczona przestrzennie, ich opis pozwala lepiej zrozumieć pełen zakres oddziaływań środowiskowych OZE, w tym potencjalne konsekwencje dla jakości życia mieszkańców. Zjawisko zmiany mikroklimatu w pobliżu farm wiatrowych i słonecznych jest dobrze udokumentowane, ale jego wpływ na zdrowie ludzi pozostaje znikomy, a często wręcz neutralny lub pozytywny. Badania wskazują, że turbiny wiatrowe mogą lokalnie podnosić temperaturę minimalną nocą o 0,2–0,5°C w wyniku mieszania warstw powietrza przez obracające się łopaty⁵¹³. Efekt ten ma charakter ultralokalny (kilkaset metrów) i nie wykazuje związku z negatywnymi skutkami zdrowotnymi, ponieważ mieści się w naturalnej zmienności temperatury dobowej i szybko zanika poza strefą farmy. Podobnie instalacje fotowoltaiczne mogą nieznacznie wpływać na mikroklimat poprzez redukcję albedo i podwyższenie temperatury nad powierzchnią paneli (tzw. „heat island effect”), jednak skala zjawiska jest mała: zwykle 1–2°C różnicy na wysokości kilku metrów i nie obserwuje się przenoszenia tego efektu na obszary mieszkalne⁵¹⁴.

W literaturze podkreśla się, że te mikroklimatyczne zmiany są zbyt słabe, by oddziaływać na zdrowie człowieka, zwłaszcza w porównaniu z dużymi źródłami stresu cieplnego — transportem, zabudową miejską czy przemysłem. Co więcej, w systemach agrofotowoltaicznych mikroklimat bywa wręcz korzystny: panele redukują stres cieplny roślin, zmniejszają parowanie i chronią pracowników rolnych przed przegrzewaniem. Ogólny wniosek jest więc jasny: zarówno farmy wiatrowe, jak i słoneczne mogą lokalnie zmieniać warunki mikroklimatyczne, ale dotychczasowe badania (Armstrong i in., 2014; Barron-Gafford i in., 2016; Zhang i in., 2024) nie potwierdzają, aby zmiany te stanowiły zagrożenie zdrowotne dla mieszkańców. To raczej element środowiskowy wymagający monitoringu i odpowiedniego projektowania — nie czynnik ryzyka zdrowotnego⁵¹⁵.

⁵¹² R. Haac i in., *In the shadow of wind energy: Predicting community exposure and annoyance to wind turbine shadow flicker in the United States*, „Energy Research & Social Science” t. 87 (2022), DOI: 10.1016/j.erss.2021.102471, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214629621005582>.

⁵¹³ L. Zhou i in., *Impacts of wind farms on land surface temperature*, „Nature Climate Change” t. 2 nr 7 (2012), DOI: 10.1038/nclimate1505, <https://www.nature.com/articles/nclimate1505>.

⁵¹⁴ J. Zheng i in., *An observational study on the microclimate and soil thermal regimes under solar photovoltaic arrays*, „Solar Energy” t. 266 (2023), DOI: 10.1016/j.solener.2023.112159, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X23007934>.

⁵¹⁵ A. Armstrong i in., *Wind farm and solar park effects on plant-soil carbon cycling: uncertain impacts of changes in ground-level microclimate*, „Global Change Biology” t. 20 nr 6 (2014), DOI: 10.1111/gcb.12437,

Bioenergia i biomasa również niosą ze sobą ryzyko zdrowotne. Spalanie biomasy może generować emisje cząstek stałych i gazów, pogarszając jakość powietrza i zwiększając zachorowalność na choroby układu oddechowego oraz krążenia. Olba-Zięty i in. wykazali, że źle zarządzana produkcja biomasy w Europie może niwelować zakładane korzyści środowiskowe⁵¹⁶. Guo i in. dodają, że lokalne strategie energetyczne np. przetwarzanie odpadów na energię, mogą mieć transgraniczne skutki dla jakości powietrza i wody, wpływając na zdrowie publiczne⁵¹⁷.

Gallagher i Holloway zwrócili uwagę, że niektóre działania dekarbonizacyjne, np. szybka elektryfikacja transportu bez jednoczesnego ograniczenia emisji NO_x, mogą lokalnie prowadzić do tzw. „niekorzyści ozonowych”, czyli wzrostu poziomu ozonu przyziemnego⁵¹⁸. Wreszcie, koniec cyklu życia instalacji OZE stanowi istotne wyzwanie zdrowotne i środowiskowe. Bez skutecznych systemów odzysku i recyklingu zużyte panele, baterie i komponenty mogą stać się źródłem zanieczyszczenia gleby i wód gruntowych metalami ciężkimi oraz toksycznymi związkami organicznymi.

W literaturze naukowej wciąż występuje wyraźna asymetria między badaniami dokumentującymi korzyści zdrowotne wynikające z redukcji emisji paliw kopalnych a tymi, które kwantyfikują potencjalne szkody zdrowotne związane z technologiami OZE. Empiryczne analizy negatywnych efektów zdrowotnych – takich jak narażenie na toksyczne substancje w cyklu życia fotowoltaiki, emisje związane ze spalaniem biomasy czy wpływ łańcuchów dostaw baterii – pozostają nieliczne i często mają charakter studiów przypadków⁵¹⁹. Autorzy ci podkreślają potrzebę systematycznego stosowania oceny wpływu na zdrowie, oceny cyklu życia oraz narzędzi wyceny ekonomicznej, które umożliwiają ujęcie zarówno bezpośrednich, jak i pośrednich kosztów zdrowotnych transformacji energetycznej.

Gigimon i Darsana rekomendowali integrację HIA z oceną oddziaływania na środowisko i analizą ekonomiczną, aby precyzyjnie określać skutki zdrowotne

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.12437>; G.A. Barron-Gafford i in., *The Photovoltaic Heat Island Effect: Larger solar power plants increase local temperatures*, „Scientific Reports” t. 6 nr 1 (2016), DOI: 10.1038/srep35070, <https://www.nature.com/articles/srep35070>; J. Zhang i in., *Observed Impacts of Ground-Mounted Photovoltaic Systems on the Microclimate and Soil in an Arid Area of Gansu, China*, „Atmosphere” t. 15 nr 8 (2024), DOI: 10.3390/atmos15080936, <https://www.mdpi.com/2073-4433/15/8/936>.

⁵¹⁶ E. Olba-Zięty, J.J. Zięty, M.J. Stolarski, *External Environmental Costs of Solid Biomass Production against the Legal and Political Background in Europe*, „Energies” t. 16 nr 10 (2023), DOI: 10.3390/en16104200, <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/10/4200>.

⁵¹⁷ Y. Guo i in., *Carbon Mitigation and Environmental Co-Benefits of a Clean Energy Transition in China's Industrial Parks*, „Environmental Science & Technology” t. 57 nr 16 (2023), DOI: 10.1021/acs.est.2c05725, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.2c05725>.

⁵¹⁸ C.L. Gallagher, T. Holloway, *Integrating Air Quality and Public Health Benefits in U.S. Decarbonization Strategies...*

⁵¹⁹ Alex Olanrewaju Adekanmbi i in., *Assessing the environmental health and safety risks of solar energy production...*; V.S. Gigimon, R.S. Darsana, *Integrating Health Impact Assessment and Environmental Impact Assessment* [w:] *Advances in Medical Education, Research, and Ethics*, 2024; Y. Guo i in., *Carbon Mitigation and Environmental Co-Benefits of a Clean Energy Transition in China's Industrial Parks...*

poszczególnych technologii oraz wspierać procesy decyzyjne⁵²⁰. Z kolei w literaturze z zakresu polityki zdrowotnej i środowiskowej Unii Europejskiej⁵²¹ wskazano na potrzebę włączenia ocen zdrowotnych do etapów planowania i ewaluacji polityk publicznych, tak by identyfikować grupy wrażliwe i unikać niezamierzonych kosztów zdrowotnych transformacji energetycznej.

W świetle dostępnych badań wpływ odnawialnych źródeł energii na zdrowie ludzi okazuje się wielowymiarowy, ale wyraźnie asymetryczny: korzyści zdrowotne wynikające z redukcji emisji z paliw kopalnych zdecydowanie przewyższają potencjalne ryzyka lokalne. OZE ograniczają stężenia PM_{2.5}, SO₂ i NO_x, co przekłada się na mniejszą zachorowalność i śmiertelność z powodu chorób sercowo-naczyniowych i oddechowych oraz niższe koszty opieki zdrowotnej. Jednocześnie część technologii generuje lokalne, głównie psychospołeczne obciążenia, takie jak irytacja hałasem turbin wiatrowych, migotanie cienia czy obawy środowiskowe związane z recyklingiem paneli i baterii. Ryzyka zdrowotne o charakterze fizjologicznym - pola elektromagnetyczne PV, niskoczęstotliwościowy hałas wiatrowy, zmiany mikroklimatu - według obecnego stanu wiedzy mieszczą się daleko poniżej progów zagrożenia i są w większości ograniczone przestrzennie. Kluczowe wyzwania dotyczą raczej sprawiedliwości proceduralnej, transparentności procesów inwestycyjnych i zarządzania cyklem życia technologii, które decydują o poziomie akceptacji społecznej i dobrostanu mieszkańców. Tym samym wpływ OZE na zdrowie zależy nie tylko od właściwości technicznych instalacji, lecz również od jakości governance, komunikacji i partycypacji - elementów, które w znaczącym stopniu determinują społeczne koszty i korzyści transformacji energetycznej.

W rezultacie pełne zrozumienie wpływu OZE na zdrowie wymaga spojrzenia wykraczającego poza same oddziaływania technologiczne i obejmuje również sposób, w jaki społeczności postrzegają i oceniają te instalacje. Dlatego kolejnym etapem analizy jest omówienie akceptacji społecznej i postaw wobec OZE, które w praktyce często decydują o wysokości rzeczywistych kosztów społecznych transformacji energetycznej.

4.4. AKCEPTACJA SPOŁECZNA I POSTAWY WOBEC OZE JAKO WYZWANIE ZARZĄDCZE PRZEDSIĘBIORSTW

Akceptacja społeczna stanowi jeden z kluczowych czynników warunkujących rzeczywiste koszty społeczne rozwoju odnawialnych źródeł energii. Nawet technologie o niskim oddziaływaniu środowiskowym i zdrowotnym mogą generować znaczące obciążenia społeczne, jeśli są postrzegane jako narzucone,

⁵²⁰ V.S. Gigimon, R.S. Darsana, *Integrating Health Impact Assessment and Environmental Impact Assessment...*

⁵²¹ European Commission, 2.P. *Scientific session: Improving health impact assessment in the context of EU policy cycle*, „European Journal of Public Health” t. 34 nr Supplement_3 (2024), DOI: 10.1093/eurpub/ckae144.119, <https://academic.oup.com/eurpub/article/doi/10.1093/eurpub/ckae144.119/7843286>; J. Santos, *Cost-benefit analysis: just a step in the HIA process*, „European Journal of Public Health” t. 34 nr Supplement_3 (2024), DOI: 10.1093/eurpub/ckae144.405, <https://academic.oup.com/eurpub/article/doi/10.1093/eurpub/ckae144.405/7844164>.

nieuczciwe lub zagrażające interesom lokalnych społeczności. Poziom zaufania do instytucji, jakość procesów konsultacyjnych, dostrzegalne korzyści lokalne oraz sprawiedliwość proceduralna wpływają na akceptację OZE w stopniu równie istotnym, jak techniczne parametry instalacji. W tym ujęciu postawy społeczne nie są jedynie elementem tła, lecz dynamicznym komponentem kosztu społecznego - współdecydując o tym, czy inwestycje będą źródłem konfliktów, stresu i oporu, czy też przyniosą oczekiwane korzyści społeczno-gospodarcze.

Akceptacja społeczna oraz postawy wobec odnawialnych źródeł energii stanowią jeden z kluczowych warunków powodzenia transformacji energetycznej i wdrażania inwestycji OZE w różnych kontekstach geograficznych. W omówionej w tym podrozdziale literaturze wielokrotnie akcentuje się, że percepcja społeczna tych technologii jest rezultatem złożonej kombinacji czynników – od poziomu wiedzy i doświadczeń lokalnych społeczności, przez stopień ich zaangażowania w proces decyzyjny, po jakość i formę prowadzonej komunikacji z interesariuszami. W efekcie strategie komunikacyjne i edukacyjne przestają być jedynie dodatkiem do projektów OZE, a stają się jednym z głównych narzędzi kształtowania akceptacji i ograniczania oporu społecznego.

Jednym z najczęściej wskazywanych determinantów akceptacji społecznej jest poziom wiedzy i świadomości na temat systemów energii odnawialnej. Khai i in. wykazali, że wyższy poziom wiedzy – mierzony wynikami testu dotyczącego energii odnawialnej – istotnie dodatnio koreluje ze wsparciem dla polityk wspierających rozwój OZE. Sugeruje to, że dobrze zaprojektowane działania informacyjne i kampanie edukacyjne mogą nie tylko poprawiać zrozumienie technologii, ale także przekładać się na większą gotowość do ich akceptacji⁵²². Z kolei Nyoh, analizując rozwój technologii solarnych na obszarach wiejskich w Afryce, podkreśla znaczenie partycypacyjnych modeli komunikacji, w których lokalne społeczności są włączane w proces wymiany informacji i współdecydowania. Takie inkluzywne podejście sprzyja podnoszeniu poziomu wiedzy interesariuszy, wzmacnia poczucie sprawczości i w konsekwencji ułatwia akceptację oraz upowszechnianie rozwiązań opartych na energii słonecznej⁵²³.

Zaangażowanie społeczności lokalnej odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu postaw wobec projektów z zakresu odnawialnych źródeł energii. Rakowska i Ozimek pokazali, że współpraca samorządów z mieszkańcami w Polsce sprzyja akceptacji oraz wsparciu dla inicjatyw OZE, a uwzględnianie lokalnych obaw i oczekiwań w procesach planowania i rozwoju energetyki istotnie zwiększa poziom poparcia

⁵²² H.V. Khai i in., *Choice modeling approach to evaluate the economic value of renewable energy development*, „Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal” t. 10 nr 1 (2024), DOI: 10.51599/are.2024.10.01.12, <https://are-journal.com/are/article/view/811>.

⁵²³ I. Nyoh, *Communicating climate change and energy in rural Africa: A case analysis to explain how participatory communication can support transition to renewables and adoption of solar technologies in rural Africa*, „Ciências e Políticas Públicas / Public Sciences & Policies” (2021), DOI: 10.33167/2184-0644.CPP2021.VVIIN2/pp.183-200, <https://cpp.iscsp.ulisboa.pt/index.php/capp/article/view/110>.

społecznego⁵²⁴. Z kolei Mercer i in. podkreślili konieczność dostosowania projektów OZE do systemu wartości danej społeczności – zwłaszcza w przypadku ludności rdzennej w Kanadzie – wskazując, że poszanowanie uwarunkowań kulturowych stanowi warunek zwiększenia akceptacji i długofalowej legitymizacji takich przedsięwzięć⁵²⁵.

Czynniki demograficzne również w istotny sposób wpływają na kształtowanie postaw społecznych wobec OZE. Tsiraras wskazał, że poziom wykształcenia, wiek oraz dostęp do informacji oddziałują na sposób postrzegania instalacji energii odnawialnej w Grecji, zwracając jednocześnie uwagę na znaczenie uwarunkowań przestrzennych – takich jak widoczność infrastruktury OZE – które mogą wzmacniać lub osłabiać akceptację społeczną⁵²⁶. Zbliżone wnioski sformułował Truong, podkreślając, że upowszechnianie wiedzy o korzyściach wynikających z zastosowania technologii energii odnawialnej, na przykład solarnych podgrzewaczy wody, stanowi kluczowy element budowania pozytywnych postaw mieszkańców wobec tego typu rozwiązań⁵²⁷.

Pomimo obserwowanego w wielu krajach wzrostu ogólnego poparcia dla odnawialnych źródeł energii, w debacie publicznej wciąż utrzymują się błędne przekonania oraz postawy sprzeciwu. Lucas i in. wskazują, że istotnym źródłem tego sceptycyzmu są niewystarczające bądź nieadekwatne strategie komunikacyjne, które nie korygują utrwalonych mitów dotyczących skutków i korzyści związanych z OZE. Autorzy postulują projektowanie komunikacji dopasowanej do specyficznych obaw oraz fałszywych przekonań funkcjonujących wśród obywateli, co ma potencjał wzmacniania społecznego poparcia dla rozwiązań z zakresu energii odnawialnej⁵²⁸.

Numata i in. analizowali natomiast relację między akceptacją społeczną a gotowością do ponoszenia dodatkowych kosztów za energię odnawialną w Mjanmie, podkreślając, że czynniki ekonomiczne – w szczególności obciążenia

⁵²⁴ J. Rakowska, I. Ozimek, *Renewable Energy Attitudes and Behaviour of Local Governments in Poland*, „Energies” t. 14 nr 10 (2021), DOI: 10.3390/en14102765, <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/10/2765>.

⁵²⁵ N. Mercer i in., „*That's Our Traditional Way as Indigenous Peoples*”: Towards a Conceptual Framework for Understanding Community Support of Sustainable Energies in NunatuKavut, Labrador, „Sustainability” t. 12 nr 15 (2020), DOI: 10.3390/su12156050, <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/15/6050>.

⁵²⁶ E. Tsiraras, S. Tampekis, C. Gavrilakis, *Public Perceptions and Social Acceptance of Renewable Energy Projects in Epirus, Greece: The Role of Education, Demographics and Visual Exposure*, „World” t. 6 nr 3 (2025), DOI: 10.3390/world6030111, <https://www.mdpi.com/2673-4060/6/3/111>.

⁵²⁷ D.D. Truong, *Predictors of solar water heater purchasing intention: an empirical analysis of residential behaviors in Hanoi city, Vietnam*, „Environmental Research Communications” t. 6 nr 5 (2024), DOI: 10.1088/2515-7620/ad4983, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2515-7620/ad4983>.

⁵²⁸ H. Lucas i in., *Improving Public Attitude towards Renewable Energy*, „Energies” t. 14 nr 15 (2021), DOI: 10.3390/en14154521, <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/15/4521>.

finansowe gospodarstw domowych – często dominują nad innymi uwarunkowaniami w procesie kształtowania postaw wobec alternatywnych źródeł energii⁵²⁹.

Wyzwania związane z akceptacją społeczną projektów OZE obejmują m.in. postrzeganą ingerencję w krajobraz, uciążliwości hałasowe oraz niski poziom zaufania do deweloperów inwestycji. Elementy te mogą istotnie ograniczać gotowość mieszkańców do wsparcia nowych instalacji, nawet jeśli deklaratywnie popierają oni rozwój energii odnawialnej. Martin wskazuje, że szczególne znaczenie mają tu efekty bliskości oraz sposób, w jaki inwestycje – zwłaszcza farmy wiatrowe – wpisują się w lokalny krajobraz. Im silniej turbiny wiatrowe są postrzegane jako obce wizualnie, naruszające ład przestrzenny lub wartości estetyczne regionu, tym większe ryzyko oporu społecznego. Autor podkreśla konieczność uwzględniania lokalnych nastrojów, oczekiwań oraz wrażliwości krajobrazowej na etapie planowania i konsultowania projektów, jako warunku zwiększenia ich akceptowalności⁵³⁰.

Achuo i Ojōng poszerzyli tę perspektywę, analizując środowiskowe oraz społeczno-kulturowe konsekwencje transformacji energetycznej w krajach rozwijających się, gdzie dominacja paliw kopalnych pozostaje wciąż podstawą systemu energetycznego. Zwracają uwagę, że wdrażanie OZE odbywa się tam często w warunkach ograniczonych zasobów, napięć społecznych i historycznych nierówności, co sprawia, że kwestie równości, sprawiedliwości społecznej i dystrybucji korzyści z nowych inwestycji pojawiają się wyjątkowo wyraźnie. Nie tylko sam charakter technologii, lecz także sposób projektowania mechanizmów partycypacji, rekompensat i redystrybucji zysków przesądza o tym, czy transformacja energetyczna będzie postrzegana jako szansa rozwojowa, czy jako kolejne źródło konfliktów⁵³¹.

Akceptacja społeczna odnawialnych źródeł energii ma charakter wielopoziomowy i nie sprowadza się jedynie do ogólnego, deklaratywnego poparcia dla transformacji energetycznej. Badania Cousse pokazały, że wysoka akceptacja socjo-polityczna („OZE są potrzebne i słuszne”) może współistnieć z silnym oporem wobec konkretnych projektów lokalnych. Innymi słowy, to, że społeczeństwo „lubi” energię odnawialną w abstrakcie, nie oznacza automatycznie gotowości do zaakceptowania farmy wiatrowej czy parku fotowoltaicznego w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca zamieszkania. Kluczowe staje się więc rozróżnienie między poparciem dla ogólnych kierunków polityki energetycznej a tzw.

⁵²⁹ M. Numata i in., *Willingness to Pay for Renewable Energy in Myanmar: Energy Source Preference*, „Energies” t. 14 nr 5 (2021), DOI: 10.3390/en14051505, <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/5/1505>.

⁵³⁰ O. San Martin, *Social acceptance “in my backyard” - What drives social acceptance of renewable energy projects?*, „Journal of Physics: Conference Series” t. 2507 nr 1 (2023), DOI: 10.1088/1742-6596/2507/1/012004, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2507/1/012004>.

⁵³¹ E.D. Achuo, N. Ojong, *Energy transition and pollution emissions in developing countries: are renewable energies guilty?*, „International Journal of Development Issues” t. 22 nr 3 (2023), DOI: 10.1108/IJDI-05-2023-0114, <http://www.emerald.com/ijdi/article/22/3/361-382/130413>.

community acceptance, czyli akceptacją konkretnych inwestycji w określonym kontekście przestrzennym, krajobrazowym i społecznym⁵³².

Istotną rolę odgrywa przy tym skala i typ instalacji. Z badań Cousse porównujących postawy wobec energii słonecznej i wiatrowej wynika, że chociaż w ujęciu ogólnym energia słoneczna jest oceniana bardziej pozytywnie, to przy dużych projektach – takich jak parki fotowoltaiczne – poziom obaw mieszkańców zbliża się do tego obserwowanego w przypadku wielkoskalowych farm wiatrowych. Wyraźnie wyższa akceptacja dotyczy natomiast małych, zintegrowanych z zabudową instalacji (np. systemów dachowych), które są postrzegane jako mniej inwazyjne i lepiej „wpisane” w istniejące formy użytkowania terenu. Wskazuje to, że „efekt skali” jest jednym z kluczowych czynników kształtujących społeczne koszty transformacji energetycznej: im większa ingerencja w krajobraz i strukturę przestrzenną, tym większe ryzyko konfliktów, opóźnień inwestycyjnych oraz wzrostu kosztów transakcyjnych⁵³³.

Na poziomie psychologicznym centralne znaczenie ma afekt, czyli ogólne, emocjonalne „czucie” danej technologii. Cousse twierdził, że to właśnie afekt – a nie wyłącznie racjonalna ocena bilansu kosztów i korzyści – jest jednym z najsilniejszych predyktorów lokalnych obaw wobec projektów OZE, szczególnie w przypadku dużych instalacji o wyraźnym oddziaływaniu wizualnym. Ingerencja w krajobraz nie jest odbierana tylko jako zmiana estetyczna, lecz jako naruszenie więzi z miejscem (place attachment), uderzające w lokalną tożsamość, przywiązanie do „znanego widoku” czy tradycyjnego sposobu użytkowania przestrzeni. Co więcej, poziom akceptacji może różnić się istotnie między regionami, nawet w obrębie jednego kraju, w zależności od dotychczasowych doświadczeń z energetyką, historii konfliktów planistycznych, wrażliwości krajobrazowej czy lokalnych norm kulturowych⁵³⁴.

Z perspektywy projektowania polityk publicznych i miksu OZE oznacza to, że nie wystarczy optymalizacja techniczno-ekonomiczna systemu. Konieczne jest równoległe zarządzanie „portfelem” ryzyk społecznych, obejmujące świadomy dobór skali i lokalizacji projektów, odpowiednie modele własności (np. współwłasność mieszkańców, spółdzielnie energetyczne) oraz procedury partycypacyjne realnie włączające społeczności w proces planowania przestrzennego. Wielowymiarowe podejście do akceptacji społecznej – uwzględniające poziom ogólnego poparcia, lokalne uwarunkowania krajobrazowe, emocje związane z miejscem oraz zróżnicowanie regionalne – staje się warunkiem ograniczania społecznych kosztów transformacji energetycznej i zwiększania szans na skuteczne wdrażanie inwestycji w OZE.

Metaanaliza Milaniego i in. z 2024 r. uporządkowała ustalenia dotyczące akceptacji społecznej technologii energetycznych, opierając się na ponad setce badań

⁵³² J. Cousse, *Still in love with solar energy? Installation size, affect, and the social acceptance of renewable energy technologies*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” t. 145 (2021), DOI: 10.1016/j.rser.2021.111107, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032121003956>.

⁵³³ Ibid.

⁵³⁴ Ibid.

empirycznych. Autorzy rozróżnili trzy poziomy reakcji społecznej: akceptowalność (ogólne nastawienie do technologii), akceptację (intencję wsparcia, zakupu lub użycia) oraz adopcję (rzeczywiste, długotrwałe korzystanie). Pokazali też, że czynniki wpływające na te poziomy można ująć w trzy grupy: przekonania dotyczące samej technologii, szerszego kontekstu (polityki, instytucji, norm społecznych) oraz cech i przekonań jednostki⁵³⁵.

Kluczowy wniosek z metaanalizy jest taki, że klasyczne zmienne socjodemograficzne (wiek, płeć, wykształcenie, dochód) mają na ogół niewielki lub wręcz nieistotny wpływ na akceptowalność i akceptację technologii energetycznych. Znacznie ważniejsze okazują się emocje, postrzegane korzyści i poczucie sprawiedliwości procesu wdrażania. Pozytywne reakcje afektywne, wyraźnie dostrzegane korzyści (środowiskowe, ekonomiczne, społeczne) oraz przekonanie, że procedury są uczciwe i uwzględniają interes różnych grup, należą do najsilniejszych predyktorów pozytywnego nastawienia do technologii. Dla samej akceptacji (intencji działania) duże znaczenie mają ponadto: subiektywna wiedza, ekologiczny styl życia, poczucie kontroli nad własnym zachowaniem, postrzegana łatwość użycia oraz zaufanie do decydentów, a także inicjatywy rządowe i normy społeczne wzmacniające poczucie „normalności” danego rozwiązania. Centralne miejsce zajmuje przy tym akceptowalność, która w metaanalizie okazuje się najsilniejszym predyktorem akceptacji. Innymi słowy, pozytywne nastawienie – budowane przez emocje, poczucie korzyści i sprawiedliwości – jest warunkiem koniecznym, aby deklaracje poparcia czy zamiary korzystania w ogóle mogły się pojawić, ale ich urzeczywistnienie wymaga również sprzyjającego kontekstu instytucjonalnego i społecznego. Włączenie tych ustaleń do analizy akceptacji OZE pozwala przesunąć ciężar z „kto popiera” (profil demograficzny) na pytanie „w jakich warunkach i na jakich zasadach ludzie są skłonni te technologie uznać za akceptowalne i faktycznie je wspierać”, co bezpośrednio wiąże się z poziomem społecznych kosztów transformacji energetycznej⁵³⁶.

Systematyczny przegląd literatury Enserink i in. wskazały, że badania nad akceptacją OZE oraz studia z zakresu projektowania krajobrazu operują zbliżonym katalogiem czynników (korzyści ekonomiczne, wpływ wizualny, estetyka, udział społeczności), ale rzadko świadomie ze sobą rozmawiają. W praktyce oznacza to niewykorzystany potencjał integracji planowania energetycznego z projektowaniem krajobrazu. Badania akceptacji OZE silnie akcentują zaufanie, sprawiedliwość i kwestie zdrowotne, natomiast studia projektowe – partycypację, proces i rolę architektów krajobrazu jako mediatorów. Sugeruje to, że pełniejsze rozumienie akceptacji wymaga połączenia obu perspektyw: sprawiedliwych procedur i wiarygodnych instytucji z realnie inkluzyjnym, projektowym współtworzeniem krajobrazu energetycznego. Projektowanie krajobrazu energetycznego – rozumiane jako proces współtworzenia przestrzeni z udziałem władz lokalnych, mieszkańców i projektantów – może bezpośrednio wpływać na poziom zaufania i postrzeganą sprawiedliwość, a tym samym na akceptację inwestycji. Autorzy zwracają również

⁵³⁵ A. Milani, F. Dessi, M. Bonaiuto, *A meta-analysis on the drivers and barriers to the social acceptance of renewable and sustainable energy technologies...*

⁵³⁶ Ibid.

uwagę na rozbieżność między agendą badawczą a priorytetami społeczności lokalnych: podczas gdy literatura naukowa koncentruje się na procesie i partycypacji, mieszkańcy w badanych przez Enserink i in. przypadkach częściej wskazali na bezpośrednie skutki środowiskowe i krajobrazowe jako kluczowe dla ich poparcia lub sprzeciwu wobec projektów OZE. Autorzy wskazali także na dużą fragmentaryczność literatury – identyfikowane są dziesiątki czynników akceptacji, bez wyraźnego konsensu co do ich hierarchii. Tym większe znaczenie ma integrowanie ujęć społecznych, przestrzennych i projektowych przy ocenie społecznych kosztów transformacji energetycznej⁵³⁷.

Przemiany krajobrazowe wywołane inwestycjami energetycznymi mogą w sposób istotny oddziaływać na zdrowie psychiczne i subiektywny komfort życia mieszkańców. Zmiana znanego, „oswojonego” otoczenia – szczególnie w obszarach o silnym przywiązaniu do miejsca – bywa doświadczana jako utrata, co może nasilać poczucie stresu, rozdrażnienie, a niekiedy także poczucie braku kontroli nad własnym środowiskiem życia. Silnie odczuwany dysonans między dotychczasowym charakterem krajobrazu a nową infrastrukturą (np. dużymi instalacjami OZE) wpływa nie tylko na ocenę estetyczną, lecz także na ogólną satysfakcję z zamieszkiwania danego obszaru, jakość odpoczynku i regeneracji. Z perspektywy kosztów społecznych oznacza to, że ocena projektów energetycznych powinna uwzględniać nie tylko parametry środowiskowe i ekonomiczne, lecz również potencjalny wpływ przekształceń krajobrazu na dobrostan psychiczny lokalnych społeczności. Dowody naukowe zdecydowanie potwierdzają tezę, że zmiany w krajobrazie, charakteryzujące się dostępnością i jakością terenów zielonych, znacząco wpływają na zdrowie psychiczne i ogólną jakość życia⁵³⁸.

W debacie o akceptacji społecznej OZE często odwoływano się do tzw. efektu NIMBY („Not In My Backyard”), zakładającego rozbieżność między poparciem dla transformacji energetycznej „w ogóle”, a sprzeciwem wobec konkretnych projektów w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca zamieszkania. We współczesnej literaturze podkreśla jednak, że uproszczone odwoływanie się do NIMBY może maskować

⁵³⁷ M. Enserink i in., *To support or oppose renewable energy projects? A systematic literature review on the factors influencing landscape design and social acceptance*, „Energy Research & Social Science” t. 91 (2022), DOI: 10.1016/j.erss.2022.102740, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214629622002444>.

⁵³⁸ C. Barakat, S. Yousufzai, *Green space and mental health for vulnerable populations: A conceptual review of the evidence*, „Journal of Military, Veteran and Family Health” t. 6 nr S3 (2020), DOI: 10.3138/jmvfh-2019-0040, <https://utppublishing.com/doi/10.3138/jmvfh-2019-0040>; A. Bressane i in., *Understanding How Green Space Naturalness Impacts Public Well-Being: Prospects for Designing Healthier Cities*, „International Journal of Environmental Research and Public Health” t. 21 nr 5 (2024), DOI: 10.3390/ijerph21050585, <https://www.mdpi.com/1660-4601/21/5/585>; Y. Song, X. Lin, *The Effects of Exercise and Social Interaction in Different Natural Environments on the Mental Health of Urban Residents*, „Sustainability” t. 14 nr 21 (2022), DOI: 10.3390/su142114095, <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/21/14095>; S.H. Whitaker, *“The forests are dirty”: Effects of climate and social change on landscape and well-being in the Italian Alps*, „Emotion, Space and Society” t. 49 (2023), DOI: 10.1016/j.emospa.2023.100973, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1755458623000361>.

rzeczywiste przyczyny konfliktów – związane z brakiem sprawiedliwości proceduralnej, nierówną dystrybucją korzyści i kosztów, naruszeniem więzi z miejscem oraz pomijaniem lokalnych uwarunkowań krajobrazowych. Z tej perspektywy lokalny opór wobec instalacji OZE należy traktować nie tyle jako przejaw irracjonalnego egoizmu, ile jako wskaźnik niewłaściwie zaprojektowanych procesów planowania i zarządzania społecznymi kosztami transformacji⁵³⁹.

Kształtowanie akceptacji społecznej dla projektów z zakresu odnawialnych źródeł energii wymaga podejścia wielowymiarowego, łączącego działania edukacyjne, realne włączanie społeczności lokalnych w proces decyzyjny, przejrzystą i dwukierunkową komunikację oraz wrażliwość na lokalne uwarunkowania przestrzenne, kulturowe i środowiskowe. W tym kontekście kluczowego znaczenia nabiera spójne i długofalowe zaangażowanie interesariuszy – od mieszkańców, przez władze lokalne i architektów krajobrazu, po inwestorów – które sprzyja budowaniu zaufania, redukowaniu konfliktów oraz legitymizacji podejmowanych decyzji. Właśnie taki model współpracy zwiększa prawdopodobieństwo powodzenia transformacji energetycznej i ułatwia przejście w kierunku bardziej zrównoważonego systemu energetycznego.

4.5. INSTRUMENTY ZARZADZANIA SPOŁECZNYMI I ZDROWOTNYMI KOSZTAMI TRANSFORMACJI ENERGETYCZNEJ

Identyfikacja społecznych i zdrowotnych kosztów transformacji energetycznej – związanych m.in. z obciążeniami psychospołecznymi, konfliktami przestrzennymi, utratą zaufania do instytucji czy poczuciem niesprawiedliwości – prowadzi wprost do pytania o dostępne instrumenty ich łagodzenia. W perspektywie sprawiedliwości energetycznej kluczowe staje się nie tylko to, kto korzysta z rozwoju OZE, lecz także to, kto ponosi koszty zmian zachodzących w krajobrazie, strukturze własności i warunkach życia. Narzędzia redukowania tych kosztów funkcjonują na różnych poziomach: od polityk publicznych, przez praktyki zarządzania przedsiębiorstwami, po partycypacyjne formy projektowania przestrzeni i mechanizmy wsparcia zdrowia publicznego. Ich wspólnym celem jest takie kształtowanie procesów transformacji, aby minimalizować konflikty i obciążenia, a wzmacniać lokalne korzyści, poczucie sprawczości oraz dobrostan mieszkańców. W niniejszym fragmencie uwaga koncentruje się na strategiach i rozwiązaniach, które z jednej strony łagodzą

⁵³⁹ S. Jarvis, *The Economic Costs of NIMBYism: Evidence from Renewable Energy Projects*, „Journal of the Association of Environmental and Resource Economists” t. 12 nr 4 (2025), DOI: 10.1086/732801, <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/732801>; B.E.H. Lamhamedi, W.T. de Vries, *An Exploration of the Land–(Renewable) Energy Nexus*, „Land” t. 11 nr 6 (2022), DOI: 10.3390/land11060767, <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/6/767>; C. Thellbro i in., *Readiness and planning for more wind power: Municipalities as key actors implementing national strategies*, „Cleaner Energy Systems” t. 3 (2022), DOI: 10.1016/j.cles.2022.100040, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2772783122000383>.

obciążenia społeczno-ekonomiczne, a z drugiej wzmacniają powodzenie transformacji energetycznej.

Jednym z kluczowych kierunków interwencji jest tworzenie ram polityki fiskalnej stymulującej inwestycje w projekty z zakresu energii odnawialnej. Instrumenty podatkowe – takie jak podatki od emisji dwutlenku węgla czy zielone ulgi i kredyty inwestycyjne – stały się istotnymi narzędziami napędzającymi zieloną transformację, kształtując zachowania podmiotów gospodarczych poprzez zachęty do poprawy efektywności energetycznej i redukcji emisji⁵⁴⁰. Odpowiednio zaprojektowana redystrybucja dochodów z tych podatków może jednocześnie wspierać grupy społeczne w nieproporcjonalnym stopniu obciążone kosztami transformacji, co sprzyja bardziej sprawiedliwemu przebiegowi procesów rozwojowych⁵⁴¹. Przykłady polityk fiskalnych ukierunkowanych na wzrost efektywności energetycznej gospodarki pokazują, że możliwe jest powiązanie celów środowiskowych ze wzrostem gospodarczym i stabilnością rynku energii, przy równoczesnym wzmacnianiu bodźców do wdrażania czystszych technologii⁵⁴².

Istotnym uzupełnieniem instrumentów podatkowych są dotacje celowe, w szczególności adresowane do grup zagrożonych ubóstwem energetycznym. Badania nad programami wsparcia, takimi jak chiński Program Łagodzenia Ubóstwa Fotowoltaicznego, wskazują, że odpowiednio zaprojektowane interwencje finansowe mogą równocześnie redukować wydatki na opiekę zdrowotną oraz poprawiać ogólny dobrostan gospodarstw domowych⁵⁴³. Zbliżoną funkcję pełnią polityki sprzyjające rozwojowi zielonych finansów i systemów zarządzania ryzykiem na rynkach wschodzących: poprzez innowacyjne instrumenty finansowe pomagają one zamykać lukę kapitałową i zwiększać dostęp do czystych technologii energetycznych dla gospodarstw o niskich dochodach⁵⁴⁴.

Przegląd współczesnych ram polityki energetycznej podkreśla ponadto konieczność systematycznego uwzględniania perspektywy społeczności lokalnych w modelach transformacji energetycznej. Trwałość inicjatyw z zakresu OZE w dużej

⁵⁴⁰ I. Ljubičić, *Tax Instruments as a Key Driver of the Green Transition: The Role of Fiscal Policy in Sustainable Development*, „Journal of Agronomy, Technology and Engineering Management (JATEM)” t. 8 nr 1 (2025), DOI: 10.55817/GZOG5027, [https://www.fimek.edu.rs/downloads/casopisi/jatem/issue/v8_1/5_\(5\)_J_Agron_Technol_Eng_Manag_2025_8\(1\)_1347-1354_httpsdoi.org10.55817GZOG5027.pdf](https://www.fimek.edu.rs/downloads/casopisi/jatem/issue/v8_1/5_(5)_J_Agron_Technol_Eng_Manag_2025_8(1)_1347-1354_httpsdoi.org10.55817GZOG5027.pdf).

⁵⁴¹ O. Lagodiyenko, A. Uzhva, D. Khakhaliev, *Fiscal Aspects of ESG Business Development Concepts*, „Baltic Journal of Economic Studies” t. 10 nr 3 (2024), DOI: 10.30525/2256-0742/2024-10-3-200-206, <http://www.baltijapublishing.lv/index.php/issue/article/view/2498>.

⁵⁴² L. Vasyutynska, I. Kolopeniuk, *The Role of Tax Incentives in Enhancing the Energy Efficiency of Ukraine's Economy*, „Pryazovskiyi Economic Herald” nr 3(43) (2025), DOI: 10.32782/2522-4263/2025-3-10, http://pev.kpu.zp.ua/journals/2025/3_43_ukr/12.pdf.

⁵⁴³ X. Yang i in., *Addressing Health Inequities in Energy-Poor Households: Evidence from China's Photovoltaic Poverty Alleviation Program*, „Energies” t. 18 nr 10 (2025), DOI: 10.3390/en18102620, <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/10/2620>.

⁵⁴⁴ Njideka Ihuoma Okeke, Oluwaseun Adeola Bakare, Godwin Ozoemenam Achumie, *Integrating policy incentives and risk management for effective green finance in emerging markets*, „International Journal of Frontiers in Science and Technology Research” t. 7 nr 1 (2024), DOI: 10.53294/ijfstr.2024.7.1.0050, <https://frontiersrj.com/journals/ijfstr/node/263>.

mierze zależy od stopnia zaangażowania aktorów lokalnych oraz zdolności do budowania silnych koalicji rzeczniczych⁵⁴⁵.

Na poziomie polityk lokalnych i krajowych podstawową rolę odgrywają instrumenty regulacyjne i proceduralne. Należą do nich m.in. obowiązek rzetelnych konsultacji społecznych, standardy informowania o planowanych inwestycjach, mechanizmy odwoławcze oraz wymogi uwzględniania efektów zdrowotnych i społecznych w procedurach oceny oddziaływania na środowisko. Istotne znaczenie mają również narzędzia dystrybucji korzyści i kompensacji kosztów – lokalne fundusze rozwojowe, udział gmin w przychodach z podatków od instalacji OZE, systemy rekompensat dla mieszkańców najbardziej narażonych na uciążliwości (np. hałas, zacieńnienie, utratę walorów krajobrazowych), a także programy wsparcia dla grup zagrożonych ubóstwem energetycznym. Odpowiednio zaprojektowane instrumenty fiskalne i regulacyjne mogą ograniczać poczucie „narzucenia” inwestycji z zewnątrz oraz wzmacniać przekonanie, że lokalne społeczności realnie partycypują w korzyściach transformacji⁵⁴⁶.

Dla zapewnienia trwałego postępu konieczne jest zatem uwzględnianie ścisłych powiązań między bodźcami ekonomicznymi a szeroko rozumianym dobrobytem społecznym. Kompleksowe strategie, obejmujące mechanizmy finansowe wspierające wdrażanie czystych technologii oraz rozwój partnerstw publiczno-prywatnych, sprzyjają innowacjom w sektorze odnawialnych źródeł energii⁵⁴⁷. Inicjatywy te nie tylko zachęcają do inwestowania w zrównoważony rozwój, ale także redukują bariery wdrożeniowe, ułatwiając szerszą transformację wzorców zużycia energii⁵⁴⁸.

Istotnym filarem łagodzenia kosztów społecznych jest także szeroko rozumiana edukacja, transparentność i komunikacja publiczna. Wyniki badań nad akceptacją OZE pokazują, że poziom wiedzy, sposób komunikowania ryzyk i korzyści, a także jakość dialogu z interesariuszami wprost przekładają się na

⁵⁴⁵ N. Mohammadi, M.M. Khabbazan, *The Influential Mechanisms of Power Actor Groups on Policy Mix Adoption: Lessons Learned from Feed-In Tariffs in the Renewable Energy Transition in Iran and Germany*, „Sustainability” t. 14 nr 7 (2022), DOI: 10.3390/su14073973, <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/7/3973>.

⁵⁴⁶ F. Hanke, R. Guyet, M. Feenstra, *Do renewable energy communities deliver energy justice? Exploring insights from 71 European cases*, „Energy Research & Social Science” t. 80 (2021), DOI: 10.1016/j.erss.2021.102244, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214629621003376>; F. Vanclay, *Benefit-sharing and enhancing outcomes for project-affected people* [w:] *Handbook on Social Impact Assessment*, 2024.

⁵⁴⁷ M.A. Burduja, D.M. Paraschiv, *Economic Barriers and Incentives in the Energy Transition: A Comparative Analysis of Policy Frameworks and Market Responses* [w:] *New Trends in Sustainable Business and Consumption*, Editura ASE 2025; M. Mogrovejo-Narvaez i in., *Barriers to the Implementation of On-Grid Photovoltaic Systems in Ecuador*, „Sustainability” t. 16 nr 21 (2024), DOI: 10.3390/su16219466, <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/21/9466>.

⁵⁴⁸ K. Shukla i in., *ZIP Code-Level Estimation of Air Quality and Health Risk Due to Particulate Matter Pollution in New York City*, „Environmental Science & Technology” t. 56 nr 11 (2022), DOI: 10.1021/acs.est.1c07325, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.1c07325>.

natężenie konfliktów i oporu. Skuteczne strategie komunikacyjne opierają się na wczesnym, a nie „spóźnionym” informowaniu, stosowaniu zrozumiałych narzędzi wizualizacji (np. wizualizacje krajobrazowe, mapy hałasu), otwartym udostępnianiu danych pomiarowych (np. natężenie hałasu, wyniki monitoringu środowiskowego)⁵⁴⁹ oraz tworzeniu kanałów dwukierunkowej komunikacji – w tym mechanizmów zgłaszania skarg, pytań i postulatów⁵⁵⁰. Edukacja dotycząca zarówno korzyści klimatyczno-zdrowotnych, jak i realnych ograniczeń i ryzyk, zmniejsza podatność na dezinformację oraz pozwala lepiej osadzić lokalne obawy w szerszym kontekście transformacji energetycznej.

Z perspektywy przedsiębiorstw sektora OZE kluczowe stają się narzędzia zarządzania oparte na koncepcjach CSR, ESG oraz dobrego zarządzania (governance). Integracja kosztów społecznych i zdrowotnych w strategiach biznesowych oznacza m.in. stosowanie dobrowolnych standardów odpowiedzialności (np. kodeksy etyczne, wytyczne raportowania niefinansowego), włączanie interesariuszy w proces planowania inwestycji, tworzenie programów rozwoju lokalnego (np. wsparcie infrastruktury społecznej, edukacyjnej czy zdrowotnej), a także wdrażanie mechanizmów umożliwiających współwłasność lub partycypację mieszkańców w projektach (np. spółdzielnie energetyczne, udziały obywatelskie). Dobrze zaprojektowane praktyki CSR mogą w ten sposób przekształcać potencjalne źródła konfliktu w obszary współpracy, redukując ryzyko społecznych „kosztów tarcia” w cyklu życia inwestycji.

Uzupełnieniem powyższych narzędzi są instrumenty z obszaru planowania przestrzennego i projektowania krajobrazu, które pozwalają ograniczać obciążenia zdrowotne i psychospołeczne związane z przekształceniami przestrzeni. Należą do nich m.in.: hierarchia łagodzenia (unikanie – minimalizacja – kompensacja – rekultywacja), stosowanie analiz konfliktów przestrzennych przy wyborze lokalizacji, łączenie funkcji energetycznych z dotychczasowym użytkowaniem terenu (np. agrowoltaika, integrowanie PV z zabudową), a także partycypacyjne projektowanie krajobrazu energetycznego z udziałem mieszkańców, samorządów i projektantów. Tego typu podejście pozwala lepiej chronić wartości krajobrazowe i kulturowe, które – jak pokazano we wcześniejszych podrozdziałach – mają bezpośredni wpływ na zdrowie psychiczne, przywiązanie do miejsca i poziom akceptacji społecznej.

⁵⁴⁹ S. Grassi, T.M. Klein, *GIS-based 3D landscape visualizations for improving social acceptance and public participation of wind farms*, „Wind Europe” (2016), https://windeurope.org/summit2016/conference/allfiles2/148_WindEurope2016presentation.pdf; A. Papakonstantinou i in., *3D Geovisualisation of Noise and Visual impact of a proposed wind farm development using a GIS based visual-acoustic 3D simulation*, „International Cartographic Association” (2013), https://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2013/_extendedAbstract/246_proceeding.pdf.

⁵⁵⁰ Akinwale Omowumi Ishola, Olusegun Gbenga Odunaiya, Oluwatobi Timothy Soyombo, *Stakeholder communication framework for successful implementation of community-based renewable energy projects*, „International Journal of Frontiers in Engineering and Technology Research” t. 7 nr 2 (2024), DOI: 10.53294/ijfstr.2024.7.2.0047, <https://frontiersrj.com/journals/ijfetr/node/244>.

Wreszcie, istotną grupę stanowią instrumenty stricte zdrowotne i psychospołeczne, takie jak systematyczny monitoring oddziaływań hałasu i innych uciążliwości, uwzględnianie wskaźników zdrowia psychicznego w ocenie skutków projektów, a także współpraca z instytucjami ochrony zdrowia publicznego przy planowaniu większych inwestycji. Zapewnienie mieszkańcom dostępu do rzetelnych informacji medycznych, możliwość konsultacji z ekspertami oraz wdrażanie środków zaradczych (np. zmiany pracy turbin w określonych porach, tworzenie stref buforowych) może ograniczać stres, niepewność i poczucie braku kontroli nad otoczeniem.

Zestaw tych instrumentów – od polityk publicznych i planowania przestrzennego, przez strategie zarządzania w przedsiębiorstwach OZE, po działania edukacyjne i zdrowotne – tworzy praktyczno-zarządczy wymiar zarządzania kosztami społecznymi transformacji energetycznej. Integracja tych elementów w spójną architekturę instytucjonalną pozwala nie tylko ograniczać obciążenia ponoszone przez najbardziej wrażliwe grupy, lecz także wzmacniać legitymizację i efektywność samej transformacji, przybliżając perspektywę bardziej sprawiedliwego i zrównoważonego systemu energetycznego.

Zebrane w rozdziale czwartym ustalenia pozwoliły uchwycić społeczne i zdrowotne koszty transformacji energetycznej oraz wskazać dostępne instrumenty ich łagodzenia. W dalszej części pracy perspektywa ta zostanie przeniesiona na grunt konkretnych uwarunkowań terytorialnych. Kolejny rozdział poświęcony został metodyce badań empirycznych, których celem jest równoczesna ocena perspektywy przedsiębiorstw i mieszkańców wobec procesów transformacji energetycznej w województwie kujawsko-pomorskim. W rozdziale 5 również zidentyfikowano kluczowe wyzwania w obszarze kosztów społecznych rozwoju OZE w regionie o silnie zróżnicowanej strukturze przestrzennej i gospodarczej. Stanowi to niezbędny krok od ujęcia teoretycznego do diagnozy regionalnej, która będzie następnie rozwijana w części empirycznej.

5. METODYKA BADAŃ EMPIRYCZNYCH

5.1. ZAŁOŻENIA BADAŃ I LUKA BADAWCZA

Problematyka podjęta w niniejszej dysertacji wpisuje się w aktualny nurt badań nad transformacją energetyczną, zrównoważonym rozwojem oraz społecznymi konsekwencjami rozwoju przedsiębiorstw dysponujących odnawialnymi źródłami energii. Jej znaczenie wynika nie tylko z rosnącej roli OZE w polityce klimatycznej Unii Europejskiej i Polski, lecz również z regionalnego wymiaru tej transformacji. Województwo kujawsko-pomorskie, ze względu na swoją strukturę gospodarczą, rolniczy charakter znacznej części obszaru oraz zróżnicowany rozwój instalacji OZE, stanowi istotne pole analizy kosztów społecznych towarzyszących przemianom energetycznym. Badanie tych zjawisk na poziomie regionalnym pozwala uchwycić zarówno ogólne mechanizmy transformacji, jak i ich lokalne uwarunkowania.

W niniejszej pracy zastosowano pojęcie poziomu zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi. Kategoria ta jest rozumiana jako stopień rozwinięcia, uporządkowania i integracji praktyk zarządczych odnoszących się do

identyfikowania, monitorowania, uwzględniania i ograniczania kosztów społecznych w procesach zarządczych przedsiębiorstw sektora OZE. W literaturze z zakresu nauk o zarządzaniu pojęcie poziomu zaawansowania jest wykorzystywane do oceny rozwoju określonych obszarów zarządzania, m.in. zarządzania strategicznego⁵⁵¹, controllingu⁵⁵². Jednocześnie pojęcie to pozostaje bliskie kategorii dojrzałości zarządzania, ponieważ również odnosi się do przechodzenia od działań incydentalnych i reaktywnych do działań bardziej uporządkowanych, monitorowanych i zintegrowanych⁵⁵³.

Tak rozumiany poziom zaawansowania pozwala ocenić, w jakim zakresie przedsiębiorstwa sektora OZE rozwijają praktyki zarządcze w obszarze ekonomiczno-organizacyjnym, środowiskowym oraz społeczno-zdrowotnym. Umożliwia to analizę nie tylko samego występowania działań, lecz także ich stopnia systematyzacji, powiązania z procesami decyzyjnymi oraz znaczenia dla ograniczania kosztów społecznych. W tym ujęciu poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi nie powinien być rozumiany wyłącznie jako formalizacja procedur, lecz jako zdolność przedsiębiorstwa do zintegrowanego, odpowiedzialnego i długookresowo ukierunkowanego działania.

W kontekście zarządzania kosztami społecznymi szczególne znaczenie ma zdolność przedsiębiorstwa do integrowania celów ekonomiczno-organizacyjnych, środowiskowych oraz społeczno-zdrowotnych w ramach spójnego systemu zarządczego. Badania dotyczące dojrzałości CSR wskazują, że wyższy poziom zaawansowania działań odpowiedzialnych społecznie sprzyja przechodzeniu od działań incydentalnych i taktycznych do bardziej trwałej integracji odpowiedzialności społecznej i środowiskowej z codziennym funkcjonowaniem przedsiębiorstwa. Jednocześnie sama formalizacja działań nie jest wystarczająca, jeżeli nie towarzyszy jej rzeczywiste zakotwiczenie w strategii i praktyce zarządczej⁵⁵⁴. Z perspektywy niniejszej pracy poziom zaawansowania stanowi zatem użyteczną kategorię analizy zarządzania kosztami społecznymi, ponieważ pozwala uchwycić, w jakim stopniu

⁵⁵¹ M. Pietrzak, M. Wojcieszekiewicz, *Poziom zaawansowania zarządzania strategicznego a wielkość organizacji w świetle badań absolwentów SP PRE-MBA MiTM przy Wydziale Nauk Ekonomicznych SGGW*, „Zeszyty Naukowe SGGW - Ekonomia i Organizacja Gospodarki Żywnościowej” nr 75 (2009), DOI: 10.22630/EIOGZ.2009.75.37, <https://eiogz.sggw.edu.pl/article/view/8050>.

⁵⁵² J.M. Lichtarski, K. Nowosielski, *Metodyka pomiaru stanu zaawansowania controllingu w małych i średnich przedsiębiorstwach*, „Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu” t. 1101 (2006).

⁵⁵³ C.-W. Cha i in., *A Maturity Model for Diagnosing the Capabilities of Smart Factory Solution Suppliers and Its Pilot Application*, „Systems” t. 11 nr 12 (2023), DOI: 10.3390/systems11120569, <https://www.mdpi.com/2079-8954/11/12/569>; T. Yang i in., *Does the digital transformation of enterprises affect capital mismatch? evidence from Chinese listed firms*, „PLOS ONE” t. 20 nr 2 (2025), DOI: 10.1371/journal.pone.0313674, <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0313674>.

⁵⁵⁴ P. Maccarrone, A.M. Contri, *Integrating Corporate Social Responsibility into Corporate Strategy: The Role of Formal Tools*, „Sustainability” t. 13 nr 22 (2021), DOI: 10.3390/su132212551, <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/22/12551>; A. Witek-Crabb, *CSR Maturity in Polish Listed Companies: A Qualitative Diagnosis Based on a Progression Model...*

przedsiębiorstwo potrafi systemowo identyfikować, uwzględniać i ograniczać społeczne konsekwencje swojej działalności.

Przegląd literatury wykazał, że dotychczasowe badania nad kosztami społecznymi OZE mają charakter fragmentaryczny. Część opracowań skoncentrowano na społecznej akceptacji inwestycji w odnawialne źródła energii, część na środowiskowych lub ekonomicznych skutkach transformacji energetycznej, a część na zagadnieniach zrównoważonego rozwoju i odpowiedzialności przedsiębiorstw sektora energetycznego. W literaturze obecne są również badania dotyczące modeli zaawansowania zarządzania, jednak najczęściej odnoszą się one do ogólnych praktyk organizacyjnych, procesów, jakości, CSR lub zrównoważonego rozwoju, a nie do zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE. Oznacza to, że poszczególne elementy analizowanego problemu są obecne w literaturze, lecz najczęściej funkcjonują oddzielnie.

Szczególnie widoczny jest brak badań integrujących trzy perspektywy jednocześnie: ekonomiczno-zarządczą, środowiskową oraz społeczno-zdrowotną. Nie zidentyfikowano opracowań, które kompleksowo ujmowałyby problematykę zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE z wykorzystaniem kategorii zaawansowania zarządzania, a jednocześnie odnosiłyby ją do społecznej percepcji tych kosztów oraz akceptacji inwestycji. W dotychczasowych badaniach opisano zwykle koszty społeczne jako zjawisko odczuwane przez otoczenie, natomiast znacznie rzadziej analizowano, w jaki sposób przedsiębiorstwa rozpoznają te koszty, formalizują działania zaradcze, przeznaczają na ten cel zasoby oraz włączają ten obszar do praktyk decyzyjnych i strategicznych.

Dla potwierdzenia zakresu luki badawczej przeprowadzono kwerendę literatury w bazach Google Scholar, Scopus i Web of Science (12.10.2024). W wyszukiwaniu zastosowano zestaw słów kluczowych: *“social cost management”*, *“renewable energy enterprises”*, *“regional sustainable development”*. Brak wyników łączących wszystkie pojęcia. W drugim etapie postępowania zmodyfikowano zestaw słów kluczowych, przyjmując bardziej ogólne i powszechnie stosowane w literaturze określenia: *“social cost”*, *“renewable energy”*, *“enterprise management”* oraz *“sustainable development”*. Zabieg ten pozwolił rozszerzyć zakres wyszukiwania i uwzględnić szerszy kontekst tematyczny, zarówno prace ekonomiczne i środowiskowe, jak i z zakresu zarządzania. Pomimo zwiększenia liczby wyników wyszukiwania, nie zidentyfikowano żadnej publikacji, która łączyłaby wszystkie cztery wymienione kategorie w sposób zintegrowany.

Istotnym wymiarem tej luki jest również kontekst regionalny. Przedsiębiorstwa w województwie kujawsko-pomorskim stanowią trafne pole badawcze ze względu na rozwój energetyki odnawialnej, w tym szczególnie energetyki wiatrowej, a także udokumentowaną obecność napięć społecznych towarzyszących lokalizacji inwestycji OZE. Jednocześnie region ten, podobnie jak szerzej polski kontekst transformacji energetycznej, pozostaje słabo reprezentowany w głównym nurcie anglojęzycznych badań nad społeczną akceptacją OZE. Oznacza to, że luka ma nie tylko charakter teoretyczny i metodyczny, lecz także empiryczny i przestrzenny.

Przegląd literatury wykazał, że koszty społeczne transformacji energetycznej są zjawiskiem wielowymiarowym, obejmującym zarówno skutki środowiskowe

i ekonomiczne, jak i czynniki społeczne związane z akceptacją inwestycji, komunikacją oraz postrzeganiem sprawiedliwości procesu transformacji. W dotychczasowych badaniach brakuje jednak kompleksowego podejścia, które łączyłoby perspektywę przedsiębiorstw – podmiotów generujących i zarządzających kosztami społecznymi – z perspektywą społeczeństwa, które te koszty odczuwa i ocenia. Luka ta ma istotne znaczenie praktyczne, ponieważ skuteczność transformacji zależy nie tylko od innowacyjnych technologii czy modeli finansowania, lecz także od jakości relacji między sektorem energetycznym a społecznościami lokalnymi.

W konsekwencji zasadnym stało się przyjęcie w części empirycznej dwutorowej perspektywy badawczej. Po stronie przedsiębiorstw analizie poddano poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi, rozumianej jako stopień rozwinięcia, uporządkowania i integracji praktyk zarządczych odnoszących się do identyfikowania, monitorowania, uwzględniania i ograniczania kosztów społecznych w procesach zarządczych przedsiębiorstw sektora OZE. Po stronie społecznej badanie objęło percepcję kosztów i korzyści OZE, ocenę działań przedsiębiorstw oraz poziom akceptacji inwestycji. Takie ujęcie pozwala zestawić perspektywę podmiotów generujących i zarządzających oddziaływaniem z perspektywą podmiotów (interesariuszy), które to oddziaływanie odczuwają i oceniają.

Zidentyfikowana luka badawcza uzasadnia podjęcie problemu badawczego dotyczącego zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE oraz społecznej percepcji tych kosztów i akceptacji inwestycji OZE w warunkach województwa kujawsko-pomorskiego.

5.2. CELE, PYTANIA BADAWCZE I HIPOTEZY

Punktem wyjścia podjętych badań było pytanie badawcze sformułowane następująco: **Jakie obszary wpływają na poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE w województwie kujawsko-pomorskim w warunkach transformacji energetycznej?** Pytanie wynikało z potrzeby rozpoznania, w jakim zakresie rozwój sektora odnawialnych źródeł energii jest powiązany nie tylko z wymiarem technologicznym i inwestycyjnym, lecz także z obszarem ekonomiczno-organizacyjnym, środowiskowym oraz społeczno-zdrowotnym, istotnym z perspektywy zarządzania kosztami społecznymi.

Postawiono również następujące szczegółowe pytania badawcze:

P1. W jakim zakresie kierunek i dynamika rozwoju OZE w przedsiębiorstwach województw kujawsko-pomorskiego jest spójny z priorytetami i celami polityki energetycznej UE oraz Polski?

P2. W jakim zakresie obszar finansowy, obejmujący finansowanie działań kompensacyjnych i koszty rekompensat wpływa na poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach OZE?

P3. W jakim zakresie obszar środowiskowy kształtuje poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE?

P4. W jakim zakresie obszar społeczno-zdrowotny pozostaje związany z poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE?

P5. Jakie czynniki kształtują akceptację inwestycji OZE wśród mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego?

W odpowiedzi na pytania badawcze przyjęto cel główny badania, którym była: **Identyfikacja obszarów kształtujących poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w warunkach transformacji energetycznej oraz opracowanie modelu zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE w województwie kujawsko-pomorskim** oraz następujące cele szczegółowe:

Na potrzeby realizacji celu głównego wyznaczono również cele szczegółowe:

C1. Diagnoza zgodności kierunku i dynamiki rozwoju OZE w województwie kujawsko-pomorskim z priorytetami polityki energetycznej UE i Polski, a szczególnie:

- Zidentyfikowanie kluczowych celów i priorytetów polityki energetycznej UE i Polski dotyczące OZE;
- Określenie dynamiki, struktury i kierunków rozwoju OZE w województwie kujawsko-pomorskim w badanym okresie.

C2. Określenie znaczenia obszaru finansowego, obejmującego finansowanie działań kompensacyjnych i koszty rekompensat, dla podniesienia poziomu zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE, w szczególności:

- wyodrębnienie komponentu określającego obszar finansowania działań kompensacyjnych i kosztów rekompensat na podstawie wyników badań ankietowych przedsiębiorstw;
- ocena zależności między finansowaniem i kosztami rekompensat a poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi oraz działaniami społecznymi, edukacyjnymi, komunikacyjnymi i kompensacyjnymi podejmowanymi przez przedsiębiorstwa sektora OZE.

C3. Określenie znaczenia obszaru środowiskowego jako komponentu zarządzania kosztami społecznymi przedsiębiorstw sektora OZE, a szczególnie:

- wyodrębnienie komponentu określającego obszar środowiskowy na podstawie wyników badań ankietowych przedsiębiorstw;
- ocena zależności między komponentem środowiskowym a poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi;
- określenie znaczenia zarządzania środowiskowego w podnoszeniu zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi;
- identyfikacja elementów obszaru środowiskowego w największym stopniu kształtujących poziom zaawansowania zarządzania.

C4. Określenie znaczenia obszaru społeczno-zdrowotnego jako komponentu zarządzania kosztami społecznymi przedsiębiorstw sektora OZE, a szczególnie:

- wyodrębnienie komponentu społeczno-zdrowotnego zarządzania kosztami społecznymi;
- ocena jego związku z poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi;

- określenie znaczenia kosztów społecznych i zdrowotnych w planowaniu inwestycji;
- ocena ryzyk zdrowotno-przestrzennych w diagnozie zaawansowania zarządzania.

C5. Określenie znaczenia wybranych czynników społecznych dla poziomu akceptacji inwestycji OZE wśród mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego, w szczególności:

- identyfikacja czynników społecznych związanych z akceptacją inwestycji OZE;
- ocena znaczenia postrzeganych kosztów społecznych dla poziomu akceptacji inwestycji OZE;
- określenie roli zaufania do przedsiębiorstw OZE oraz oceny ich działań w kształtowaniu akceptacji społecznej;
- rozpoznanie znaczenia działań kompensacyjnych i komunikacyjnych dla społecznej oceny inwestycji OZE.

Na tej podstawie sformułowano hipotezę główną, zgodnie z którą: **Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE wykazuje istotne powiązania w trzech obszarach - ekonomiczno-organizacyjnym, środowiskowym oraz społeczno-zdrowotnym** oraz następujące hipotezy szczegółowe:

H1. Kierunek rozwoju OZE w województwie kujawsko-pomorskim jest zgodny z priorytetami polityki energetycznej UE i Polski.

H2. Obszar finansowy, obejmujący finansowanie działań kompensacyjnych i koszty rekompensat, istotnie wpływa na poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE.

H3. Obszar środowiskowy stanowi istotny komponent zaawansowania poziomu zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE.

H4. Obszar społeczno-zdrowotny stanowi istotny komponent zaawansowania poziomu zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE.

H5. Akceptacja społeczna inwestycji w przedsiębiorstwach sektora OZE jest związana z oceną kosztów społecznych, działań przedsiębiorstw oraz poziomem zaufania do firm sektora OZE.

W tabeli 8 zaprezentowano powiązanie hipotez badawczych z częściami pracy, w których zostały one zweryfikowane.

Tabela 8. Powiązanie hipotez badawczych z rozdziałami pracy oraz metodami ich weryfikacji

Hipoteza	Rozdziały	Metoda
H1	1; 6	Desk research oraz analiza porównawcza dokumentów strategicznych, danych statystycznych i stanu rozwoju sektora OZE w województwie kujawsko-pomorskim.
H2	2, 4, 6	Analiza literatury dotyczącej ekonomicznych aspektów kosztów społecznych i działań kompensacyjnych oraz weryfikacja empiryczna na podstawie wyników badania ankietowego przeprowadzonego wśród przedsiębiorstw, wskaźników PCA i analizy korelacji.

H3	3, 6	Analiza literatury dotyczącej środowiskowego wymiaru kosztów społecznych oraz empiryczna weryfikacja na podstawie badania wśród przedsiębiorstw, komponentów PCA, analizy korelacji i regresji określającej wpływ tego obszaru na poziom zaawansowania zarządzania.
H4	4, 6	Analiza literatury dotyczącej kosztów społecznych, zdrowotnych i ryzyk zdrowotno-przestrzennych oraz empiryczna weryfikacja zależności na podstawie badania ankietowego przedsiębiorstw, komponentów wyodrębnionych metodą PCA i analizy korelacji.
H5	7	Hipotezę zweryfikowano na podstawie wyników badania ankietowego przeprowadzonego wśród mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego, stosując analizę korelacji, regresji oraz model PLS-SEM do oceny relacji pośredniczących między badanymi zmiennymi.

Źródło: opracowanie własne

Przedstawione zestawienie porządkuje przyjętą logikę postępowania badawczego, natomiast szczegółowa ocena stopnia realizacji celów oraz wyniki weryfikacji hipotez zostały omówione w zakończeniu pracy.

5.3. PRZEDMIOT I PODMIOT BADAŃ

Przedmiotem badania były koszty społeczne związane z rozwojem odnawialnych źródeł energii oraz sposób ich uwzględniania w praktykach zarządczych przedsiębiorstw sektora OZE. W części empirycznej dotyczącej przedsiębiorstw operacjonalizacji poddano nie sam poziom kosztów społecznych, lecz poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi, rozumianą jako stopień zaawansowania działań, procedur, monitoringu oraz nakładów ukierunkowanych na identyfikację, ograniczanie i kompensowanie negatywnych oddziaływań działalności przedsiębiorstwa na otoczenie. W części społecznej przedmiot badania obejmował natomiast percepcję korzyści i kosztów społecznych OZE, ocenę działań przedsiębiorstw oraz poziom akceptacji inwestycji w odnawialne źródła energii.

Podmiot badania stanowiły dwie grupy. Pierwszą tworzyły przedsiębiorstwa sektora OZE funkcjonujące na terenie województwa kujawsko-pomorskiego, w tym podmioty prowadzące działalność w obszarze energetyki wiatrowej, fotowoltaicznej, biogazowej i wodnej. Drugą grupę stanowili pełnoletni mieszkańcy województwa kujawsko-pomorskiego. Przyjęcie dwóch odrębnych podmiotów badania umożliwiło uchwycenie zarówno perspektywy organizacyjno-zarządczej przedsiębiorstw, jak i społecznej perspektywy oceny oddziaływań oraz akceptacji inwestycji OZE.

Jednostkami analizy były odpowiednio poszczególne przedsiębiorstwa sektora OZE oraz indywidualni respondenci – mieszkańcy województwa kujawsko-pomorskiego. Przestrzennym zakresem badania objęto obszar województwa kujawsko-pomorskiego.

5.4. WYBÓR METOD BADANIA

5.4.1. Dobór próby i organizacja badania

Badanie przedsiębiorstw sektora OZE przeprowadzono na podstawie operatu obejmującego 484 przedsiębiorstwa działające na terenie województwa kujawsko-pomorskiego, opracowanego w oparciu o dane Urzędu Regulacji Energetyki. Do badania kwalifikowano podmioty prowadzące działalność związaną z wytwarzaniem energii z odnawialnych źródeł energii na obszarze województwa kujawsko-pomorskiego, posiadające aktualny wpis lub koncesję w rejestrach URE na moment realizacji badania.

Badanie zaplanowano jako badanie pełne (próbę wyczerpującą), co oznacza, że zaproszenie do udziału skierowano do wszystkich podmiotów ujętych w operacie badawczym. Ostatecznie kompletne i poprawne odpowiedzi uzyskano od 150 przedsiębiorstw, co odpowiada stopie realizacji próby na poziomie około 31%. Badanie przeprowadzono techniką wywiadów telefonicznych wspomaganych komputerowo (CATI), a średni czas trwania pojedynczego wywiadu wynosił około 30 minut.

Dobór próby przedsiębiorstw miał charakter celowy i pełny na poziomie operatu, natomiast ostateczna próba badawcza miała charakter dostępnościowy, wynikający z dobrowolności udziału respondentów oraz gotowości przedsiębiorstw do uczestnictwa w badaniu. W związku z tym uzyskanych wyników nie należy traktować jako w pełni reprezentatywnych dla całej populacji przedsiębiorstw sektora OZE w Polsce, jednak liczebność próby oraz objęcie badaniem różnych typów instalacji OZE pozwalają na formułowanie wniosków odnoszących się do analizowanego regionu oraz identyfikację istotnych zależności i tendencji występujących w badanej grupie podmiotów.

Dobór próby mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego miał charakter losowy w obrębie dostępnego operatu badawczego. Populację generalną stanowiły osoby pełnoletnie (18+) stale zamieszkujące teren województwa kujawsko-pomorskiego. Badanie przeprowadzono metodą wywiadów telefonicznych wspomaganych komputerowo (CATI) z wykorzystaniem standaryzowanego kwestionariusza ankiety. Łącznie zrealizowano 600 poprawnych wywiadów.

Przy założeniu poziomu ufności 95% oraz losowego charakteru doboru respondentów wielkość próby pozwala przyjąć maksymalny błąd oszacowania na poziomie około $\pm 4\%$, co umożliwia traktowanie wyników jako reprezentatywnych dla populacji mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego w zakresie analizowanych postaw i opinii dotyczących inwestycji OZE.

Badanie empiryczne miało charakter przekrojowy. Dane pierwotne pozyskano w drodze badań ankietowych przeprowadzonych wśród przedsiębiorstw sektora OZE oraz mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego w okresie od kwietnia do czerwca 2025 roku. Uzyskane wyniki odzwierciedlają zatem stan percepcji kosztów społecznych oraz poziomu akceptacji społecznej inwestycji OZE w analizowanym okresie badawczym. Dane wtórne, obejmujące statystyki publiczne, raporty branżowe oraz dokumenty strategiczne i regulacyjne, dotyczyły – zależnie od dostępności danych – lat 2005–2026, co umożliwiło osadzenie wyników badań własnych

w szerszym kontekście procesów transformacji energetycznej zachodzących w Polsce i województwie kujawsko-pomorskim.

W badaniu przyjęto również określone ograniczenia interpretacyjne. Ze względu na regionalny charakter analiz oraz dobrowolność udziału przedsiębiorstw w badaniu, możliwość generalizacji wyników na całą populację przedsiębiorstw sektora OZE w Polsce pozostaje ograniczona. Ponadto zastosowanie techniki CATI wiąże się z ryzykiem występowania deklaratywności odpowiedzi oraz subiektywnego sposobu oceny analizowanych zjawisk przez respondentów. Pomimo tych ograniczeń uzyskane wyniki pozwalają na identyfikację istotnych zależności i mechanizmów związanych z zarządzaniem kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE.

5.4.2. Metody i techniki badawcze

W części empirycznej zastosowano podejście ilościowe, uzupełnione analizą jakościową materiałów zastanych. Podstawową metodą badawczą był sondaż diagnostyczny, zrealizowany techniką ankiety internetowej CATI. Uzupełniając wykorzystano analizę dokumentów, raportów, regulacji prawnych, dostępnych statystyk i materiałów informacyjnych, służącą identyfikacji przedsiębiorstw funkcjonujących w regionie, określenie rodzaju i skali prowadzonej przez nie działalności, w tym mocy instalacji, a także rozpoznanie uwarunkowań prawnych, regulacyjnych i rozwojowych sektora. Ze względu na dwutorowy charakter badania objęto analizą dwie odrębne grupy respondentów: przedsiębiorstwa sektora OZE oraz mieszkańców. W pracy wykorzystano również analizę literatury przedmiotu, która stanowiła podstawę identyfikacji luki badawczej, sformułowania problemu badawczego, opracowania założeń teoretycznych oraz konstrukcji narzędzi badawczych.

5.4.3. Narzędzia badawcze

Kwestionariusz dla przedsiębiorstw

Kwestionariusz badawczy skierowany do przedsiębiorstw sektora OZE miał strukturę sześcioczęściową i obejmował 46 głównych pozycji pytaniowych. Narzędzie łączyło pytania metryczkowe, pytania jednokrotnego i wielokrotnego wyboru, pytania otwarte i półotwarte, pytania warunkowe, pytania macierzowe oraz pozycje oceniane na pięciostopniowych skalach porządkowych. Został on zaprojektowany w celu rozpoznania sposobu, w jaki przedsiębiorstwa postrzegają koszty społeczne swojej działalności, jak oceniają ich wpływ na funkcjonowanie firmy oraz jakie praktyki zarządcze stosują w celu ich ograniczania. Wzór kwestionariusza zamieszczono w załączniku 1.

Kwestionariusz zawierał metryczkę, która służyła charakterystyce przedsiębiorstwa oraz respondenta. Obejmowała pytania dotyczące rodzaju wytwarzanej energii odnawialnej, okresu funkcjonowania w branży, lokalizacji instalacji, mocy zainstalowanej, wielkości zatrudnienia, wskaźnika LCOE oraz stanowiska osoby udzielającej odpowiedzi. Druga część dotyczyła świadomości i zarządzania kosztami społecznymi; obejmowała pytania o podejmowanie działań

minimalizujących koszty społeczne, stopień ich uwzględniania w planowaniu inwestycji oraz główne bariery w zarządzaniu tym obszarem.

Trzecia część odnosiła się do społeczno-zdrowotnego wymiaru kosztów społecznych i obejmowała pytania o analizę wpływu działalności na zdrowie i dobrostan społeczności lokalnych, czynniki zdrowotne uwzględniane przez przedsiębiorstwo, wcześniejsze wykorzystanie terenu, koszty alternatywne, działania rekultywacyjne i kompensacyjne, odległość instalacji od zabudowy mieszkaniowej, skutki sprzeciwu społecznego oraz działania podejmowane wobec społeczności lokalnej. W czwartej części skoncentrowano się na środowiskowych determinantach kosztów społecznych i obejmowała zagadnienia związane ze strategią zrównoważonego rozwoju, monitorowaniem wskaźników środowiskowych, uwzględnianiem aspektów środowiskowych w planowaniu inwestycji, analizą wpływu na krajobraz oraz działaniami minimalizującymi oddziaływanie na środowisko.

Piąta część dotyczyła ekonomicznego wymiaru kosztów społecznych. Zawierała pytania o udział budżetu operacyjnego przeznaczanego na działania ograniczające koszty społeczne, planowanie przyszłych wydatków, źródła finansowania, czynniki ekonomiczne uwzględniane w analizie kosztów społecznych, wpływ tych działań na wyniki finansowe, ocenę systemu regulacyjnego, opłacalność inwestowania w technologie ograniczające negatywne oddziaływanie oraz częstotliwość prowadzenia analiz ekonomicznych. Ostatnia część miała charakter podsumowujący i perspektywiczny; obejmowała pytania o czynniki kosztów społecznych najsilniej wpływające na działalność przedsiębiorstwa, współpracę z administracją publiczną, znaczenie transparentności, postulowane zmiany regulacyjne, wykorzystanie narzędzi cyfrowych oraz przyszłe uwzględnianie kosztów społecznych w strategii biznesowej.

Konstrukcja kwestionariusza odpowiadała logice przejścia od charakterystyki przedsiębiorstwa, przez ogólną diagnozę świadomości i praktyk zarządczych, do pogłębionej analizy społeczno-zdrowotnych, środowiskowych i ekonomicznych wymiarów kosztów społecznych, a następnie do zagadnień związanych z transparentnością, współpracą instytucjonalną, cyfryzacją i orientacją strategiczną przedsiębiorstw. Dzięki temu narzędzie umożliwiało uchwycenie nie tylko deklaracyjnych ocen respondentów, lecz również konkretnych praktyk, procedur, narzędzi i rozwiązań stosowanych przez przedsiębiorstwa OZE w obszarze zarządzania kosztami społecznymi.

Kwestionariusz dla mieszkańców

Badanie społeczne przeprowadzono metodą ankiety internetowej CAWI na próbie 600 respondentów. Kwestionariusz obejmował 22 pytania merytoryczne oraz 4 pytań metryczkowych odnoszących się do płci, wieku, wykształcenia i miejsca zamieszkania respondentów. Szczegółową charakterystykę próby przedstawiono w rozdziale prezentującym wyniki badań. Wzór kwestionariusza zamieszczono w załączniku 2.

Kwestionariusz badawczy skierowany dla mieszkańców służył rozpoznaniu opinii społeczeństwa na temat kosztów społecznych energetyki odnawialnej,

postrzeganych korzyści i zagrożeń związanych z OZE, oceny działań kompensacyjnych przedsiębiorstw oraz poziomu akceptacji społecznej dla inwestycji tego typu. Kwestionariusz miał układ blokowy. Pierwszy blok dotyczył poziomu wiedzy respondentów o OZE, oceny znaczenia poszczególnych korzyści oraz preferencji wobec różnych źródeł energii odnawialnej. Drugi blok koncentrował się na postrzeganych kosztach społecznych OZE oraz ocenie działań przedsiębiorstw podejmowanych w celu ograniczania negatywnych skutków inwestycji. Trzeci blok obejmował pytania o działania kompensacyjne, ich znaczenie dla społeczności lokalnych oraz wpływ na akceptację społeczną. Czwarty blok dotyczył doświadczeń lokalnych respondentów, w tym obecności inwestycji OZE w otoczeniu, ich wpływu na społeczność oraz gotowości do akceptacji nowych instalacji. W kwestionariuszu zastosowano pytania jednokrotnego i wielokrotnego wyboru oraz pytania macierzowe oparte głównie na pięciostopniowych skalach porządkowych. Dodatkowo w treści narzędzia zamieszczono krótkie definicje źródeł OZE oraz kosztów społecznych, co miało na celu ujednolicenie sposobu rozumienia kluczowych pojęć przez respondentów.

Tak skonstruowany kwestionariusz umożliwił zbadanie zarówno ogólnych postaw wobec OZE, jak i bardziej szczegółowych ocen dotyczących korzyści, kosztów społecznych, działań kompensacyjnych oraz akceptacji inwestycji. Poszczególne bloki pytań stanowiły następnie podstawę operacjonalizacji zmiennych wykorzystanych w analizach klasycznych oraz modelowaniu równań strukturalnych.

5.5. OPERACJONALIZACJA ZMIENNYCH I KONSTRUKCJA WSKAŹNIKÓW

5.5.1. Operacjonalizacja zmiennych w badaniu przedsiębiorstw

Na poziomie koncepcyjnym przyjęto, że poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE stanowi główny badany konstrukt, analizowany w odniesieniu do trzech podstawowych obszarów: ekonomiczno-organizacyjnego, środowiskowego oraz społeczno-zdrowotnego. Operacjonalizacja tych obszarów została oparta na pozycjach kwestionariusza odnoszących się do praktyk zarządczych, działań ograniczających negatywne skutki działalności, monitorowania oddziaływania na środowisko, finansowania działań kompensacyjnych, a także uwzględniania konsekwencji zdrowotnych i społecznych inwestycji OZE. Założono, że poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi odzwierciedla stopień, w jakim badane przedsiębiorstwa OZE systemowo identyfikują, analizują i uwzględniają koszty społeczne w procesach decyzyjnych i operacyjnych.

W celu empirycznej weryfikacji tej struktury zastosowano eksploracyjną analizę głównych składowych (PCA) z rotacją oblimin. Przy bardzo dobrym poziomie adekwatności próby ($KMO = 0,85$) oraz istotnym teście sferyczności Bartletta ($p < 0,001$) uzyskano rozwiązanie sześciowymiarowe, które łącznie wyjaśniało około 69% wariancji. Oznacza to, że pierwotnie zakładane trzy obszary oraz konstrukt nadrzędny nie zostały odrzucone, lecz uległy empirycznemu uszczegółowieniu i rozbiciu na bardziej jednorodne podwymiary.

W rezultacie w obrębie pierwotnego modelu wyodrębniono następujące wymiary empiryczne: społeczno-komunikacyjny wymiar działań przedsiębiorstwa, wymiar zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi, monitoring środowiskowy, operacyjne działania na rzecz środowiska, finansowo-rekompensacyjny wymiar zarządzania oraz zdrowotno-przestrzenny wymiar oddziaływania inwestycji. Takie rozwiązanie wskazuje, że trzy zakładane obszary składowe znajdują odzwierciedlenie w danych, lecz na poziomie bardziej szczegółowym niż pierwotnie przyjęto.

Operacjonalizacja zmiennych została oparta na przypisaniu poszczególnych pozycji kwestionariusza do konstruktów odpowiadających przyjętym obszarom teoretycznym. Szczegółowe przyporządkowanie pytań do konstruktów nadrzędnego oraz obszarów składowych przedstawiono w tabeli 9. Dla zwiększenia czytelności zestawienie podzielono na poziom teoretyczny oraz empiryczne uszczegółowienie uzyskane w PCA.

Tabela 9. Operacjonalizacja zmiennych w części badania przedsiębiorstw

Badany konstrukt: Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi				
Pozycje konstruktu nadrzędnego: 8-9[I], 9[III], 1[IV], 6[IV], 5[VI]				
stopień systemowego uwzględniania kosztów społecznych w analizie, planowaniu i zarządzaniu działalnością przedsiębiorstwa				
Wymiary koncepcyjne				
Ekonomiczno-organizacyjny	Środowiskowy		Społeczno-zdrowotny	
17 pozycji: 1-3[V], 5[V], 8[V], 11[V]	26 pozycji: 2-5[IV], 4[V]		26 pozycji: 1-3[III], 9[III]	
ekonomiczno-organizacyjne ujęcie kosztów, działań ograniczających wpływ oraz monitoringu	analizy wpływu na środowisko, działania minimalizujące oddziaływanie, monitoring wskaźników oraz związane z tym koszty		wpływ działalności na zdrowie, dobrostan i relacje ze społecznością lokalną oraz działania kompensacyjne i informacyjne	
Empiryczne uszczegółowienie struktury modelu (PCA)				
Pozycje konstruktu Poziom zaawansowania zarządzania: 1[III], 5,8,9[V], 9[I], 6[IV] (czynnik 2)				
jak firmy mierzyły i oceniały społeczno-ekonomiczne aspekty swoich działań				
Finansowanie i koszty rekompensat (czynnik 5)	Monitorowanie wskaźników środowiskowych (czynnik 3)	Działania na rzecz środowiska (czynnik 4)	Działania komunikacyjne, kompensacyjne i społeczne (czynnik 1)	Zdrowotno-przestrzenne konsekwencje inwestycji (czynnik 6)

5 pozycji: 3(4, 5, 7)[V], 4[IV], 11(5)[V]	6 pozycji: 2(2-7)[IV]	9 pozycji: 5(3, 4, 6-8, 10, 11, 13, 15)[IV]	11 pozycji: 9(4, 6-9, 12, 14- 18)[III]	3 pozycje: 2(4-6)[III]
---	--------------------------	--	--	---------------------------

Źródło: opracowanie własne

Empiryczne uszczegółowienie modelu w analizie PCA pozwoliło wyodrębnić sześć bardziej szczegółowych wymiarów opisujących poziom, w jakim przedsiębiorstwa sektora OZE uwzględniają koszty społeczne, środowiskowe i zdrowotne swojej działalności oraz jak nimi zarządzają.

Czynnik 1 – działania komunikacyjne i społeczne obejmował pozycje odnoszące się do komunikacji z otoczeniem, edukacji, współpracy z interesariuszami oraz działań skierowanych do społeczności lokalnej. Wymiar ten odzwierciedla stopień społecznego zaangażowania przedsiębiorstwa oraz jego otwartość na dialog.

Czynnik 2 – poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi skupiał pozycje dotyczące uwzględniania kosztów społecznych w analizie, planowaniu inwestycji, ocenie ekonomicznej oraz polityce zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstwa. Wymiar ten można interpretować jako stopień systemowego i świadomego zarządzania społecznymi konsekwencjami działalności firmy.

Czynnik 3 – monitoring wskaźników środowiskowych obejmował pozycje odnoszące się do pomiaru śladu wodnego, jakości powietrza, gospodarki odpadami, zużycia surowców, bioróżnorodności oraz efektywności środowiskowej. Oznacza to, że czynnik ten opisuje stopień uporządkowania i danych wykorzystywanych w zarządzaniu środowiskowym.

Czynnik 4 – działania na rzecz środowiska dotyczył praktycznych rozwiązań ograniczających negatywny wpływ przedsiębiorstwa na środowisko, takich jak efektywność energetyczna, recykling, ochrona zasobów wodnych, innowacyjne technologie czy działania kompensacyjne. Wymiar ten odzwierciedla operacyjny aspekt środowiskowej aktywności przedsiębiorstwa.

Czynnik 5 – finansowanie i koszty rekompensat obejmował pozycje związane ze źródłami finansowania działań ograniczających koszty społeczne, kosztami analiz oddziaływania oraz finansowymi formami rekompensat. Wymiar ten można interpretować jako finansowo-organizacyjny komponent zarządzania kosztami społecznymi.

Czynnik 6 – zdrowotno-przestrzenne konsekwencje inwestycji skupiał pozycje odnoszące się do stresu i dyskomfortu mieszkańców, ograniczenia dostępu do terenów rekreacyjnych i zielonych oraz nieuwzględniania czynników zdrowotnych. Wymiar ten odzwierciedla wrażliwość przedsiębiorstwa na zdrowotne i przestrzenne skutki realizowanych inwestycji.

Uzyskane rozwiązanie wskazuje, że pierwotnie zakładane trzy wymiary koncepcyjne uległy w danych empirycznych dalszemu uszczegółowieniu, co pozwoliło lepiej uchwycić złożoność zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE.

Analizie eksploracyjnej poddano bazę obejmującą 150 obserwacji i 49 zmiennych. W procesie wstępnej eksploracji nie stwierdzono obserwacji zawierających wyłącznie braki danych, zmiennych z brakami całkowitymi ani

zmiennych o stałej wariancji (załącznik 3). W analizowanych zmiennych syntetycznych nie odnotowano również braków danych. Analiza eksploracyjna wykazała, że rozkłady wszystkich analizowanych zmiennych syntetycznych odbiegały istotnie od rozkładu normalnego, co potwierdziły zarówno testy Shapiro–Wilka, jak i Kolmogorova–Smirnova z poprawką Lillieforsa. Najsilniejsze odchylenie od normalności odnotowano dla zmiennej „Monitoring wskaźników środowiskowych” (SW = 0,70; $p < 0,001$; KS = 0,21; $p < 0,001$), której rozkład cechował się także wysoką skośnością (2,60) i kurtozą (7,54). Wyniki eksploracji danych stanowiły przesłankę do zachowania ostrożności w doborze i interpretacji dalszych analiz statystycznych, zwłaszcza w odniesieniu do założeń normalności rozkładu.

5.5.2. Operacjonalizacja zmiennych w badaniu społecznym

Na podstawie treści kwestionariusza i przeglądu literatury zdefiniowano pięć konstruktów (zmiennych ukrytych) po rekodowaniu na jednolity kierunek skali. W celu uporządkowania sposobu operacjonalizacji zmiennych w badaniu społecznym w tabeli 10 zestawiono konstrukty wykorzystane w analizie, przypisane im pozycje kwestionariusza, liczbę itemów, sposób kodowania i agregacji oraz finalny zakres wskaźników uwzględnionych w modelu równań strukturalnych. Wskaźniki agregowane przedstawione w części A tabeli wykorzystano w analizach klasycznych. W modelu SEM odpowiadające im obszary traktowano natomiast jako konstrukty latentne o charakterze refleksyjnym, mierzone odpowiednimi pozycjami kwestionariusza, zestawionymi w części B tabeli.

Tabela 10. Operacjonalizacja konstruktów wykorzystanych w badaniu społecznym

Element	Korzyści	Koszty	Kompensacja	Zaufanie i ocena działań przedsiębior.	Akceptacja
Część A. Wskaźniki agregowane wykorzystywane w analizach klasycznych					
Pozycje	Pytania 3.01–3.10	Pytania 9.01–9.10	Pytania 13.01–13.10	Pytania 10, 11, 12, 14, 16	Pytania 2, 7, 19, 20, 21
Liczba pozycji	10	10	10	5 ^a	5
Zakres treści pozycji	korzyści środowiskowe, gospodarcze i społeczne	negatywne skutki społeczne, przestrzenne i środowiskowe	ocena znaczenia działań łagodzących skutki społeczne inwestycji	m.in. ocena aktywności przedsiębiorst w w zakresie ograniczania kosztów społecznych	Gotowość akceptacji inwestycji

Typ skali	pięciostopniowa skala typu Likerta				
Rekodowanie	odwrócone (1→5, 5→1)	odwrócone (analogicznie)	odwrócone (analogicznie)	odwrócone (1→5, ..., 5→1)	mieszane: pyt. 2, 21 odwrócone; pyt. 7, 19, 20 bez odwracania
Agregacja	Średnia arytmetyczna z pozycji (P3.01 : P3.10)	Średnia arytmetyczna z pozycji (P9.01 : P9.10)	Średnia arytmetyczna z pozycji (P13.01 : P13.10)	Średnia arytmetyczna z pozycji (P10, P11, P12, P14, P16)	Średnia arytmetyczna z pozycji (P2, P7, P19, P20, P21)
Część B. Konstrukty latentne i ich specyfikacja w modelu SEM					
Pozycje SEM	Pytania 3.01–3.10	Pytania 9.01–9.10	Pytania 13.01– 13.10	Pytania 10, 14, 16	Pytania 2, 7, 19, 20, 21
Liczba pozycji	10	10	10	3 ^b	5
Symbol	B (B1-B10)	C (C1-C10)	Komp (Komp1- Komp10)	Z (Z1, Z4, Z6)	AKC (AKC1- AKC5)
Rola	Zmienna egzogenna	Zmienna egzogenna	Zmienna egzogenna	Mediator (endogeny)	Zmienna wynikowa (endogenna)

^a Oryginalnie 6 pozycji (z pyt. 15). Pyt. 15 usunięte z powodu niskiej korelacji item-total ($r = .136$); α po usunięciu wzrosła z .656 do .691.

^b Pierwotna pięciopozycyjna wersja konstruktów Zaufanie i ocena działań przedsiębiorstw została zredukowana w toku analizy potwierdzającej — usunięto pozycje Z2 (pyt. 11) i Z3 (pyt. 12), które wykazywały ładunki czynnikowe poniżej przyjętego progu akceptowalności ($\lambda < 0,50$), obniżając tym samym trafność zbieżną konstruktów.

Źródło: opracowanie własne

Przedstawiona operacjonalizacja zmiennych stanowiła podstawę dalszej procedury analitycznej, omówionej w kolejnym podrozdziale.

5.6. METODY ANALIZY DANYCH

5.6.1. Analiza danych w badaniu przedsiębiorstw

Poziom istotności statystycznej dla wszystkich testów przyjęto na poziomie $\alpha = 0,05$. Rozkłady analizowanych zmiennych opisano przy użyciu statystyk opisowych. Zastosowano miary tendencji centralnej, w szczególności średnią arytmetyczną (M), oraz miary zróżnicowania w postaci odchylenia standardowego (SD), a także wartości minimalne i maksymalne. W przypadku zmiennych jakościowych przedstawiano liczebności w kategoriach (n) oraz odsetki (%). Normalność rozkładów wybranych zmiennych weryfikowano testem Shapiro-Wilka⁵⁵⁵. Zależności między zmiennymi oceniano z wykorzystaniem współczynnika korelacji rang Spearmana⁵⁵⁶. W celu redukcji liczby zmiennych oraz identyfikacji ukrytych wymiarów analizowanych zjawisk przeprowadzono eksploracyjną analizę czynnikową metodą głównych składowych (Principal Component Analysis - PCA). Zasadność zastosowania analizy czynnikowej oceniono przy użyciu miary adekwatności doboru próby Kaisera-Meyera-Olkina (KMO)⁵⁵⁷ oraz testu sferyczności Bartletta⁵⁵⁸. Liczbę czynników określono na podstawie analizy wykresu osypiska oraz analizy równoległej. W celu uzyskania bardziej interpretowalnej struktury czynnikowej zastosowano rotację oblimin, dopuszczającą możliwość korelacji pomiędzy wyodrębnionymi czynnikami. Przeprowadzono serię analiz weryfikujących podobieństwo rozkładu z próby do teoretycznego rozkładu normalnego testem Kolmogorova-Smirnova z poprawką Lilieforce'a⁵⁵⁹.

W celu pogłębionej oceny relacji pomiędzy wybranymi zmiennymi przeprowadzono również analizy regresji liniowej. W modelach regresji oceniano współczynniki regresji, poziom wyjaśnionej wariancji (R^2) oraz istotność statystyczną predyktorów. Dodatkowo przeprowadzono diagnostykę modeli regresji obejmującą ocenę współliniowości predyktorów przy użyciu współczynnika VIF⁵⁶⁰ oraz ocenę

⁵⁵⁵ J.P. Royston, *An Extension of Shapiro and Wilk's W Test for Normality to Large Samples*, „Applied Statistics” t. 31 nr 2 (1982), DOI: 10.2307/2347973, <https://www.jstor.org/stable/10.2307/2347973?origin=crossref>.

⁵⁵⁶ C. Spearman, *The Proof and Measurement of Association between Two Things*, „The American Journal of Psychology” t. 15 nr 1 (1904), DOI: 10.2307/1412159, <https://www.jstor.org/stable/1412159?origin=crossref>.

⁵⁵⁷ H.F. Kaiser, J. Rice, *Little Jiffy, Mark Iv*, „Educational and Psychological Measurement” t. 34 nr 1 (1974), DOI: 10.1177/001316447403400115, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/001316447403400115>.

⁵⁵⁸ M.S. Bartlett, *Tests of significance in factor analysis*, „British Journal of Statistical Psychology” t. 3 nr 2 (1950), DOI: 10.1111/j.2044-8317.1950.tb00285.x, <https://bpspsychub.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.2044-8317.1950.tb00285.x>.

⁵⁵⁹ G.E. Dallal, L. Wilkinson, *An analytic approximation to the distribution of Lilliefors' test for normality*, „The American Statistician” t. 40 (1986).

⁵⁶⁰ D.E. Farrar, R.R. Glauber, *Multicollinearity in Regression Analysis: The Problem Revisited*, „The Review of Economics and Statistics” t. 49 nr 1 (1967), DOI: 10.2307/1937887, <https://www.jstor.org/stable/1937887?origin=crossref>.

normalności i homoskedastyczności reszt modelu⁵⁶¹. W celu weryfikacji założenia dotyczącego homoskedastyczności wariancji przeprowadzono analizę testem Breusha - Pagana⁵⁶².

W celu pogłębienia interpretacji wyników przeprowadzono dodatkowo jednoczynnikowe analizy wariancji ANOVA dla wybranych pojedynczych pytań kwestionariusza (q3, r9, q6), aby sprawdzić, czy odpowiedzi różnicują się w zależności od cech strukturalnych przedsiębiorstw. Ponadto dla wybranych pytań dychotomicznych zastosowano testy chi-kwadrat niezależności, co umożliwiło ocenę, czy elementy formalizacji działań przedsiębiorstw – takie jak posiadanie formalnej strategii zrównoważonego rozwoju, korzystanie z finansowania ESG czy podejmowanie działań minimalizujących koszty społeczne – pozostają związane z charakterystyką badanych podmiotów. Analizy te miały charakter uzupełniający i eksploracyjny.

5.6.2. Analiza danych w badaniu społecznym

Analizę statystyczną przeprowadzono wieloetapowo, obejmując ocenę rzetelności skal, analizę statystyk opisowych, badanie zależności korelacyjnych, analizę regresji wielorakiej oraz jednoczynnikową analizę wariancji z porównaniami post hoc. Dla każdego z wyodrębnionych konstruktów obliczono współczynnik alfa Cronbacha w celu oceny spójności wewnętrznej skali⁵⁶³. W interpretacji przyjęto, że wartości około 0,70 można uznać za akceptowalne, natomiast w analizach eksploracyjnych dopuszczalne są również wartości nieco niższe⁵⁶⁴. Uzyskane wyniki wskazały na bardzo wysoką rzetelność skali benefitu OZE ($\alpha = 0,904$) oraz skali działań kompensacyjnych ($\alpha = 0,908$), wysoką rzetelność skali kosztów społecznych OZE ($\alpha = 0,876$), zadowalającą rzetelność skali akceptacji społecznej OZE ($\alpha = 0,796$) oraz akceptowalną w analizie eksploracyjnej rzetelność skali zaufania i oceny działań przedsiębiorstw ($\alpha = 0,691$). W przypadku konstruktu K4 przeprowadzono dodatkowo analizę korelacji pozycja-skala oraz wartości alfa po usunięciu poszczególnych pozycji, co doprowadziło do wykluczenia pytania 15 i poprawy rzetelności skali.

Dla każdego z pięciu konstruktów obliczono podstawowe statystyki opisowe: średnią arytmetyczną, odchylenie standardowe, medianę oraz wartości minimalne

⁵⁶¹ U. Knief, W. Forstmeier, *Violating the normality assumption may be the lesser of two evils*, „Behavior Research Methods” t. 53 nr 6 (2021), DOI: 10.3758/s13428-021-01587-5, <https://link.springer.com/10.3758/s13428-021-01587-5>.

⁵⁶² T.S. Breusch, A.R. Pagan, *A Simple Test for Heteroscedasticity and Random Coefficient Variation*, „Econometrica” t. 47 nr 5 (1979), DOI: 10.2307/1911963, <https://www.jstor.org/stable/1911963?origin=crossref>.

⁵⁶³ L.J. Cronbach, *Coefficient Alpha and the Internal Structure of Tests*, „Psychometrika” t. 16 nr 3 (1951), DOI: 10.1007/BF02310555, https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0033312300046494/type/journal_article.

⁵⁶⁴ D. George, P. Mallery, *SPSS for Windows Step by Step: A Simple Guide and Reference. 11.0 Update (4th ed.)*, Boston 2003; J.C. Nunnally, *Psychometric Theory (2nd ed.)*, New York 1978.

i maksymalne. W celu zbadania kierunku i siły zależności między konstruktami wyznaczono macierz współczynników korelacji Pearsona. Ze względu na liczebność próby ($N = 600$), przy której nawet relatywnie niskie wartości korelacji mogą osiągać istotność statystyczną, w interpretacji uwzględniano nie tylko poziom istotności, lecz również wielkość efektu. Przyjęto za Cohenem (1988), że wartości $r \approx 0,10$ oznaczają efekt mały, $r \approx 0,30$ efekt średni, a $r \approx 0,50$ efekt duży⁵⁶⁵.

W celu określenia względnej siły predykcyjnej poszczególnych konstruktów względem akceptacji społecznej OZE przeprowadzono analizę regresji wielorakiej metodą jednoczesnego wprowadzania predyktorów (enter). Zmienną zależną był konstrukt K5 (AKC), natomiast predyktorami były konstrukty K1 (B), K2 (C), K3 (KOMP) oraz K4 (Z — wersja zoptymalizowana). W analizie regresji oceniono dopasowanie modelu, istotność całego modelu oraz istotność poszczególnych predyktorów na podstawie współczynnika determinacji R^2 i jego wersji skorygowanej, testu F, współczynników niestandardyzowanych i standaryzowanych, błędów standardowych, a także wartości testu t i poziomów istotności p. Dodatkowo dla każdego predyktora obliczono korelację cząstkową z AKC po skontrolowaniu wpływu pozostałych trzech predyktorów, co pozwoliło ocenić unikalną siłę związku danego konstruktu ze zmienną zależną.

W celu zbadania różnic w poziomie pięciu konstruktów ze względu na zmienne demograficzne, tj. płeć, wiek, wykształcenie i miejsce zamieszkania, zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji (one-way ANOVA). Za poziom istotności statystycznej przyjęto $p < 0,05$. W przypadkach stwierdzenia istotnych różnic między grupami przeprowadzono porównania parami z zastosowaniem korekty Bonferroniego dla wielokrotnych porównań. Dla zmiennych obejmujących cztery kategorie przyjęto próg istotności $\alpha = 0,0083$. Korekta Bonferroniego została zastosowana w celu ograniczenia ryzyka błędu I rodzaju przy wielokrotnym testowaniu hipotez⁵⁶⁶.

Dodatkowo zweryfikowano poziom współliniowości predyktorów z wykorzystaniem wskaźników tolerancji i VIF. Uzyskane wartości tolerancji mieściły się w przedziale od 0,568 do 0,960, natomiast wartości VIF od 1,042 do 1,762, co wskazuje na brak nadmiernej współliniowości i potwierdza dopuszczalność uwzględnienia wszystkich predyktorów w modelu regresji.

W celu pogłębionej analizy zależności pomiędzy konstruktami latentnymi, uwzględniającej błąd pomiaru poszczególnych wskaźników oraz efekty mediacyjne, zastosowano modelowanie równań strukturalnych (SEM). Analizy przeprowadzono w programie JASP (wersja 0.18). Do analizy zależności strukturalnych między konstruktami zastosowano PLS-SEM, ponieważ podejście to znajduje szerokie zastosowanie w badaniach eksploracyjnych, ukierunkowanych na identyfikację kierunku i siły relacji w modelach złożonych⁵⁶⁷.

⁵⁶⁵ J. Cohen, *Statistical power analysis for the behavioral sciences Second Edition*, New York 1998.

⁵⁶⁶ H. Abdi, *Bonferroni and Šidák corrections for multiple comparisons* [w:] *Encyclopedia of Measurement and Statistics*, 2007.

⁵⁶⁷ T.K. Dijkstra, J. Henseler, *Consistent and asymptotically normal PLS estimators for linear structural equations*, „Computational Statistics & Data Analysis” t. 81 (2015), DOI: 10.1016/j.csda.2014.07.008,

Model strukturalny zakładał dwie relacje regresyjne. W pierwszym równaniu konstrukt Zaufania i oceny działań przedsiębiorstw (Z) był wyjaśniany przez Działania kompensacyjne (KOMP). W drugim równaniu konstrukt Akceptacji społecznej OZE (AKC) był wyjaśniany przez Korzyści OZE (B), Koszty społeczne OZE (C) oraz Zaufanie i ocenę działań przedsiębiorstw OZE (Z). Między konstruktami egzogenicznymi (B, C, KOMP) dopuszczono kowariancję. Przyjęta specyfikacja oznacza, że wpływ działań kompensacyjnych na akceptację społeczną miał charakter pośredni, realizowany za pośrednictwem zaufania do przedsiębiorstw OZE i oceny ich działań przez mieszkańców województwa.

W podejściu PLS-SEM oceniano zarówno jakość modelu pomiarowego, jak i modelu strukturalnego. W części pomiarowej uwzględniono ładunki zewnętrzne, AVE oraz wskaźniki rzetelności (alfa Cronbacha, ρ , ρ_A), natomiast w części strukturalnej analizowano współczynniki ścieżek, wartości R^2 i skorygowane R^2 , wielkości efektu f^2 oraz wskaźniki VIF. Istotność parametrów oszacowano z zastosowaniem procedury bootstrappingu, wyznaczając błędy standardowe, wartości z, poziomy istotności p oraz przedziały ufności⁵⁶⁸.

6. ANALIZA EMPIRYCZNA ZARZĄDZANIA KOSZTAMI SPOŁECZNYMI W PRZEDSIĘBIORSTWACH SEKTORA OZE W WOJEWÓDZTWIE KUJAWSKO-POMORSKIM

6.1. PRZEDSIĘBIORSTWA SEKTORA OZE W WOJEWÓDZTWIE KUJAWSKO-POMORSKIM – ANALIZA ILOŚCIOWA I JAKOŚCIOWA

Odnawialne źródła energii zajmują coraz ważniejsze miejsce w polskiej energetyce, stając się fundamentem procesów transformacyjnych ukierunkowanych na zrównoważony rozwój oraz osiągnięcie neutralności klimatycznej. Region kujawsko-pomorski, położony w północno-centralnej części kraju, wyróżnia się określonymi uwarunkowaniami geograficznymi i klimatycznymi, które w znaczący sposób determinują potencjał i kierunki rozwoju sektora OZE. Obszar ten, obejmujący 17 972 km², posiada zróżnicowany krajobraz obejmujący tereny nizinne i rolnicze, co sprzyja rozwojowi energetyki wiatrowej, słonecznej oraz biomasy i sprawia, że województwo kujawsko-pomorskie stanowi ważny punkt na mapie inwestycji w sektorze OZE⁵⁶⁹.

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167947314002126>; J. Henseler, *Partial least squares path modeling: Quo vadis?*, „Quality & Quantity” t. 52 nr 1 (2018), DOI: 10.1007/s11135-018-0689-6, <http://link.springer.com/10.1007/s11135-018-0689-6>.

⁵⁶⁸ J. Hair i in., *Multivariate Data Analysis*, Cengage 2019; C. Sarfo i in., *Crowdfunding's impact on small business performance through exploitative and exploratory search strategies: An entrepreneurial resourcefulness perspective*, „Strategic Change” t. 33 nr 5 (2024), DOI: 10.1002/jsc.2584, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsc.2584>.

⁵⁶⁹ Urząd Marszałkowski Województwa Kujawsko-Pomorskiego [Marshal's Office of the Kuyavian-Pomeranian Voivodeship], *Raport o stanie odnawialnych źródeł energii w*

Województwo kujawsko-pomorskie znajduje się w zasięgu trzech stref energetycznych wiatru, przy czym dominującą część jego obszaru obejmują strefy uznane – według klasyfikacji prof. Haliny Lorenc – za bardzo korzystne oraz korzystne. Warto jednak podkreślić, że określenia te odnoszą się wyłącznie do warunków występujących w Polsce i nie są bezpośrednio porównywalne z kategoriami stosowanymi w krajach o znacznie wyższym potencjale wiatrowym, takich jak Dania czy Norwegia⁵⁷⁰. Większość obszaru województwa kujawsko-pomorskiego znajduje się w strefie korzystnej, w której średnie prędkości wiatru odpowiadają wartościom od 1000 do 1250 kWh/m²/rok. Z kolei strefa bardzo korzystna obejmuje tereny o wyższym potencjale energetycznym, gdzie prędkości wiatru mieszczą się w przedziale 1500–2000 kWh/m²/rok, głównie w południowych i wschodnich częściach regionu. Najlepsze warunki dla rozwoju energetyki wiatrowej występują w powiecie mogileńskim oraz na obszarach części powiatów nakielskiego i żnińskiego, a także w powiatach brodnickim, lipnowskim, włocławskim, rypińskim oraz częściowo radziejowskim⁵⁷¹. Klimat województwa stwarza korzystne perspektywy dla energetyki wiatrowej, zwłaszcza w północnych i zachodnich częściach regionu, gdzie średnia prędkość wiatru na wysokości 100 metrów wynosi ok. 6–7 m/s. Sprzyja to rozwojowi farm wiatrowych, a region zajmuje czołowe miejsce w kraju pod względem zainstalowanej mocy w tym sektorze, która w 2024 roku przekroczyła 995,7 MW⁵⁷².

Równie istotne znaczenie ma energia słoneczna – średnie nasłonecznienie w województwie mieści się w przedziale 1100–1150 kWh/m², co stanowi wynik nieco niższy od średniej krajowej. Niemniej obszar ten wciąż należy zaliczyć do terenów o korzystnych warunkach dla rozwoju fotowoltaiki i paneli słonecznych. Lepsze warunki w tym zakresie występują w części północno-zachodniej regionu, podczas gdy obszary środkowo-wschodnie charakteryzują się nieco słabszym potencjałem. Należy jednak podkreślić, że poziom zasobów słonecznych na terenie całego województwa pozostaje stosunkowo wyrównany, a różnice między poszczególnymi częściami nie przekraczają około 5%⁵⁷³. W ostatnich latach odnotowano dynamiczny wzrost instalacji PV, szczególnie na terenach wiejskich,

województwie kujawsko-pomorskim [Report on the state of renewable energy sources in the Kuyavian-Pomeranian Voivodeship], 2023 r.

⁵⁷⁰ A. Ostrowska-Bučko, *Zagospodarowanie energii wiatru przy użyciu małych turbin wiatrowych o pionowej osi obrotu*, „Civil And Environmental Engineering Reports” t. 5 (2014).

⁵⁷¹ Kujawsko-Pomorskie Biuro Planowania Przestrzennego i Regionalnego we Włocławku, *Województwo Kujawsko-Pomorskie. Zasoby i możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii*.

⁵⁷² Urząd Marszałkowski Województwa Kujawsko-Pomorskiego [Marshal's Office of the Kuyavian-Pomeranian Voivodeship], *Raport o stanie odnawialnych źródeł energii w województwie kujawsko-pomorskim [Report on the state of renewable energy sources in the Kuyavian-Pomeranian Voivodeship]...*

⁵⁷³ A. Czwołek, *Stan i perspektywy rozwoju odnawialnych źródeł energii w województwie kujawsko-pomorskim*, 2023 r., <https://www.copernicanum.pl/2023,02,nasza-analiza-odnawialne-zrodla-energii-w-wojewodztwie-kujawsko-pomorskim/>.

wspierany m.in. przez program *Mój Prąd* oraz inne inicjatywy promujące rozwój mikroinstalacji⁵⁷⁴.

Województwo kujawsko-pomorskie dysponuje znacznym potencjałem rozwoju odnawialnych źródeł energii w obszarze biomasy i biogazu, co wynika z silnie rozwiniętego rolnictwa będącego podstawą regionalnej gospodarki. Produkcja rolna generuje duże ilości odpadów, które mogą być efektywnie wykorzystywane do wytwarzania energii cieplnej i elektrycznej. Region ten należy do czołówki w Polsce pod względem dostępności biomasy rolniczej, obejmującej m.in. słomę, pozostałości z upraw roślin energetycznych, takich jak wierzba energetyczna, oraz odpady z przemysłu rolno-spożywczego⁵⁷⁵. W 2023 roku w województwie funkcjonowało już kilka biogazowni rolniczych, a kolejne inwestycje planowane są zwłaszcza na obszarach wiejskich o największej dostępności surowców. Biogazownie przetwarzające odpady organiczne nie tylko przyczyniają się do zwiększenia produkcji energii odnawialnej, lecz także wspierają lokalną gospodarkę i ograniczają emisje związane z utylizacją odpadów organicznych⁵⁷⁶.

W skali kraju zagospodarowanie dostępnych zasobów hydroenergetycznych wynosi obecnie około 12%. W przypadku województwa kujawsko-pomorskiego stopień wykorzystania jest znacznie wyższy – sięga 57% potencjału teoretycznego określonego przez Kujawsko-Pomorskie Biuro Planowania Przestrzennego i Regionalnego we Włocławku. Jednocześnie niemal w pełni wykorzystano oszacowane zasoby techniczne, co wynika z faktu, że dalszy rozwój energetyki wodnej w regionie w dużym stopniu ograniczają uwarunkowania środowiskowe, regulacje prawne związane z ochroną przyrody oraz stan infrastruktury wodnej⁵⁷⁷.

Rozwój sektora OZE w województwie kujawsko-pomorskim wspierany jest przez liczne mechanizmy finansowe i instytucjonalne. Kluczowe znaczenie ma Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko (POLiŚ), który w zaktualizowanej wersji nadal stanowi podstawowe źródło finansowania projektów energetycznych⁵⁷⁸. Ponadto władze regionalne – w tym samorządy lokalne oraz Urząd Marszałkowski – realizują działania strategiczne ukierunkowane na wspieranie odnawialnych źródeł

⁵⁷⁴ Urząd Marszałkowski Województwa Kujawsko-Pomorskiego [Marshal's Office of the Kuyavian-Pomeranian Voivodeship], *Raport o stanie odnawialnych źródeł energii w województwie kujawsko-pomorskim* [Report on the state of renewable energy sources in the Kuyavian-Pomeranian Voivodeship]...

⁵⁷⁵ International Energy Agency (IEA), *Renewables 2023: Global Status Report*, 2023 r.

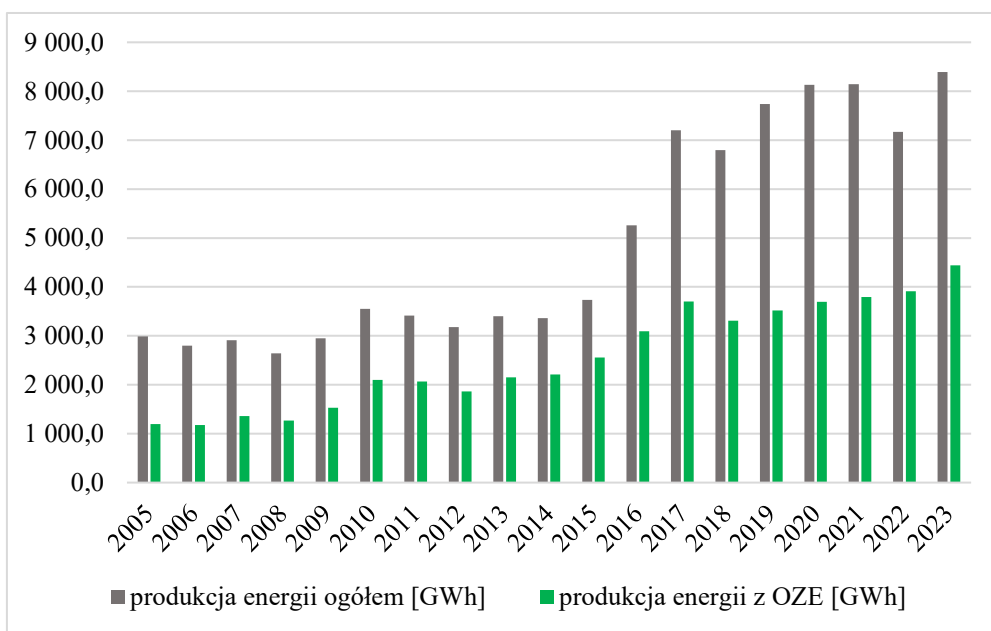
⁵⁷⁶ Urząd Marszałkowski Województwa Kujawsko-Pomorskiego [Marshal's Office of the Kuyavian-Pomeranian Voivodeship], *Raport o stanie odnawialnych źródeł energii w województwie kujawsko-pomorskim* [Report on the state of renewable energy sources in the Kuyavian-Pomeranian Voivodeship]...

⁵⁷⁷ Kujawsko-Pomorskie Biuro Planowania Przestrzennego i Regionalnego we Włocławku, *Województwo Kujawsko-Pomorskie. Zasoby i możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii...*

⁵⁷⁸ NFOŚiGW, *Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko 2014-2020: Priorytetowa oś – Energia odnawialna i efektywność energetyczna (Aktualizacja 2023 r.)*, 2023 r.

energii, co wzmacnia atrakcyjność inwestycyjną regionu i sprzyja jego transformacji energetycznej⁵⁷⁹.

W województwie kujawsko-pomorskim obserwuje się konsekwentny wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w całkowitej produkcji energii elektrycznej. W 2005 roku, który stanowi najwcześniejszy punkt odniesienia w dostępnych statystykach, OZE odpowiadały za 40,1% wytwarzania energii, podczas gdy w 2022 roku ich udział wzrósł do 54,6% a w kolejnym roku spadł delikatnie do 53%. Oznacza to nie tylko dynamiczny rozwój zielonej energetyki w regionie, ale również stopniowe uniezależnianie się od paliw konwencjonalnych. Na rysunku 30 zaprezentowano dane Głównego Urzędu Statystycznego, ukazujące całkowitą produkcję energii elektrycznej w województwie (wyrażoną w GWh) w zestawieniu z wolumenem energii generowanej z OZE. Analiza ta obrazuje długofalowy trend wzmacniania pozycji odnawialnych źródeł w regionalnym miksie energetycznym, co stanowi istotny element transformacji energetycznej w skali lokalnej i wpisuje się w ogólne cele polityki klimatycznej kraju i Unii Europejskiej⁵⁸⁰.



Rys. 30. Porównanie wartości produkcji energii ogółem a energii z OZE w woj. kuj.-pom. w latach 2005-2023

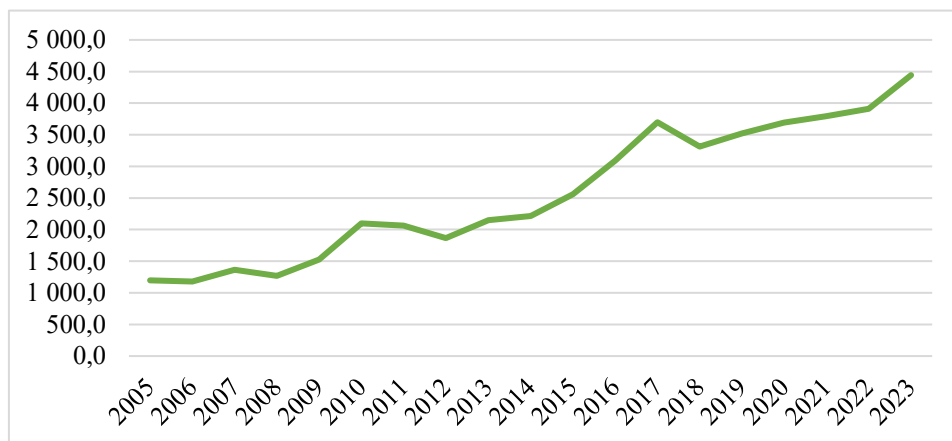
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (dostęp: 22.10.2024)

Na rysunku 31 przedstawiono dynamikę produkcji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł w województwie kujawsko-pomorskim. Analiza trendu

⁵⁷⁹ Urząd Marszałkowski Województwa Kujawsko-Pomorskiego [Marshal's Office of the Kuyavian-Pomeranian Voivodeship], *Raport o stanie odnawialnych źródeł energii w województwie kujawsko-pomorskim* [Report on the state of renewable energy sources in the Kuyavian-Pomeranian Voivodeship]...

⁵⁸⁰ Główny Urząd Statystyczny.

ujawnia dwa wyraźne okresy spadków – w latach 2012 oraz 2018 – które mogą być związane zarówno ze zmiennością warunków pogodowych, jak i czynnikami regulacyjnymi ograniczającymi rozwój inwestycji w OZE. W pierwszej fazie rozwoju sektora, obejmującej lata 2005–2010, przeciętne tempo wzrostu produkcji wynosiło 12% rocznie, co świadczy o dynamicznej ekspansji źródeł odnawialnych. W kolejnym okresie intensyfikacji, między rokiem 2012 a 2017, średni roczny przyrost osiągał poziom 15%, wskazując na dalsze przyspieszenie transformacji energetycznej regionu. W ostatnim okresie wzrostowym, obejmującym lata 2018–2023, dynamika przyrostu była już wyraźnie niższa, a jej wartość wyniosła jedynie 6%.



Rys. 31. Wykres dynamiki produkcji energii elektrycznej z OZE w woj. kuj.-pom.
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (dostęp: 22.10.2024)

Wartości przeciętnego tempa wzrostu produkcji energii z OZE w województwie kujawsko-pomorskim wyliczono według następującego wzoru:

$$T = \sqrt[n-1]{\frac{y_n}{y_1}} - 1 \quad (6)$$

gdzie:

T – przeciętne tempo zmian zjawiska w czasie (średnia geometryczna),

n – liczba okresów,

y_n – wartość końcowa,

y_1 – wartość początkowa

$$2005-2010: \quad T = \sqrt[6-1]{\frac{2098,2}{1197,9}} - 1 = \sqrt[5]{1,75} - 1 = 0,1186 \approx 12\% \quad (7)$$

$$2012-2017: \quad T = \sqrt[6-1]{\frac{3699,7}{1865,8}} - 1 = \sqrt[5]{1,98} - 1 = 0,1467 \approx 15\% \quad (8)$$

$$2018-2023: \quad T = \sqrt[6-1]{\frac{4442,8}{3311,2}} - 1 = \sqrt[5]{1,34} - 1 = 0,0606 \approx 6\% \quad (9)$$

Szczegółowa analiza dynamiki zmian między kolejnymi latami została przedstawiona w tabeli 11. Analiza danych z lat 2005–2023 dotyczących produkcji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii (OZE) w województwie kujawsko-pomorskim wskazuje na generalną tendencję wzrostową, przerywaną jednak okresowymi wahaniami. W tym okresie wolumen produkcji zwiększył się ponad trzykrotnie (z 1197,9 GWh w 2005 r. do 4442,8 GWh w 2023 r.), choć tempo wzrostu było zróżnicowane. Najwyższe tempo rozwoju odnotowano w okresach intensywnej ekspansji, m.in. w 2010 r., kiedy roczny przyrost wyniósł 570,1 GWh (wzrost o 37,3% rok do roku), jak również w latach 2015–2017, gdy produkcja rosła w tempie ok. 15–20% rocznie. Z kolei lata 2006 i 2008 przyniosły niewielkie spadki produkcji, a wyraźniejsze załamania odnotowano w latach 2011–2012 oraz ponownie w 2018 r., kiedy nastąpił największy roczny spadek w całym badanym okresie (o 388,5 GWh, ok. 10% względem poprzedniego roku). Po tych załamaniach następowało jednak odbicie i powrót na ścieżkę wzrostu – w latach 2019–2023 produkcja ponownie rosła, osiągając w 2023 r. rekordowe 4442,8 GWh (o 13,6% więcej niż w 2022 r.), co wskazuje na dynamiczny, choć nierównomierny rozwój sektora OZE w regionie.

Tabela 11. Analiza dynamiki zmian produkcji energii elektrycznej z OZE w woj. kuj.-pom.

Lata	GWh energii z OZE	Przyrost absolutny o podstawie zmiennej	Indeks o podstawie zmiennej
2005	1 197,9	-	-
2006	1 178,7	-19,2	0,984
2007	1 362,6	183,9	1,156
2008	1 269,2	-93,4	0,931
2009	1 528,1	258,9	1,204
2010	2 098,2	570,1	1,373
2011	2 063,3	-34,9	0,983
2012	1 865,8	-197,5	0,904
2013	2 148,1	282,3	1,151
2014	2 212,6	64,5	1,030
2015	2 558,2	345,6	1,156
2016	3 090,7	532,5	1,208
2017	3 699,7	609,0	1,197
2018	3 311,2	-388,5	0,895
2019	3 520,8	209,6	1,063
2020	3 694,0	173,2	1,049
2021	3 795,5	101,5	1,027
2022	3 912,6	117,1	1,031
2023	4 442,8	530,2	1,136

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (dostęp: 24.10.2024)

Analiza struktury odnawialnych źródeł energii w województwie kujawsko-pomorskim została oparta na zestawieniu opracowanym przez Urząd Regulacji Energetyki według stanu na 31 grudnia 2023 r. Dokument ten obejmuje instalacje posiadające koncesję na wytwarzanie energii elektrycznej, wraz z informacjami dotyczącymi ich lokalizacji, mocy zainstalowanej oraz typu technologii. Należy jednak podkreślić, że rejestr ten nie uwzględnia mikroinstalacji, w tym systemów prosumenckich, co oznacza, iż nie jest wykazem pełnym. Na podstawie danych zawartych w raporcie Urzędu Regulacji Energetyki przeprowadzono analizę liczby instalacji oraz mocy zainstalowanej w poszczególnych powiatach województwa kujawsko-pomorskiego, a uzyskane wyniki przedstawiono w formie tabelarycznej według rodzajów źródeł energii.

W pierwszej kolejności analizie poddano energię wiatrową, która odgrywa kluczową rolę w strukturze odnawialnych źródeł energii województwa kujawsko-pomorskiego. W tabeli 12 przedstawiono zestawienie danych dotyczących elektrowni wiatrowych w województwie kujawsko-pomorskim. Powiaty uszeregowano według liczby instalacji – od radziejowskiego, w którym funkcjonuje ich najwięcej (50), do sępoleńskiego, gdzie odnotowano jedynie 2 obiekty tego typu. W całym regionie zidentyfikowano 328 instalacji o łącznej mocy 929,212 MW. Szczególnie wyróżnia się powiat grudziądzki, w którym działa 17 elektrowni wiatrowych o najwyższej skumulowanej mocy – 191,645 MW. Należy dodać, że w samym mieście Grudziądz funkcjonuje instalacja o mocy 2,25 MW.

Tabela 12. Stan elektrowni wiatrowych w powiatach województwa kujawsko-pomorskiego na dzień 31.12.2023r.

Powiat	Liczba instalacji	Moc zainstalowana [MW]
radziejowski	50	121,475
włocławski	41	44,180
inowrocławski	38	106,380
aleksandrowski	25	67,775
chełmiński	22	34,270
brodnicki	20	30,657
lipnowski	20	48,700
grudziądzki (w tym m. Grudziądz)	17	191,645
golubsko-dobrzyński	15	38,540
rypiński	14	18,550
żniński	12	13,675
mogileński	11	42,320
bydgoski (w tym m. Bydgoszcz)	10	6,155
toruński (w tym m. Toruń)	8	12,260
wąbrzeski	8	43,980
nakielski	6	13,550
świecki	5	81,400
tucholski	4	7,700
sępoleński	2	8,000
Suma	328	929,212

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Regulacji Energetyki (dostęp: 21.10.2024).

W tabeli 13 zaprezentowano zestawienie liczby instalacji fotowoltaicznych w poszczególnych powiatach województwa wraz z odpowiadającymi im wartościami mocy zainstalowanej. Dane uporządkowano według malejącej wielkości mocy. Liderem pozostaje powiat nakielski, który na koniec 2023 roku dysponował 47 instalacjami o łącznej mocy 73,255 MW. Wynik ten znacząco przewyższa kolejne powiaty – dla przykładu w powiecie sępoleńskim funkcjonowały 33 instalacje o mocy 32,931 MW. Łącznie w regionie zidentyfikowano 323 instalacje fotowoltaiczne, których całkowita moc osiągnęła poziom 330,319 MW.

Tabela 13. Liczba instalacji i zainstalowana moc w fotowoltaice w powiatach województwa kujawsko-pomorskiego na dzień 31.12.2023r.

Powiat	Liczba instalacji	Moc zainstalowana [MW]
nakielski	47	73,255
sępoleński	33	32,931
inowrocławski	23	25,083
toruński (w tym m. Toruń)	34	25,081
mogileński	21	20,927
bydgoski	21	20,459
włocławski	21	17,973
lipnowski	17	16,337
brodnicki	18	15,942
grudziądzki (w tym m. Grudziądz)	15	14,168
radziejowski	12	14,124
rypiński	14	10,75
świecki	10	9,019
golubsko-dobrzyński	9	8,13
wąbrzeski	8	7,257
chełmiński	6	6,963
żniński	6	5,211
tucholski	5	5,176
aleksandrowski	3	1,533
Suma	323	330,319

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Regulacji Energetyki (dostęp: 21.10.2024).

Kolejną grupę odnawialnych źródeł energii w województwie kujawsko-pomorskim stanowią instalacje wykorzystujące biomasę i biogaz, które odgrywają ważną rolę w lokalnej produkcji energii cieplnej i elektrycznej.

W tabelach 14 i 15 zaprezentowano dane dotyczące instalacji biogazowych i biomasowych, a także jednostek wykorzystujących technologię współspalania biomasy lub biogazu z paliwami kopalnymi. Na obszarze województwa kujawsko-pomorskiego funkcjonuje 21 biogazowni o łącznej mocy zainstalowanej wynoszącej 18,75 MW oraz 5 elektrowni biomasowych, których całkowita moc sięga 177,225 MW. Instalacje współspalające ulokowane są w trzech powiatach: grudziądzkim (18,1 MW), świeckim (32 MW) oraz toruńskim (13,6 MW).

Tabela 14. Liczba elektrowni biogazowych i biomasowych oraz instalacji współpalających paliwa kopalne i biomasę lub biogaz w województwie kujawsko-pomorskim na dzień 31.12.2023 oraz ich moc zainstalowana

Powiat	Elektrownia biogazowa	Elektrownia biomasowa	Instalacja współpalająca paliwa kopalne i biomasę lub biogaz
bydgoski	1,99 MW (3)	-	-
golubsko-dobrzyński	-	3,2 MW (1)	-
grudziądzki (w tym m. Grudziądz)	2,514 MW (3)	-	18,1 MW (1)
inowrocławski	4,512 MW (3)	4,2 MW (1)	-
radziejowski	-	-	1,622 MW (1)
rypiński	2,04 MW (3)	-	-
świecki	2,05 MW (2)	169,825 MW (3)	32 MW (1)
toruński (w tym m. Toruń)	3,325 MW (2)	-	13,6 MW (1)
tucholski	0,105 MW	-	-
wąbrzeski	0,46 MW (1)	-	-
włocławski	1,2 MW (1)	-	-
żniński	0,554 MW (2)	-	-
Suma	18,75 MW (21)	177,225 MW (5)	65,322 MW (4)

Źródło: opracowanie własne

Tabela 15. Wykaz elektrowni biogazowych i biomasowych oraz współpalających biomasę lub biogaz wraz z nazwami przedsiębiorstw

Lokalizacja		Moc zainst. [MW]	Rodzaj OZE	Nazwa przedsiębiorstwa
Powiat	Miejscowość			
bydgoski	Bydgoszcz	0,469	BG	Miejskie Wodociągi i Kanalizacja w Bydgoszczy
m. Bydgoszcz	Bydgoszcz	0,499	BG	Neo Bio Energy, Warszawa
m. Bydgoszcz	Bydgoszcz	1,022	BG	Chemwik, Bydgoszcz
golubsko-dobrzyński	Olszówka	3,200	BM	Przedsiębiorstwo Przemysłowo-Handlowe Hetman, Florianów
grudziądzki	Mełno	1,600	BG	AllterPower, Mełno
grudziądzki	Zakurzewo	0,189	BG	Miejskie Wodociągi i Oczyszczalnia, Grudziądz
grudziądzki	Nowa Wieś	0,725	BG	
m. Grudziądz	Grudziądz	18,180	WS	OPEC Grudziądz
inowrocławski	Inowrocław	0,320	BG	Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji, Inowrocław
inowrocławski	Radojewice	2,066	BG	EkologKujawski, Inowrocław
inowrocławski	Liszkowo	2,126	BG	-

inowrocławski	Jezuicka Struga	4,200	BM	Struga, Rojewo
radziejowski	Piotrków Kuj.	1,622	WS	Przedsiębiorstwo Handlu Zagranicznego Spółdzielni Mleczarskich "LACPOL", Warszawa
rypiński	Puszcza Miejska	0,080	BG	Regionalny Zakład Utylizacji Odpadów Komunalnych Rypin
rypiński	Długie	0,085	BG	Ekoamret, Opole
rypiński	Starorypin Prywatny	1,875	BG	Biogazownia Rypin
świecki	Buczek	1,800	BG	Bioutil, Buczek
świecki	Kraplewice	0,250	BG	-
świecki	Świecie	48,000	BM	Mondi Świecie
świecki	Świecie	33,000	BM	
świecki	Świecie	88,825	BM	
świecki	Świecie	32,000	WS	
m. Toruń	Toruń	0,925	BG	Miejskie Przedsiębiorstwo Oczyszczania, Toruń
m. Toruń	Toruń	2,400	BG	Westwind Biogaz., Toruń
toruński	Chełmża	16,160	WS	Nordzucker Polska, Opalenica
tucholski	Tuchola	0,105	BG	Przedsiębiorstwo Komunalne w Tucholi
wąbrzeski	Niedźwiedź	0,460	BG	Tedom Poland, Katowice
włocławski	Machnacz	0,313	BG	Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej SANIKO, Włocławek
m. Włocławek	Włocławek	1,200	BG	ANWIL S.A., Włocławek
żniński	Januszkowo	0,490	BG	NOVAGO Żnin
żniński	Jaroszewo	0,064	BG	Zakład Wodociągów i Kanalizacji "WIK", Żnin

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych URE, dostęp: 10.05.2025

Kolejną grupę odnawialnych źródeł energii w województwie kujawsko-pomorskim stanowią instalacje wykorzystujące biomasę i biogaz, które odgrywają ważną rolę w lokalnej produkcji energii cieplnej i elektrycznej.

Dane zestawione w tabeli 16 wskazują na obecność 26 elektrowni wodnych w województwie kujawsko-pomorskim o łącznej mocy 209,983 MW, z czego największy udział mają obiekty w Samociążku (24,8 MW) i we Włocławku (162 MW). Potencjał małych elektrowni wodnych szacuje się na 23,24 MW. Instalacje tego typu rozmieszczone są w 11 spośród 19 powiatów, co oznacza, że na ponad 40% obszaru województwa nie funkcjonuje żadna elektrownia wodna.

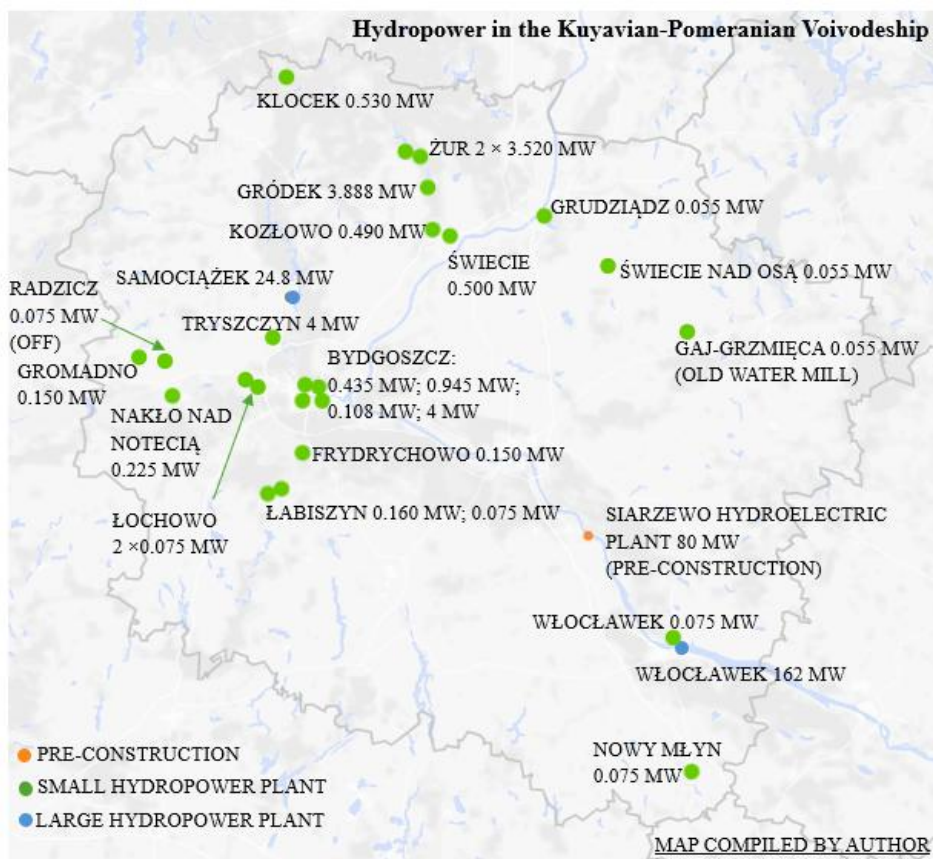
Tabela 16. Liczba instalacji energetyki wodnej w województwie kujawsko-pomorskim na dzień 31.12.2023

Powiat	Liczba instalacji	Moc zainstalowana [MW]
włocławski	3	162,15
bydgoski	9	34,438
świecki	5	11,918
tucholski	1	0,53
nakielski	3	0,452
żniński	3	0,385
brodnicki	1	0,055
grudziądzki (w tym m. Grudziądz)	1	0,055
Suma	26	209,983

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych URE, dostęp: 21.10.2024

Rozmieszczenie elektrowni wodnych w województwie wyraźnie odbiega od dystrybucji instalacji fotowoltaicznych i wiatrowych, które występują niemal we wszystkich powiatach, często w dużej liczbie (rys. 32). Ograniczona liczba obiektów hydroenergetycznych wynika przede wszystkim z ich silnej zależności od uwarunkowań środowiskowych – dostępności odpowiednich cieków wodnych, różnic wysokości terenu oraz regulacji hydrologicznych i przyrodniczych. Realizacja tego typu inwestycji wymaga zatem nie tylko sprzyjającego ukształtowania terenu, lecz także spełnienia restrykcyjnych wymogów dotyczących ochrony środowiska i zarządzania zasobami wodnymi. W konsekwencji, mimo istotnego potencjału, hydroenergetyka pozostaje trudniejsza do rozwijania w porównaniu z innymi technologiami OZE, które mają szersze możliwości lokalizacyjne.

Na mapie zielonymi punktami zaznaczono małe elektrownie wodne, niebieskimi – duże, natomiast pomarańczowy punkt odnosi się do inwestycji w fazie przygotowawczej (Siarzewo). Strzałki wskazują powiązania między nazwami elektrowni a ich mocą zainstalowaną i konkretnym położeniem geograficznym. Opracowanie mapy zostało wykonane przez autorkę na podstawie danych Urzędu Regulacji Energetyki oraz dodatkowej weryfikacji lokalizacji i parametrów poszczególnych obiektów.



Rys. 32. Elektrownie wodne w województwie kujawsko-pomorskim wraz z mocą zainstalowaną

Źródło: Sieg, P., 2026. Barriers and management practices for small hydropower: The case of the Kujawsko-Pomorskie Region in Poland's green energy transition. *Acta Scientiarum Polonorum Administratio Locorum*, 25(1), 153–183.

Odrębną kategorię wśród odnawialnych źródeł energii stanowią instalacje termicznego przekształcania odpadów i systemy geotermalne, których znaczenie stopniowo wzrasta w kontekście zrównoważonego gospodarowania zasobami i redukcji emisji. Na terenie województwa kujawsko-pomorskiego funkcjonują również instalacje energetyczne oparte na innych, mniej rozpowszechnionych źródłach odnawialnych. Oba rozwiązania stanowią istotne uzupełnienie regionalnego mixu energetycznego, zwiększając dywersyfikację źródeł OZE i podnosząc bezpieczeństwo energetyczne regionu. W Bydgoszczy działa spalarnia odpadów komunalnych (fotografia 1), która pełni podwójną rolę – z jednej strony pozwala na zagospodarowanie odpadów, z drugiej zaś wytwarza energię elektryczną i ciepłą w skojarzeniu, wpisując się w model gospodarki o obiegu zamkniętym. Dzięki nowoczesnej technologii emisje pozostają znacznie poniżej dopuszczalnych norm. Obiekt, zarządzany przez spółkę MKUO ProNatura Sp. z o.o., wybudowany

w latach 2013–2015, zajmuje powierzchnię 19 tys. m² i dysponuje mocą zainstalowaną 13,8 MW.



Fotografia 1. Instalacja Termicznego Przekształcania Odpadów (ITPO) ProNatura Bydgoszcz
Źródło: Tomasz Czachorowski, dla: bydgoszcz.naszemiasto.pl

Ponadto w Toruniu rozwinięto jedną z pierwszych w Polsce elektrowni geotermalnych (fotografia 2), wykorzystującą zasoby energii geotermalnej do produkcji ciepła systemowego, o mocy zainstalowanej wynoszącej około 18 MWt. Produkowane w niej ciepło odpowiada za blisko 8% energii dostarczanej do miejskiego systemu ciepłowniczego obsługiwanego przez PGE Toruń, będącego jednocześnie głównym i jedynym odbiorcą energii z tego źródła. W 2023 roku wolumen ciepła pochodzącego z odnawialnych źródeł energii oraz ciepła odpadowego wyniósł 112 195,1 GJ, przy czym udział energii geotermalnej wytwarzanej w tej ciepłowni osiągnął poziom 57,5%⁵⁸¹. Wynika to z konieczności częściowego wspomagania systemu przez źródła konwencjonalne, aby zapewnić odpowiednie parametry pracy instalacji. Sama technologia zakłada wykorzystanie solanki pozyskiwanej z odwiertu, która przekazuje energię cieplną wodzie w systemie grzewczym, a następnie jest dogrzewana do wymaganej temperatury i dystrybuowana w sieci.

⁵⁸¹ G. Toruń, *Geotermia Toruń* [na:] <https://geotermiatorun.pl/>.



Fotografia 2. Elektrownia geotermalna w Toruniu
Źródło: pgeenergiaciepla.pl

Podsumowaniem przeprowadzonych badań jest syntetyczne zestawienie dla województwa kujawsko-pomorskiego, obejmujące liczbę i moc zainstalowaną poszczególnych typów elektrowni oraz ich procentowy udział w ogólnej mocy z OZE w regionie (tab. 17). Wskaźnik „udział w mocy” odnosi się do proporcji mocy danego źródła względem łącznej mocy zainstalowanej w województwie i został obliczony w formie procentowej. Z analizy wynika, że zdecydowanie największy udział w strukturze mocy mają instalacje wiatrowe, które odpowiadają za ponad 53% całkowitej mocy OZE. Fotowoltaika natomiast kształtuje się na poziomie 19%. Z kolei kolumna „ilość instalacji w woj. [%]” przedstawia procentowy udział liczby instalacji danego rodzaju w ogólnej liczbie źródeł odnawialnych funkcjonujących w regionie. Z tego punktu widzenia widać, że energetyka wiatrowa i słoneczna mają porównywalny udział – po około 46% każda. Łączna moc zainstalowana w województwie na koniec 2023 roku wynosiła 1761 MW, co obrazuje istotną skalę wykorzystania odnawialnych źródeł energii w regionie.

Tabela 17. Zestawienie rodzajów elektrowni w województwie kujawsko-pomorskim w 2024 r.

Instalacje energetyki odnawialnej w województwie kujawsko-pomorskim				
Rodzaj elektrowni	Łączna zainstalowana moc [MW]	Udział w mocy w woj. [%]	Ilość instalacji danego rodzaju	Ilość instalacji w woj. [%]
Elektrownia wodna	210	12%	26	3,7%
Elektrownia wiatrowa	929	53%	328	46,4%
Elektrownia fotowoltaiczna	330	19%	323	45,7%
Elektrownia biogazowa	19	1%	20	2,8%

Elektrownia biomasowa	177	10%	5	0,7%
ITPO	14	1%	1	0,1%
WS	64	4%	3	0,4%
Elektrociepłownia geotermalna	18	1%	1	0,1%
Suma	1761	100%	706	100%

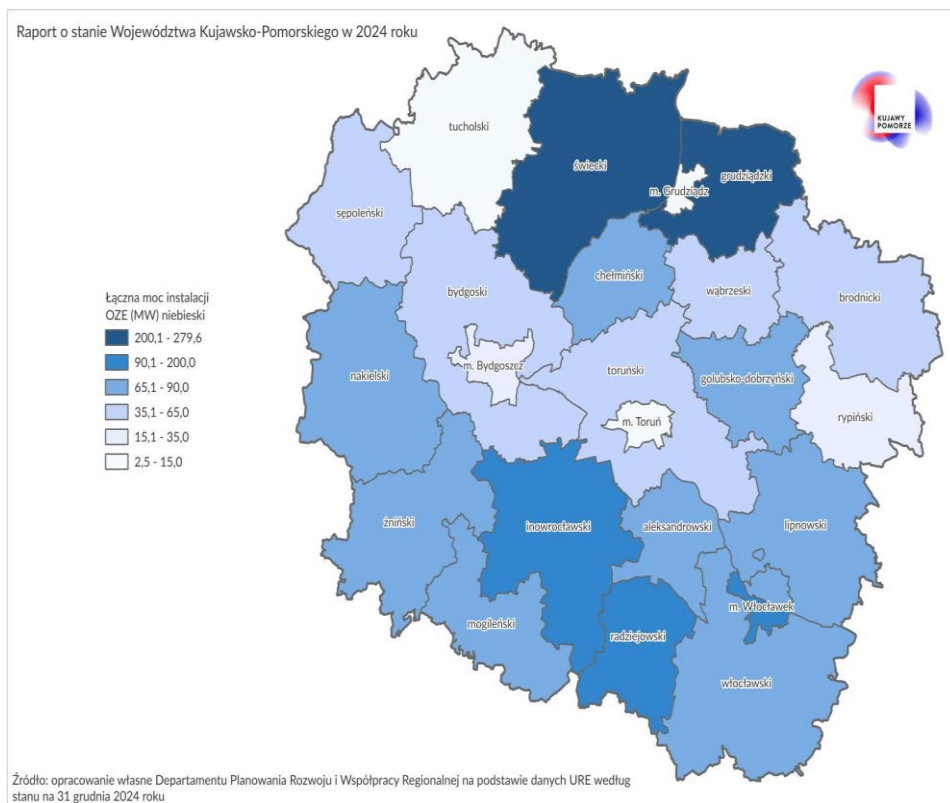
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych URE, dostęp: 21.10.2024

Na podstawie danych Urzędu Regulacji Energetyki z grudnia 2024 roku (rys. 33) wynika, że w województwie kujawsko-pomorskim dominującym źródłem wytwarzania energii odnawialnej pozostają instalacje wiatrowe, których moc zainstalowana osiągnęła poziom 989,2 MW, co odpowiadało 52,4% całkowitej mocy OZE w regionie (1 886,2 MW). Energetyka wiatrowa stanowiła główny element miksu w 14 powiatach, z kolei drugą pozycję zajmowała fotowoltaika, której łączna moc wyniosła 330,319 MW, czyli ponad jedną czwartą regionalnego potencjału. Największe skupiska instalacji solarnych zlokalizowano w powiatach nakielskim (73,4 MW) i inowrocławskim (39,4 MW), przy czym w tym pierwszym fotowoltaika odpowiadała za ponad 80% całej mocy OZE.

Ważnym źródłem energii odnawialnej w regionie pozostaje także hydroenergetyka, której łączna moc wyniosła 210,3 MW, z dominującą rolą elektrowni we Włocławku (162,0 MW). Biomasa, skoncentrowana głównie w powiecie świeckim, odpowiadała tam za niemal 170 MW, co stanowiło około 10% całej mocy OZE w regionie. Kluczowym podmiotem była elektrociepłownia Mondi Świecie, wykorzystująca w 100% biomasę. Z kolei produkcja energii z biogazu pozostawała stosunkowo słabo rozwinięta – jej udział nie przekraczał 1% (19,1 MW), choć zauważalny był m.in. w Toruniu, gdzie stanowiła ponad 40% lokalnego potencjału. Największe instalacje biogazowe działały w powiecie inowrocławskim (4,5 MW). Dodatkowo, w Bydgoszczy funkcjonowała jedyna w regionie instalacja termicznego przekształcania odpadów (13,8 MW), stanowiąca niemal połowę lokalnego potencjału OZE.

Analizując strukturę regionalną, szczególnie wyróżniał się powiat świecki, który dysponował najwyższą mocą zainstalowaną (279,6 MW) oraz największą różnorodnością źródeł energii odnawialnej (5 z 6 obecnych w województwie). Ważną rolę w rozwoju energetyki wiatrowej o znaczeniu ponadregionalnym odgrywa także powiat grudziądzki, na terenie którego zlokalizowano duże farmy wiatrowe, m.in. w Gawłowicach, Linowie i Radzynie Chelmińskim⁵⁸².

⁵⁸² Zarząd Województwa Kujawsko-Pomorskiego, *Raport o stanie województwa kujawsko-pomorskiego w 2024 r.*



Rys. 33. Instalacje OZE na terenie powiatów województwa kujawsko-pomorskiego bez mikroinstalacji prosumenckich według stanu na 31 grudnia 2024 r.

Źródło: Zarząd Województwa Kujawsko-Pomorskiego, Raport o stanie województwa kujawsko-pomorskiego w 2024 r.

Województwo kujawsko-pomorskie charakteryzuje się rosnącym znaczeniem odnawialnych źródeł energii, szczególnie w północnych i południowo-wschodnich częściach regionu oraz w powiatach o wysokim potencjale, takich jak inowrocławski, nakielski czy wąbrzeski. Jednocześnie obserwowany rozwój OZE kontrastuje z utrzymującą się dominacją paliw kopalnych w systemach ciepłowniczych największych miast województwa. Toruń w dużej mierze bazuje na gazie ziemnym, natomiast Bydgoszcz, Włocławek, Grudziądz i Inowrocław pozostają w istotnym stopniu uzależnione od węgla kamiennego oraz jego pochodnych⁵⁸³. Zestawienie to wskazuje, że choć na obszarach peryferyjnych regionu rozwój instalacji OZE postępuje dynamicznie, to w dużych ośrodkach miejskich transformacja energetyczna przebiega wolniej, co wynika przede wszystkim z uwarunkowań technologicznych i infrastrukturalnych systemów ciepłowniczych.

W tabeli 18 zestawiono największe instalacje OZE w województwie, o mocy zainstalowanej powyżej 10 MW. Takich instalacji jest 27, w tym 17 elektrowni

⁵⁸³ Ibid.

wiatrowych, 3 elektrownie biomasowe i 3 instalacje współpalające paliwa kopalne i biomasę lub biogaz oraz 2 elektrownie wodne i jedna elektrownia fotowoltaiczna.

Tabela 18. Instalacje OZE o mocy powyżej 10 MW w woj. kuj.-pom. stan na 31.12.24 r.

Miejscowość	Powiat	Gmina	Moc elektryczna [MW]	Rodzaj OZE
Włocławek	m. Włocławek	M. Włocławek	162,000	WO
Świecie	świecki	Świecie – gm. m.-w.	88,825	BM
Gołuszyce, Łaszewo, Łowin, Łowinek, Brzeźno, Nieciszewo, Pruszcz	świecki	Pruszcz	70,000	WIL
Trląg, Pałuczyna, Dobieszewice, Kołodziejewo, Dębina, Głogówek, Dębowo	inowrocławski	Janikowo – gm. m.-w.	60,000	WIL
Gawłowice, Zielnowo	grudziądzki	Radzyń Chełmiński – obszar wiejski	48,300	WIL
Świecie	świecki	Świecie – gm. m.-w.	48,000	BM
Linowo	grudziądzki	Świecie nad Osą	48,000	WIL
Dochanowo, Brzyskorzystewko, Sulinowo, Sarbinowo i Słębowo	żniński	Żnin – gm. m.-w.	48,000	WIL
Płowki, Broniewek, Bieganowo	radziejowski	Radziejów – gmina wiejska	42,000	WIL
Łobdowo, Dębowa Łąka, Kurkocin, Wielkie Pułkowo, Osieczek	wąbrzeski	Książki	34,420	WIL
Zbyszewo, Bachorzewo, Lenie Wielkie, Chalin, Dobrzyń nad Wisłą	lipnowski	Dobrzyń nad Wisłą – gm. m.-w.	34,000	WIL
Świecie	świecki	Świecie – gm. m.-w.	33,000	BM
Świecie	świecki	Świecie – gm. m.-w.	32,000	WS
Zielnowo, Nowy Dwór, Gołębiewo, Mazanki, Stara Ruda	grudziądzki	Radzyń Chełmiński – gm. m.-w.	30,750	WIL
Janowo, Radzyń Wybudowanie, Czeczewo	grudziądzki	Radzyń Chełmiński – gm. m.-w.	27,000	WIL

Markowice, Niemojewko, Górk	mogileński	Strzelno – gm. m.-w.	26,000	WIL
Rudzk Duży, Połajewo	radziejowski	Piotrków Kujawski – gm. m.-w.	25,200	WIL
Mlewiec, Srebrniki, Mariany	golubsko- dobrzyński	Kowalewo Pomorskie – obszar wiejski	24,860	WIL
Samociążek	bydgoski	Koronowo – gm. m.-w.	24,800	WO
Zbrachlin, Stary Zbrachlin, Siutkowo, Konstantynowo, Sierzchowo	aleksandrowski	Waganiec	24,200	WIL
Chełmno	chełmiński	Chełmno – gmina wiejska	21,669	PVA
Grudziądz	m.Grudziądz	M.Grudziądz	18,180	WS
Opatowice, Stary Radziejów, Stary Radziejów Kolonia, Stary Radziejów Wieś	radziejowski	Radziejów – gmina wiejska	18,000	WIL
Sierzchowo, Józefowo, Kolonia Nieszawa, Niestuszewo	aleksandrowski	Waganiec	16,400	WIL
Partęczyny	grudziądzki	Świecie nad Osą	16,300	WIL
Chełmża	toruński	Chełmża – gmina miejska	16,160	WS
Bydgoszcz	m. Bydgoszcz	M. Bydgoszcz	13,800	ITPO

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych URE, dostęp: 15.05.25 r.

Sektor odnawialnych źródeł energii w województwie kujawsko-pomorskim charakteryzuje się dużym zróżnicowaniem technologicznym i przestrzennym. Największy udział w strukturze mocy zainstalowanej mają instalacje wiatrowe, które wciąż stanowią fundament regionalnego miksu OZE, podczas gdy energetyka słoneczna odnotowuje najszybszą dynamikę wzrostu, szczególnie w powiatach o rozproszonym charakterze zabudowy. Biomasa, biogaz oraz instalacje współspalania pełnią funkcję stabilizującą i uzupełniającą, natomiast hydroenergetyka i geotermia pozostają lokalnie znaczącymi, lecz niszowymi segmentami rynku. Analiza przestrzenna wskazuje na koncentrację inwestycji w powiatach świeckim, grudziądzkim i nakielskim, co wynika zarówno z warunków naturalnych, jak i aktywności inwestorów oraz władz lokalnych. Utrzymanie pozytywnego trendu rozwoju OZE w regionie wymaga dalszego wsparcia administracyjnego i finansowego, a także integracji systemów prosumenckich i klastrów energii z regionalną strategią energetyczną.

Istotną rolę w tym procesie odgrywają lokalne przedsiębiorstwa energetyczne, które nie tylko stymulują rozwój gospodarczy i tworzą nowe miejsca pracy, lecz także współtworzą społeczny wymiar transformacji energetycznej. Skuteczne zarządzanie

kosztami społecznymi tej transformacji – obejmującymi adaptację rynku pracy, akceptację społeczną oraz równowagę przestrzenną inwestycji – stanowi kluczowy warunek trwałego i zrównoważonego rozwoju sektora OZE w województwie kujawsko-pomorskim.

6.2. CHARAKTERYSTYKA BADANYCH PRZEDSIĘBIORSTW

Strukturę badanych przedsiębiorstw pod względem rodzaju wytwarzanej energii odnawialnej przedstawiono w tabeli 19. Nieco ponad połowa przedsiębiorstw objętych badaniem (50,7%) wytwarzała energię odnawialną z instalacji fotowoltaicznych. Niewiele mniejszy odsetek respondentów (42,7%) wskazał na energetykę wiatrową. Biogaz stanowił źródło energii odnawialnej wytwarzanej przez 12,7% badanych podmiotów. Znacznie rzadziej deklarowano wykorzystanie energii wodnej (6,0%) oraz biomasy (2,7%). Energia geotermalna oraz kolektory słoneczne nie zostały wskazane przez żadnego z respondentów.

Tabela 19. Rodzaj energii odnawialnej wytwarzanej przez badane przedsiębiorstwa OZE [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem
Energetyka wiatrowa	42,7%
Fotowoltaika	50,7%
Biomasa	2,7%
Energia wodna	6,0%
Biogaz	12,7%

Źródło: opracowanie własne

Struktura badanych przedsiębiorstw wskazuje, że analiza kosztów społecznych transformacji energetycznej w województwie kujawsko-pomorskim dotyczyła przede wszystkim dwóch technologii: fotowoltaiki (50,7%) oraz energetyki wiatrowej (42,7%). Oznacza to, że formułowane w dalszej części pracy wnioski ilościowe dotyczą w głównej mierze tych właśnie instalacji, silnie oddziałujących na krajobraz i sposób użytkowania przestrzeni.

Jednocześnie relatywnie niewielki udział biomasy, energii wodnej i biogazu w strukturze próby (łącznie poniżej jednej czwartej badanych podmiotów) nie oznacza, że ich znaczenie społeczne było marginalne. Przeciwnie – w skali lokalnej instalacje te mogły generować szczególnie intensywne oddziaływania (np. zapachowe, hałas, zwiększony ruch transportowy, zmiany stosunków wodnych), koncentrujące się na ograniczonej liczbie mieszkańców, ale silnie wpływające na ich jakość życia. Dlatego w interpretacji wyników konieczne jest rozróżnienie między dominującą wagą fotowoltaiki i energetyki wiatrowej w skali regionu a potencjalnie bardzo silnymi, choć bardziej punktowymi, kosztami społecznymi związanymi z pozostałymi typami instalacji OZE.

W województwie kujawsko-pomorskim pod względem liczby instalacji dominowały elektrownie wiatrowe i fotowoltaiczne. Podobną strukturę obserwowano w badanej próbie przedsiębiorstw, w której głównymi technologiami były również energetyka wiatrowa (46,4% mocy OZE województwa) oraz fotowoltaika (45,7%

mocy województwa). Oznacza to, że z punktu widzenia rodzaju technologii próba przedsiębiorstw odzwierciedlała dominujące kierunki rozwoju OZE w regionie. Należy jednak podkreślić, że porównanie to miało charakter orientacyjny, gdyż dane regionalne dotyczyły instalacji, a nie przedsiębiorstw.

Ponad połowa ankietowanych przedsiębiorstw (52,7%) działała w branży odnawialnych źródeł energii od ponad 10 lat. Co czwarty podmiot (24,7%) działał w tej branży od 2 do 5 lat, a co piąty (19,3%) – od 6 do 10 lat. Stosunkowo niewielki odsetek badanych firm (3,3%) rozpoczął działalność w branży OZE w ciągu ostatnich dwóch lat. Strukturę badanych przedsiębiorstw pod względem długości działalności w branży OZE przedstawiono w tabeli 20.

Tabela 20. Okres działalności badanych przedsiębiorstw w branży OZE [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem
Mniej niż 2 lata	3,3%
2-5 lat	24,7%
6-10 lat	19,3%
Ponad 10 lat	52,7%

Źródło: opracowanie własne

Badane przedsiębiorstwa sektora OZE charakteryzowały się stosunkowo długim okresem funkcjonowania na rynku. Ponad połowa z nich (52,7%) działała w branży OZE dłużej niż 10 lat, a kolejne 19,3% – od 6 do 10 lat. Oznacza to, że zdecydowana większość respondentów posiadała wieloletnie doświadczenie w prowadzeniu działalności w warunkach transformacji energetycznej, co sprzyjało wypracowaniu określonych praktyk organizacyjnych. Jednocześnie poziom zaawansowania badanych przedsiębiorstw może wpływać na sposób postrzegania i zarządzania kosztami społecznymi – w przypadku podmiotów długo obecnych na rynku istotną rolę odgrywały zarówno doświadczenia związane z wcześniejszymi konfliktami społecznymi i procesami konsultacji, jak i konieczność utrzymania relacji z otoczeniem lokalnym w długim horyzoncie czasowym.

Lokalizację instalacji należących do badanych przedsiębiorstw przedstawiono w tabeli 21. Zdecydowana większość przedsiębiorstw objętych badaniem (98,0%) posiadała instalacje zlokalizowane wyłącznie na terenie Polski. Jedynie 2,0% firm posiadało instalacje zarówno w kraju, jak i za granicą.

Tabela 21. Lokalizacja instalacji OZE należących do badanych przedsiębiorstw [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem
tylko w Polsce	98,0%
w Polsce i poza Polską	2,0%

Źródło: opracowanie własne

Dominującą część instalacji badanych przedsiębiorstw (98,7%) znajdowała się w województwie kujawsko-pomorskim, w tym m.in. w powiecie inowrocławskim (11,3%), aleksandrowskim (8,1%) oraz włocławskim (7,4%). Z kolei wśród nielicznych instalacji zlokalizowanych poza Polską, najczęściej wskazywano

Niemcy. Lokalizacja instalacji badanych przedsiębiorstw OZE według województw została zaprezentowana w tabeli 22.

Tabela 22. Lokalizacja instalacji OZE badanych przedsiębiorstw według województw [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem
dolnośląskie	0,7%
kujawsko-pomorskie	98,7%
lubelskie	0,7%
lubuskie	1,3%
łódzkie	2,0%
małopolskie	1,3%
mazowieckie	2,7%
opolskie	0,7%
podkarpackie	2,0%
podlaskie	0,7%
pomorskie	2,0%
śląskie	0,7%
świętokrzyskie	0,7%
warmińsko-mazurskie	2,0%
wielkopolskie	4,0%
zachodniopomorskie	0,7%

Źródło: opracowanie własne

Respondentów poproszono o wskazanie łącznej mocy zainstalowanej posiadanych instalacji. Najczęściej wskazywaną kategorią łącznej mocy zainstalowanej była wartość od 1 do 5 MW, którą zadeklarowało 42,6% badanych przedsiębiorstw. W przypadku jednej trzeciej firm (32,7%) moc instalacji nie przekraczała 1 MW. Natomiast 16,0% respondentów dysponowało instalacjami o łącznej mocy przekraczającej 10 MW.

Tabela 23. Moc zainstalowana w badanych przedsiębiorstwach OZE [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem
do 1 MW	32,7%
1-5 MW	42,6%
6-10 MW	8,7%
Ponad 10 MW	16,0%

Źródło: opracowanie własne

Wśród firm objętych badaniem dominowały przedsiębiorstwa zatrudniające od 1 do 10 osób (42,7%) oraz od 11 do 50 osób (40,7%). Zdecydowanie mniejszy odsetek badanych podmiotów dotyczył przedsiębiorstw zatrudniających od 51 do 250 osób (11,3%) oraz powyżej 250 pracowników (5,3%).

Tabela 24. Liczba pracowników w badanych przedsiębiorstwach [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem
1-10	42,7%
11-50	40,7%
51-250	11,3%
Powyżej 250	5,3%

Źródło: opracowanie własne

Wskaźnik LCOE nie był powszechnie monitorowany przez badane przedsiębiorstwa. Ponad połowa respondentów (51,1%) zadeklarowała, że nie znała wartości tego wskaźnika, a 13,3% wskazało, że nie prowadziła jego pomiaru. Co czwarty ankietowany (26,0%) odmówił udzielenia odpowiedzi.

Większość odpowiedzi w badaniu pochodziła od osób pełniących funkcje kierownicze lub zarządcze – kierowników (47,9%) oraz właścicieli firm (30,7%). Mniejszy udział wśród respondentów miały osoby zajmujące stanowiska dyrektorskie (8,7%) oraz specjaliści odpowiedzialni za zrównoważony rozwój (8,7%) i ESG (0,7%).

Tabela 25. Stanowiska respondentów udzielającej odpowiedzi w badaniu [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem
Dyrektor	8,7%
Kierownik	47,9%
Prezes	3,3%
Specjalista ds. ESG	0,7%
Specjalista ds. zrównoważonego rozwoju	8,7%
Właściciel	30,7%

Źródło: opracowanie własne

6.3. ŚWIADOMOŚĆ ZARZĄDZANIA KOSZTAMI SPOŁECZNYMI

Blisko 60% przedsiębiorstw nie podejmowało działań mających na celu minimalizację kosztów społecznych swojej działalności (56,7% – suma wskazań odpowiedzi „nie” i „zdecydowanie nie”). Działania w tym zakresie podejmowało niemalże 40% firm (38,0% – suma wskazań „tak” i „zdecydowanie tak”). Pozostali nie potrafili jednoznacznie ocenić, czy ich przedsiębiorstwo podejmuje takie inicjatywy (5,3%).

Firmy działające w branży ponad 10 lat istotnie częściej wskazywały odpowiedź „zdecydowanie nie”, a istotnie rzadziej – odpowiedź „tak”. Przedsiębiorstwa zatrudniające powyżej 250 pracowników istotnie częściej deklarowały, że zdecydowanie podejmowały działania mające na celu minimalizację kosztów społecznych swojej działalności. Pozostałe zmienne (m.in. rodzaj produkowanej energii, łączna moc zainstalowana, lokalizacja instalacji) nie różnicowały istotnie rozkładu odpowiedzi. Podejmowanie działań na rzecz minimalizacji kosztów społecznych działalności przez badane przedsiębiorstwa przedstawiono w tabeli 26.

Tabela 26. Podejmowanie działań na rzecz minimalizacji kosztów społecznych swojej działalności przez badane przedsiębiorstwa [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży				Liczba pracowników			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
Zdecydowanie tak	5,3%	0,0%	10,8%	3,4%	3,8%	3,1%	4,9%	0,0%	37,5%
Tak	32,7%	60,0%	46,0%	44,8%	20,3%	31,3%	32,8%	35,3%	37,5%
Nie	30,7%	40,0%	27,0%	48,4%	25,3%	34,3%	29,5%	23,5%	25,0%
Zdecydowanie nie	26,0%	0,0%	10,8%	3,4%	43,0%	26,6%	27,9%	29,4%	0,0%
Trudno powiedzieć	5,3%	0,0%	5,4%	0,0%	7,6%	4,7%	4,9%	11,8%	0,0%

Źródło: opracowanie własne

Blisko połowa badanych przedsiębiorstw (46,1%) w ogóle nie uwzględniała kosztów społecznych przy planowaniu nowych inwestycji. Kolejne 23,3% firm deklarowało, że brało je pod uwagę w sposób ogólny, jednak bez stosowania formalnych procedur. 16,0% przedsiębiorstw wskazało, że sporadycznie uwzględniało wybrane aspekty społeczne podczas oceny inwestycji.

Tylko 14,6% badanych stosowało bardziej usystematyzowane podejście – 7,3% firm posiadało jasno określone procedury i narzędzia do oceny kosztów społecznych, a kolejne 7,3% traktowało analizę kosztów społecznych jako stały element planowania inwestycji.

Rodzaj produkowanej energii nie różnicował znacząco rozkładu odpowiedzi. Zaobserwowano jedynie, że przedsiębiorstwa produkujące energię w technologii energetyki wiatrowej istotnie rzadziej od pozostałych wskazywały, że posiadały jasno określone procedury i narzędzia. Tę odpowiedź istotnie częściej wskazywały natomiast firmy działające w branży OZE od 2 do 5 lat oraz podmioty zatrudniające powyżej 250 pracowników. Ponadto duże firmy istotnie częściej wskazywały, że analiza kosztów społecznych stanowiła stały element planowania inwestycji. Zaobserwowano również, że przedsiębiorstwa działające w branży OZE ponad 10 lat istotnie częściej deklarowały, że w ogóle nie uwzględniały kosztów społecznych. W przypadku pozostałych zmiennych nie wykazano istotnych różnic w rozkładzie odpowiedzi. Zakres uwzględniania potencjalnych kosztów społecznych przy planowaniu nowych inwestycji w badanych przedsiębiorstwach przedstawiono w tabeli 27.

Tabela 27. Zakres uwzględniania potencjalnych kosztów społecznych przy planowaniu nowych inwestycji w badanych przedsiębiorstwach [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży				Liczba pracowników			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
Analiza kosztów społecznych stanowi stały element planowania inwestycji	7,3%	0,0%	16,2%	13,8%	1,3%	3,1%	4,9%	17,6%	37,5%
Posiadamy jasno określone procedury i narzędzia do oceny kosztów społecznych w każdej inwestycji	7,3%	0,0%	21,6%	0,0%	3,8%	6,3%	3,3%	11,8%	37,5%
Sporadycznie uwzględniamy wybrane aspekty społeczne w ocenie inwestycji	16,0%	20,0%	8,1%	17,2%	19,0%	20,3%	13,1%	17,6%	0,0%
Uwzględniamy koszty społeczne w sposób ogólny, bez formalnych procedur	23,3%	0,0%	29,8%	34,5%	17,7%	21,9%	32,8%	5,9%	0,0%
W ogóle nie uwzględniamy kosztów społecznych	46,1%	80,0%	24,3%	34,5%	58,2%	48,4%	45,9%	47,1%	25,0%

Źródło: opracowanie własne

Główną barierą w zarządzaniu kosztami społecznymi był brak środków finansowych – odpowiedź tę wskazało 63,3% respondentów (tab. 28). Co trzecie przedsiębiorstwo (33,3%) wskazało, że przeszkodą był brak regulacji prawnych wspierających minimalizację kosztów społecznych. Pozostałe bariery wskazywane były znacznie rzadziej: brak wiedzy i narzędzi do mierzenia kosztów społecznych zadeklarowało 8,7% firm, a problemy z akceptacją społeczną – 8,0% firm. Analiza statystyczna nie wykazała istotnych różnic w odpowiedziach respondentów w zależności od cech badanych przedsiębiorstw.

Tabela 28. Główne bariery w zarządzaniu kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach OZE [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem
brak środków finansowych	63,3%
brak regulacji prawnych wspierających minimalizację kosztów społecznych	33,3%
problemy z akceptacją społeczną	8,0%
brak wiedzy i narzędzi do mierzenia kosztów społecznych	8,7%

Źródło: opracowanie własne

6.4. EKONOMICZNY WYMIAR ZARZĄDZANIA KOSZTAMI SPOŁECZNYMI

Ponad połowa badanych przedsiębiorstw (57,9%) zadeklarowała, że nie posiadała wyodrębnionego budżetu na działania związane z minimalizacją kosztów społecznych i nie ponosiła związanych z tym wydatków (tab. 27). Kolejne 18,7% wskazało, że nie posiadało wydzielonych środków w budżecie, mimo iż ponosiło takie koszty. Tylko 8,0% firm przeznaczało na ten cel od 1% do 3% budżetu operacyjnego. Taki sam odsetek respondentów (8,0%) wskazał poziom 4–5%. Wyższe nakłady, tj. od 6-10%, deklarowało jedynie 2,0% firm. Niewielki odsetek respondentów (4,7%) wskazał, że wydatki te stanowiły mniej niż 1% budżetu.

Przedsiębiorstwa w różnym stopniu deklarowały ponoszenie kosztów społecznych, przy czym część z nich realizowała takie wydatki mimo braku formalnie wyodrębnionego budżetu. Szczególnie wyraźnie dotyczyło to podmiotów z sektora biomasy – 50% z nich zadeklarowało ponoszenie kosztów społecznych bez wydzielonej pozycji budżetowej. Co więcej, 25% przedsiębiorstw biomasowych zadeklarowało przeznaczanie powyżej 20% budżetu operacyjnego na takie koszty. W energetyce wodnej natomiast powyżej 20% budżetu przeznaczało na ten cel 11,1% podmiotów, natomiast w biogazie – 5,3%.

Przeprowadzona analiza istotności z testu post hoc testu chi kwadrat z poprawką Bonferoniego wykazała istotne zróżnicowanie rozkładu odpowiedzi ze względu na rodzaj wytwarzanej energii odnawialnej, łączną moc zainstalowaną, okres funkcjonowania w branży OZE oraz liczbę zatrudnionych w przedsiębiorstwie. Lokalizacja instalacji nie różnicowała rozkładu odpowiedzi na analizowane pytanie. Szczegółowe dane w tym zakresie przedstawiono w kolejnej tabeli 29.

Tabela 29. Odsetek budżetu operacyjnego badanych przedsiębiorstw przeznaczany na działania związane z minimalizacją kosztów społecznych (średniorocznie w latach 2021-2024) [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży				Liczba pracowników			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
poniżej 1%	4,7%	0,0%	2,7%	6,9%	5,1%	6,3%	3,3%	5,9%	0,0%
1-3%	8,0%	20,0%	10,8%	10,3%	5,1%	4,7%	4,9%	11,8%	50,0%
4-5%	8,0%	20,0%	10,8%	13,8%	3,8%	7,8%	6,6%	11,8%	12,5%
6-10%	2,0%	0,0%	0,0%	0,0%	3,8%	4,7%	0,0%	0,0%	0,0%
11-20%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
powyżej 20%	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	1,3%	0,0%	1,6%	0,0%	0,0%
Nie posiadamy wyodrębnionego budżetu, ale ponosimy takie koszty	18,7%	40,0%	24,3%	31,0%	10,1%	20,3%	19,7%	11,8%	12,5%
Nie posiadamy wyodrębnionego budżetu i nie ponosimy takich kosztów	57,9%	20,0%	51,4%	38,0%	70,8%	56,2%	63,9%	58,7%	25,0%

Wyszczególnienie	Rodzaj produkowanej energii					Łączna moc zainstalowana			
	Energetyka wiatrowa	Fotowoltaika	Biomasa	Energia wodna	Biogaz	do 1 MW	1-5 MW	6-10 MW	Ponad 10 MW
poniżej 1%	6,3%	3,9%	0,0%	0,0%	5,3%	0,0%	9,4%	7,7%	0,0%
1-3%	4,7%	10,5%	0,0%	11,1%	5,3%	8,2%	6,3%	7,7%	12,5%
4-5%	4,7%	9,2%	0,0%	0,0%	15,8%	12,2%	6,3%	7,7%	4,2%
6-10%	4,7%	1,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,6%	15,4%	0,0%
11-20%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
powyżej 20%	1,6%	1,3%	25,0%	11,1%	5,3%	2,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Nie posiadamy wyodrębnionego budżetu, ale ponosimy takie koszty	20,3%	13,2%	50,0%	22,2%	26,3%	26,5%	18,8%	15,4%	4,2%
Nie posiadamy wyodrębnionego budżetu i nie ponosimy takich kosztów	57,7%	60,6%	25,0%	55,6%	42,0%	51,1%	57,6%	46,1%	79,1%

Źródło: opracowanie własne

Brak określonej strategii lub trudność w przewidzeniu kierunku zmian w wydatkach na ograniczanie kosztów społecznych w kolejnych dwóch latach zadeklarowała ponad połowa firm (55,2%). Utrzymanie nakładów na dotychczasowym poziomie w tym okresie planowało 28,7% przedsiębiorstw, natomiast umiarkowany wzrost wydatków, w granicach 5–20%, przewidywało już tylko 8,7% badanych. Redukcję środków na ten cel zakładało 6,7% respondentów. Z kolei znaczne zwiększenie nakładów – powyżej 20% – planował niewielki odsetek firm (zaledwie 0,7%).

Planowane wydatki na ograniczanie kosztów społecznych w horyzoncie 2025–2027 miały w większości badanych przedsiębiorstw charakter zachowawczy. W energetyce wiatrowej i fotowoltaicznej dominowała strategia utrzymania nakładów na obecnym poziomie przy jednocześnie wysokim odsetku odpowiedzi „nie mamy określonej strategii / trudno powiedzieć”, co wskazuje na niepewność co do przyszłej roli kosztów społecznych w polityce finansowej firm. Bardziej uporządkowane plany deklarowały przedsiębiorstwa wykorzystujące biomasę i biogaz – w tych segmentach połowa podmiotów zakładała utrzymanie wydatków, a istotna część umiarkowany wzrost nakładów. Z kolei w energetyce wodnej, przy niewielkiej liczbie próby, widoczna była polaryzacja między planami znacznego zwiększenia a redukcji finansowania działań kompensacyjnych.

Rozkład odpowiedzi na analizowane pytanie był istotnie zróżnicowany ze względu na okres funkcjonowania podmiotu w branży OZE, liczbę pracowników oraz rodzaj produkowanej energii odnawialnej. Szczegółowe dane, z wyróżnieniem istotnych statystycznie różnic, ujęto w kolejnej tabeli 30.

Tabela 30. Planowane wydatki przedsiębiorstw OZE na ograniczanie kosztów społecznych w najbliższych 3 latach (2025–2027) [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży				Liczba pracowników			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
Znaczne zwiększenie nakładów (wzrost o więcej niż 20% w porównaniu do obecnego poziomu)	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	1,3%	1,6%	0,0%	0,0%	0,0%
Umiarkowany wzrost nakładów (wzrost o ok. 5–20%)	8,7%	0,0%	8,1%	17,2%	6,3%	9,4%	9,8%	5,9%	0,0%
Utrzymanie wydatków na obecnym poziomie	28,7%	40,0%	40,6%	41,4%	17,7%	42,2%	18,0%	17,6%	25,0%
Redukcja wydatków (spadek o ok. 5–20%)	6,7%	0,0%	13,5%	13,8%	1,3%	3,1%	4,9%	17,6%	25,0%
Nie mamy określonej strategii / trudno powiedzieć	55,2%	60,0%	37,8%	27,6%	73,4%	43,7%	67,3%	58,9%	50,0%
Wyszczególnienie	Rodzaj produkowanej energii odnawialnej					Łączna moc zainstalowana			
	Energetyka wiatrowa	Fotowoltaika	Biomasa	Energia wodna	Biogaz	do 1 MW	1-5 MW	6-10 MW	Ponad 10 MW
Znaczne zwiększenie nakładów (wzrost o więcej niż 20% w porównaniu do obecnego poziomu)	1,6%	0,0%	0,0%	11,1%	0,0%	2,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Umiarkowany wzrost nakładów (wzrost o ok. 5–20%)	7,8%	9,2%	25,0%	0,0%	15,8%	8,2%	7,8%	15,4%	8,3%
Utrzymanie wydatków na obecnym poziomie	31,3%	26,3%	50,0%	11,1%	42,1%	24,5%	35,9%	38,5%	12,5%
Redukcja wydatków (spadek o ok. 5–20%)	1,6%	7,9%	0,0%	22,2%	5,3%	8,2%	6,3%	7,7%	4,2%
Nie mamy określonej strategii / trudno powiedzieć	57,7%	56,6%	25,0%	55,6%	36,8%	57,1%	50,0%	38,4%	75,0%

Źródło: opracowanie własne

Z badania wynika, że głównym źródłem finansowania działań związanych z minimalizacją kosztów społecznych były środki własne przedsiębiorstw – tą odpowiedź wskazało blisko 70% ankietowanych (69,6%). Ponad połowa badanych firm (55,4%) korzystała również z dotacji unijnych, by sfinansować tego rodzaju działania. Rzadziej wskazywanym źródłem finansowania ww. działań były programy rządowe i samorządowe (23,2%). Najrzadziej natomiast wskazywano inwestorów prywatnych lub fundusze ESG (1,8%) jako źródło finansowania działań minimalizujących koszty społeczne. Co istotne, blisko dwie trzecie badanych

przedsiębiorstw – bo aż 62,7% – zadeklarowało, że w ogóle nie finansowało działań nakierowanych na minimalizację kosztów społecznych.

We wszystkich segmentach kluczową rolę odgrywały środki własne przedsiębiorstw, szczególnie w energetyce wiatrowej i wodnej. Dotacje unijne były najczęściej wykorzystywane w biogazie, energetyce wodnej (tu w takim samym stopniu również programy rządowe i samorządowe) oraz fotowoltaice, natomiast inwestorzy prywatni i fundusze ESG praktycznie nie występowały jako źródło finansowania działań minimalizujących koszty społeczne.

Ze zrealizowanych analiz statystycznych wynika, że rozkład odpowiedzi był istotnie różnicowany przez następujące zmienne: rodzaj wytwarzanej energii odnawialnej, łączną moc zainstalowaną, okres funkcjonowania w branży OZE oraz liczbę zatrudnionych w przedsiębiorstwie. Lokalizacja instalacji nie różnicowała rozkładu odpowiedzi na analizowane pytanie. Szczegółowe dane w tym zakresie przedstawia tabela 31.

Tabela 31. Główne źródła finansowania działań związanych z minimalizacją kosztów społecznych [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży				Liczba pracowników			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
Środki własne przedsiębiorstwa	69,6%	100,0%	23,1%	78,6%	84,0%	75,0%	61,1%	66,7%	66,7%
Dotacje unijne	55,4%	50,0%	76,9%	35,7%	56,0%	53,1%	55,6%	33,3%	100,0%
Programy rządowe i samorządowe	23,2%	25,0%	30,8%	14,3%	24,0%	21,9%	16,7%	0,0%	100,0%
Inwestorzy prywatni lub fundusze ESG	1,8%	25,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,6%	0,0%	0,0%
Nie finansujemy takich działań	62,7%	20,0%	64,9%	51,7%	68,4%	50,0%	70,5%	82,4%	62,5%
Wyszczególnienie	Rodzaj produkowanej energii odnawialnej					Łączna moc zainstalowana			
	Energetyka wiatrowa	Fotowoltaika	Biomasa	Energia wodna	Biogaz	do 1 MW	1-5 MW	6-10 MW	Ponad 10 MW
Środki własne przedsiębiorstwa	95,5%	58,6%	50,0%	100,0%	60,0%	80,0%	62,5%	57,1%	100,0%
Dotacje unijne	36,4%	58,6%	50,0%	66,7%	70,0%	70,0%	46,9%	42,9%	85,7%
Programy rządowe i samorządowe	18,2%	24,1%	0,0%	66,7%	20,0%	50,0%	15,6%	14,3%	28,6%
Inwestorzy prywatni lub fundusze ESG	0,0%	3,4%	0,0%	0,0%	0,0%	10,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Źródło: opracowanie własne

Ponad połowa badanych przedsiębiorstw (56,0%) zadeklarowała, że nie prowadziła żadnej analizy kosztów społecznych związanych z działalnością

w sektorze OZE. Wśród firm, które takie czynniki brały pod uwagę, najczęściej uwzględnianym aspektem były koszty związane z regulacjami prawnymi i wymaganiami administracyjnymi (22,0%). Znacznie rzadziej przedsiębiorstwa brały pod uwagę takie elementy, jak: wpływ cen energii odnawialnej na gospodarstwa domowe i przedsiębiorstwa (10,0%), koszty związane z zastosowaniem technologii zmniejszających negatywne oddziaływanie na otoczenie (10,0%), efektywność wykorzystania terenów pod inwestycje (8,7%), koszty związane z zatrudnieniem lokalnej siły roboczej (7,3%) czy wpływ mechanizmów wsparcia publicznego na koszt społeczny (również 7,3%). Koszty rekompensat dla społeczności lokalnych uwzględniało jedynie 6,7% firm, natomiast jeszcze rzadziej uwzględniane były koszty wynikające z opóźnień i protestów społecznych (4,0%) czy wydatki na działania edukacyjne i budowanie akceptacji społecznej (3,3%).

Tabela 32. Czynniki ekonomiczne uwzględniane przy analizie i zarządzaniu kosztami społecznymi związanymi z działalnością OZE [N = 150]

Wyszczególnienie	Odsetek
Koszty rekompensat dla społeczności lokalnych – np. inwestycje w infrastrukturę, programy wsparcia	6,7%
Wpływ cen energii odnawialnej na gospodarstwa domowe i przedsiębiorstwa – analiza korzyści i obciążeń dla odbiorców	10,0%
Koszty związane z zatrudnieniem lokalnej siły roboczej – wpływ na rynek pracy i wynagrodzenia	7,3%
Wydatki na edukację i promocję akceptacji społecznej – działania informacyjne i kampanie edukacyjne	3,3%
Koszty wynikające z opóźnień i protestów społecznych – wpływ niezadowolenia społecznego na realizację inwestycji	4,0%
Efektywność wykorzystania terenów pod inwestycje – analiza kosztów związanych z przekształceniem gruntów	8,7%
Koszty związane z regulacjami prawnymi i wymaganiami administracyjnymi – opłaty, licencje, obowiązki środowiskowe	22,0%
Wpływ mechanizmów wsparcia (dotacje, ulgi, aukcje OZE) na koszt społeczny	7,3%
Koszty technologii zmniejszających negatywne oddziaływanie na otoczenie – np. redukcja hałasu, ochrona krajobrazu	10,0%
Koszty kompensacji środowiskowych – np. nasadzenia drzew, działania na rzecz ochrony przyrody	1,3%
Brak analizy kosztów społecznych w przedsiębiorstwie	56,0%

Źródło: opracowanie własne

Blisko połowa ankietowanych (49,3% – suma wskazań odpowiedzi „w małym stopniu” i „zdecydowanie w małym stopniu”) uważała, że działania podejmowane w celu ograniczania kosztów społecznych miały niewielki wpływ na wyniki finansowe przedsiębiorstwa. Przeciwnego zdania było niemal 30% ankietowanych (27,4% – suma wskazań odpowiedzi „w dużym stopniu” i „zdecydowanie w dużym stopniu”), którzy dostrzegali znaczny wpływ ww. działań na wyniki finansowe firmy. Jednocześnie co czwarta firma (23,3%) nie potrafiła jednoznacznie określić wpływu działań społecznych na swoje wyniki finansowe.

Z testów statystycznych wynikało, że na zróżnicowanie odpowiedzi respondentów istotnie wpływał okres funkcjonowania w branży OZE (pozostałe zmienne nie różnicowały istotnie rozkładu odpowiedzi). Firmy, które działały w tej branży ponad 10 lat istotnie częściej wskazywały, że działania podejmowane celem ograniczania kosztów społecznych miały zdecydowanie mały wpływ na wyniki finansowe przedsiębiorstwa, podczas gdy firmy z krótszym stażem – istotnie częściej sugerowały duży wpływ.

Tabela 33. Wpływ działań podejmowanych w celu ograniczenia kosztów społecznych na wyniki finansowe przedsiębiorstw [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży				Liczba pracowników			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
Zdecydowanie w dużym stopniu	4,7%	20,0%	2,7%	10,3%	2,5%	3,1%	1,6%	17,6%	12,5%
W dużym stopniu	22,7%	20,0%	54,1%	24,1%	7,6%	17,2%	26,2%	23,5%	37,5%
W małym stopniu	16,0%	20,0%	8,1%	34,6%	12,7%	23,4%	11,5%	11,8%	0,0%
Zdecydowanie w małym stopniu	33,3%	20,0%	18,9%	20,7%	45,6%	31,3%	41,0%	23,5%	12,5%
Trudno powiedzieć	23,3%	20,0%	16,2%	10,3%	31,6%	25,0%	19,7%	23,6%	37,5%
Wyszczególnienie	Rodzaj produkowanej energii					Łączna moc zainstalowana			
	odnawialnej								
	Energetyka wiatrowa	Fotowoltaika	Biomasa	Energia wodna	Biogaz	do 1 MW	1-5 MW	6-10 MW	Ponad 10 MW
Zdecydowanie w dużym stopniu	3,1%	2,6%	0,0%	22,2%	10,5%	10,2%	1,6%	0,0%	4,2%
W dużym stopniu	12,5%	26,3%	25,0%	11,1%	31,6%	26,5%	20,3%	38,4%	12,5%
W małym stopniu	20,3%	15,8%	50,0%	0,0%	15,8%	8,2%	21,9%	23,1%	12,5%
Zdecydowanie w małym stopniu	36,0%	34,2%	0,0%	55,6%	15,8%	36,7%	32,8%	23,1%	33,3%
Trudno powiedzieć	28,1%	21,1%	25,0%	11,1%	26,3%	18,4%	23,4%	15,4%	37,5%

Źródło: opracowanie własne

Wśród operatorów farm wiatrowych przeważało przekonanie, że działania ograniczające koszty społeczne miały raczej niewielki wpływ na wyniki finansowe. Aż 36,0% wskazywało odpowiedź „zdecydowanie w małym stopniu”, a kolejne 20,3% – „w małym stopniu”. Tylko 15,6% łącznie dostrzegało wpływ „w dużym lub zdecydowanie w dużym stopniu”. Dodatkowo 28,1% badanych wybierało odpowiedź „trudno powiedzieć”, co sugerowało sporą niepewność co do przełożenia działań prospołecznych na efekty ekonomiczne. W instalacjach PV rozkład odpowiedzi był zbliżony: 34,2% przedsiębiorstw uważało, że wpływ był „zdecydowanie w małym stopniu”, a 15,8% – „w małym stopniu”. 28,9% dostrzegało

wpływ „w dużym lub zdecydowanie w dużym stopniu”. Co piąty podmiot (21,1%) miał trudność z oceną. Oznacza to, że w fotowoltaice wpływ działań ograniczających koszty społeczne na wyniki finansowe był postrzegany jako umiarkowany, częściej słaby niż silny, przy znacznym odsetku odpowiedzi niejednoznacznych. Segment biomasy miał bardzo wyraźny profil odpowiedzi: połowa przedsiębiorstw (50,0%) oceniała wpływ jako „w małym stopniu”, 25,0% – „w dużym stopniu”, a pozostałe 25,0% wybiera „trudno powiedzieć”. Można to interpretować jako przekonanie, że działania prospołeczne były zauważalne ekonomicznie, ale nie stanowiły kluczowego czynnika wyników finansowych, przy jednoczesnym braku mocnych negatywnych ocen.

W energetyce wodnej widoczna była silna polaryzacja. Z jednej strony 22,2% badanych wskazało, że działania ograniczające koszty społeczne wpływały na wyniki „zdecydowanie w dużym stopniu”, z drugiej – aż 55,6% deklaroowało odpowiedź „zdecydowanie w małym stopniu”. W tej grupie część podmiotów deklaroowała wyraźny zwrot ekonomiczny z działań prospołecznych, natomiast większość postrzegała je głównie jako koszt, z ograniczonym przełożeniem na wyniki finansowe. Wśród biogazowni dominowały oceny silniejszego wpływu finansowego, łącznie 42,1% odpowiedzi „duży wpływ”. Około 18,5% wybrało „w małym stopniu”, a 13–18% „zdecydowanie w małym stopniu” (wartości były relatywnie niskie), przy 26,3% odpowiedzi „trudno powiedzieć”.

Zdania respondentów dotyczące stopnia, w jakim obecny system regulacyjny w Polsce sprzyjał redukcji kosztów społecznych OZE, były zróżnicowane (tab. 34). Z jednej strony 36,7% ankietowanych (suma wskazań odpowiedzi „w małym stopniu” i „zdecydowanie w małym stopniu”) uznało wpływ systemu regulacyjnego na redukcję kosztów jako niewielki. Z drugiej strony nieco mniejszy odsetek badanych (35,3% – suma wskazań odpowiedzi „w dużym stopniu” i „zdecydowanie w dużym stopniu”) był zdania, że wpływ ten był znaczny. Natomiast 28,0% nie potrafiło jednoznacznie ocenić wpływu obowiązujących przepisów na ograniczenie kosztów społecznych OZE.

Z testów statystycznych wynikało, że na zróżnicowanie odpowiedzi respondentów istotnie wpływał okres funkcjonowania w branży OZE (pozostałe zmienne nie różnicowały istotnie rozkładu odpowiedzi). Firmy, które działały w tej branży ponad 10 lat istotnie częściej wskazywały, że obecny system regulacyjny w Polsce zdecydowanie w małym stopniu sprzyjał redukcji kosztów społecznych, podczas gdy firmy z krótszym stażem – istotnie częściej wskazywały odpowiedź „w dużym stopniu”.

Tabela 34. Ocena stopnia redukcji kosztów społecznych OZE przez system regulacyjny w Polsce (np. dotacje, ulgi podatkowe, obowiązki środowiskowe) [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży				Liczba pracowników			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
Zdecydowanie w dużym stopniu	5,3%	20,0%	8,1%	10,3%	1,3%	3,1%	3,3%	11,8%	25,0%
W dużym stopniu	30,0%	40,0%	54,1%	38,0%	15,2%	29,7%	29,5%	29,4%	37,5%
W małym stopniu	20,0%	20,0%	16,2%	27,6%	19,0%	21,9%	18,0%	17,6%	25,0%
Zdecydowanie w małym stopniu	16,7%	0,0%	2,7%	6,9%	27,8%	20,3%	18,0%	5,9%	0,0%
Trudno powiedzieć	28,0%	20,0%	18,9%	17,2%	36,7%	25,0%	31,2%	35,3%	12,5%
Wyszczególnienie	Rodzaj produkowanej energii odnawialnej					Łączna moc zainstalowana			
	Energetyka wiatrowa	Fotowoltaika	Biomasa	Energia wodna	Biogaz	do 1 MW	1-5 MW	6-10 MW	Ponad 10 MW
Zdecydowanie w dużym stopniu	1,6%	5,3%	0,0%	11,1%	15,8%	12,2%	3,1%	0,0%	0,0%
W dużym stopniu	21,9%	32,8%	75,0%	44,5%	42,0%	28,6%	37,5%	30,8%	12,5%
W małym stopniu	17,2%	23,7%	0,0%	0,0%	15,8%	20,4%	17,2%	15,4%	29,2%
Zdecydowanie w małym stopniu	25,0%	13,2%	0,0%	33,3%	5,3%	10,2%	23,4%	15,4%	12,5%
Trudno powiedzieć	34,3%	25,0%	25,0%	11,1%	21,1%	28,6%	18,8%	38,4%	45,8%

Źródło: opracowanie własne

Wyniki przedstawione w tabeli 34 ukazują istotne zróżnicowanie ocen wpływu obecnego systemu regulacyjnego na redukcję kosztów społecznych OZE w zależności od rodzaju wytwarzanej energii odnawialnej. W segmencie biomasy obraz był najbardziej jednoznaczny: trzy czwarte przedsiębiorstw uważało, że system regulacyjny realnie sprzyjał redukcji kosztów społecznych, a pozostała część nie miała zdania. Brakowało odpowiedzi otwarcie negatywnych, co świadczyło o bardzo korzystnej ocenie ram regulacyjnych w tej podgrupie. W biogazowniach ponad połowa badanych (ok. 58%) odbierała system regulacyjny jako wyraźnie sprzyjający redukcji kosztów społecznych, przy umiarkowanym odsetku ocen negatywnych i jednej piątej odpowiedzi „trudno powiedzieć”. Ocena była więc pozytywna, choć mniej jednoznaczna niż w przypadku biomasy. W energetyce wodnej zaobserwowano silną polaryzację: ponad połowa podmiotów (ok. 55–56%) oceniała system jako sprzyjający, ale jednocześnie 1/3 badanych uważała, że sprzyjał on „zdecydowanie w małym stopniu”. To sugeruje, że korzystanie z instrumentów regulacyjnych było tu mocno zróżnicowane – część przedsiębiorstw dostrzegała w nich realne wsparcie, część raczej barierę. W fotowoltaice ok. 38% firm oceniła wpływ systemu jako wyraźnie sprzyjający, kolejne ~24% – jako raczej słaby („w małym stopniu”), a 13% – jako zdecydowanie niesprzyjający. Co czwarty respondent nie miał zdania.

Ten segment miał więc zdecydowanie bardziej zróżnicowany obraz niż biomasa czy biogaz. Energetyka wiatrowa stanowiła segment o najniższym poziomie zaufania do systemu regulacyjnego i najwyższym odsetku odpowiedzi „trudno powiedzieć”, co wskazuje na duży poziom niepewności i/lub poczucie niespójności regulacji z perspektywy redukcji kosztów społecznych.

Z badania wynika, że 42,7% firm nie dostrzegała żadnej zależności między cenami energii a kosztami społecznymi (tab. 33). Tym samym taką zależność dostrzegała 57,3% ankietowanych. Prawie trzy czwarte przedsiębiorstw w tej grupie (73,3%) dostrzegała pozytywną zależność między niższymi cenami energii odnawialnej a społeczną akceptacją projektów OZE – wskazując, że niższe ceny sprzyjały lepszemu odbiorowi społecznemu inwestycji. Jednocześnie blisko jedna czwarta respondentów dostrzegających zależności (24,4%) zauważyła, że wzrost cen energii zwiększał naciski społeczne na poprawę warunków realizacji inwestycji. Dla jednej piątej firm w tej grupie (17,4%) wysokie koszty produkcji energii stanowiły barierę dla podejmowania działań kompensacyjnych wobec społeczności lokalnych.

Okres funkcjonowania w branży, liczba osób zatrudnionych oraz łączna moc zainstalowana instalacji OZE stanowiły zmienne, które istotnie różnicowały rozkład odpowiedzi na analizowane pytanie. Rodzaj wytwarzanej energii odnawialnej nie miał istotnego wpływu na zróżnicowanie odpowiedzi. Szczegółowe dane w tym zakresie wraz z wyróżnieniem istotnych różnic, zawarto w tabeli 35.

Tabela 35. Ocena wpływu cen energii odnawialnej na postrzeganie kosztów społecznych w badanych przedsiębiorstwach [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży				Liczba pracowników			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
Wzrost cen zwiększa naciski społeczne na poprawę warunków inwestycji	24,4%	20,0%	4,2%	45,0%	27,0%	33,3%	18,8%	0,0%	40,0%
Niższe ceny energii z OZE poprawiają akceptację społeczną projektów OZE	73,3%	100,0%	66,7%	75,0%	73,0%	79,5%	75,0%	70,0%	20,0%
Wysokie koszty produkcji energii ograniczają możliwości inwestowania w kompensację społeczną	17,4%	0,0%	29,2%	10,0%	16,2%	17,9%	9,4%	30,0%	40,0%
Brak korelacji między cenami energii a kosztami społecznymi	42,7%	0,0%	35,1%	31,0%	53,2%	39,1%	47,5%	41,2%	37,5%
Wyszczególnienie	Rodzaj produkowanej energii odnawialnej					Łączna moc zainstalowana			
	Energetyka wiatrowa	Fotowoltaika	Biomasa	Energia wodna	Biogaz	do 1 MW	1-5 MW	6-10 MW	Ponad 10 MW

Wzrost cen zwiększa naciski społeczne na poprawę warunków inwestycji	31,4%	26,1%	25,0%	60,0%	9,1%	14,8%	26,5%	22,2%	37,5%
Niższe ceny energii z OZE poprawiają akceptację społeczną projektów OZE	77,1%	67,4%	75,0%	60,0%	72,7%	70,4%	79,4%	55,6%	75,0%
Wysokie koszty produkcji energii ograniczają możliwości inwestowania w kompensację społeczną	17,1%	17,4%	0,0%	0,0%	18,2%	18,5%	8,8%	55,6%	12,5%
Brak korelacji między cenami energii a kosztami społecznymi	45,3%	39,5%	0,0%	44,4%	42,1%	44,9%	46,9%	30,8%	33,3%

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie danych z tabeli 33 można wskazać, że relacje między cenami energii a kosztami społecznymi były postrzegane odmiennie w zależności od rodzaju technologii OZE. We wszystkich analizowanych segmentach dominowało przekonanie, że niższe ceny energii z OZE sprzyjały akceptacji społecznej projektów – odsetek takich wskazań przekraczał 60% w każdej grupie technologicznej, a najwyższy był wśród przedsiębiorstw wykorzystujących biomasę, biogaz oraz energetykę wiatrową (72–77%). Oznacza to, że niezależnie od rodzaju instalacji respondenci dostrzegali istotny związek między konkurencyjnością cenową a gotowością społeczności lokalnych do akceptacji inwestycji.

Większe zróżnicowanie pojawiło się przy stwierdzeniu, że wzrost cen energii zwiększał naciski społeczne na poprawę warunków inwestycji. Najczęściej zgadzały się z nim przedsiębiorstwa prowadzące elektrownie wodne (60% wskazań), natomiast w energetyce wiatrowej, fotowoltaicznej, biomasowej i biogazowej odsetek ten był wyraźnie niższy (zwykle ok. 25–30%, a w biogazie poniżej 10%). Można to interpretować jako silniejsze odczuwanie presji społecznej w segmentach o wyższej widoczności oddziaływań przestrzennych i środowiskowych, przy jednoczesnym wzroście cen energii.

Różnice widoczne były także w postrzeganiu, że wysokie koszty produkcji energii ograniczały możliwości inwestowania w działania kompensacyjne. Z takim stwierdzeniem nie zgadzały się całkowicie przedsiębiorstwa wykorzystujące biomasę i energię wodną, podczas gdy w energetyce wiatrowej, fotowoltaicznej i biogazowej udział takich odpowiedzi był wyższy, ale mieścił się w granicach 17–18%. Sugeruje to, że w części technologii napięcia między kosztami produkcji a budżetem na kompensację społeczną były odczuwane silniej, ale nie odgrywały istotnej roli.

Jednocześnie stosunkowo wysoki odsetek przedsiębiorstw, ok. 40% deklarowało brak wyraźnej korelacji między cenami energii a kosztami społecznymi. Oznacza to, że w wielu podmiotach kwestie te były postrzegane jako względnie odrębne obszary zarządzania, mimo że w innych segmentach (biomasa) związek cen z możliwościami kompensacji był artykułowany wyraźniej.

Blisko 40% ankietowanych (39,3% – suma wskazań odpowiedzi „w małym stopniu” i „zdecydowanie w małym stopniu”) oceniało opłacalność inwestycji w technologie ograniczające wpływ na społeczność jako nieopłacalne. Przeciwnego zdania było 29,3% respondentów (suma wskazań odpowiedzi „w dużym stopniu”

i „zdecydowanie w dużym stopniu”), deklarując, że inwestowanie w tego rodzaju technologie było opłacalne ekonomicznie. Jednocześnie niemalże co trzeci ankietowany (31,4%) nie potrafił wyrazić jednoznacznej opinii w tym zakresie. Przeprowadzone testy statystyczne pozwoliły ustalić, że rozkład odpowiedzi na analizowane pytanie był istotnie różnicowany przez następujące zmienne: lata funkcjonowania w branży, liczbę pracowników oraz rodzaj produkowanej energii odnawialnej. Łączna moc zainstalowana nie wpływała istotnie na zróżnicowanie odpowiedzi. Dokładne dane w tym zakresie zaprezentowano w kolejnej tabeli 36.

Tabela 36. Ocena stopnia inwestowania w technologie ograniczające wpływ na społeczność pod kątem opłacalności z perspektywy ekonomicznej [N=150]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży				Liczba pracowników			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
Zdecydowanie w dużym stopniu	3,3%	0,0%	2,7%	10,3%	1,3%	1,6%	3,3%	11,8%	0,0%
W dużym stopniu	26,0%	60,0%	54,1%	24,1%	11,4%	21,9%	24,6%	23,5%	75,0%
W małym stopniu	19,3%	20,0%	13,5%	41,5%	13,9%	26,6%	14,8%	11,8%	12,5%
Zdecydowanie w małym stopniu	20,0%	0,0%	8,1%	6,9%	31,6%	20,3%	21,3%	23,5%	0,0%
Trudno powiedzieć	31,4%	20,0%	21,6%	17,2%	41,8%	29,6%	36,0%	29,4%	12,5%
Wyszczególnienie	Rodzaj produkowanej energii odnawialnej					Łączna moc zainstalowana			
	Energetyka wiatrowa	Fotowoltaika	Biomasa	Energia wodna	Biogaz	do 1 MW	1-5 MW	6-10 MW	Ponad 10 MW
Zdecydowanie w dużym stopniu	1,6%	2,6%	25,0%	11,1%	21,1%	6,1%	3,1%	0,0%	0,0%
W dużym stopniu	18,8%	29,0%	25,0%	44,5%	15,8%	36,8%	18,8%	38,5%	16,7%
W małym stopniu	17,2%	19,7%	0,0%	11,1%	15,8%	16,3%	23,4%	15,4%	16,7%
Zdecydowanie w małym stopniu	18,8%	23,7%	0,0%	33,3%	10,5%	18,4%	25,0%	7,7%	16,7%
Trudno powiedzieć	43,6%	25,0%	50,0%	0,0%	36,8%	22,4%	29,7%	38,4%	49,9%

Źródło: opracowanie własne

Z danych zawartych w tabeli 36 wynika, że we wszystkich rodzajach OZE przeważało przekonanie, iż inwestowanie w technologie ograniczające wpływ na społeczność było w pewnym stopniu opłacalne ekonomicznie, ale skala tego przekonania różniła się między segmentami.

Biomasa i biogaz stanowiły grupy, w których najczęściej pojawiły się oceny „zdecydowanie w dużym stopniu” opłacalne, przy stosunkowo niewielkim udziale odpowiedzi negujących opłacalność. Wskazuje to, że przedsiębiorstwa wykorzystujące paliwa bioenergetyczne dostrzegały ekonomiczne uzasadnienie inwestycji w technologie ograniczania oddziaływań społecznych.

Energetyka wodna wyróżniała się najwyższym odsetkiem odpowiedzi „w dużym stopniu”, co sugeruje, że w tej grupie przekonanie o opłacalności takich inwestycji było szczególnie silne, choć jedna trzecia podmiotów oceniła je jedynie „w małym stopniu”.

W przypadku fotowoltaiki i energetyki wiatrowej rozkład był bardziej rozproszony. Udział wskazań „zdecydowanie w dużym stopniu” był tu wyraźnie niższy niż w przypadku biomasy czy biogazu, częściej pojawiały się odpowiedzi „w małym stopniu” oraz „zdecydowanie w małym stopniu”. Dodatkowo w energetyce wiatrowej relatywnie wysoki był odsetek odpowiedzi „trudno powiedzieć”, co może świadczyć o większej niepewności co do ekonomicznych efektów inwestycji w technologie ograniczające koszty społeczne. Należy również zaznaczyć, że 29% przedsiębiorstw z branży fotowoltaiki wskazywały opłacalność w dużym stopniu.

Analizy ekonomiczne kosztów społecznych działalności prowadzone były raczej rzadko w badanych przedsiębiorstwach. Jedynie 21,3% przedsiębiorstw realizowało je regularnie, natomiast 20,0% robiło to okazjonalnie. Aż 34,0% firm w ogóle nie podejmowało takich analiz, a 16,0% respondentów nie miało wiedzy na ten temat. Sporadyczne przeprowadzanie analiz (raz na kilka lat) zadeklarowało 8,7% respondentów. Z analiz statystycznych wynika, że okres funkcjonowania w branży oraz rodzaj produkowanej energii odnawialnej istotnie różnicował odpowiedzi na przedmiotowe pytanie. Podmioty wytwarzające energię z wiatru istotnie rzadziej potwierdzały regularne prowadzenie analiz ekonomicznych dotyczących kosztów społecznych swojej działalności, podobnie jak firmy funkcjonujące w branży dłużej niż 10 lat. Regularne prowadzenie ww. analiz istotnie częściej deklarowały przedsiębiorstwa działające w branży od 2 do 5 lat. Szczegółowe dane w tym zakresie zawiera kolejna tabela 37.

Tabela 37. Częstotliwość prowadzenia analiz ekonomicznych dotyczących kosztów społecznych swojej działalności w ocenie przedsiębiorstw OZE [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży				Liczba pracowników			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
regularnie (np. raz na kwartał, raz na rok)	21,3%	40,0%	48,7%	31,2%	3,8%	14,1%	21,3%	29,4%	62,5%
okazjonalnie	20,0%	20,0%	21,6%	24,1%	17,7%	25,0%	18,0%	11,8%	12,5%
bardzo rzadko (np. raz na kilka lat)	8,7%	0,0%	2,7%	17,2%	8,9%	9,4%	6,6%	11,8%	12,5%
nigdy	34,0%	40,0%	21,6%	24,1%	43,0%	35,9%	37,7%	29,4%	0,0%
nie wiem/trudno powiedzieć	16,0%	0,0%	5,4%	3,4%	26,6%	15,6%	16,4%	17,6%	12,5%
Wyszczególnienie	Rodzaj produkowanej energii	Łączna moc zainstalowana							

	Energetyka wiatrowa	Fotowoltaika	Biomasa	Energia wodna	Biogaz	do 1 MW	1-5 MW	6-10 MW	Ponad 10 MW
regularnie (np. raz na kwartał, raz na rok)	6,3%	25,0%	50,0%	11,1%	42,0%	32,6%	17,2%	30,8%	4,2%
okazjonalnie	25,0%	18,4%	25,0%	33,3%	21,1%	18,4%	21,9%	7,7%	25,0%
bardzo rzadko (np. raz na kilka lat)	9,4%	7,9%	0,0%	11,1%	5,3%	10,2%	4,7%	15,4%	12,5%
nigdy	35,9%	36,9%	0,0%	44,5%	15,8%	30,6%	39,0%	30,7%	29,2%
nie wiem/trudno powiedzieć	23,4%	11,8%	25,0%	0,0%	15,8%	8,2%	17,2%	15,4%	29,1%

Źródło: opracowanie własne

W odniesieniu do rodzaju produkowanej energii odnawialnej można dostrzec wyraźne zróżnicowanie częstości prowadzenia analiz ekonomicznych dotyczących kosztów społecznych. Najwyższy odsetek przedsiębiorstw deklarujących regularne prowadzenie takich analiz (co najmniej raz w roku) występował wśród podmiotów wykorzystujących biomasę oraz biogaz – odpowiednio połowa i 42% badanych jednostek. W tych segmentach stosunkowo rzadko pojawiała się odpowiedź „nigdy”, co sugeruje bardziej sformalizowane podejście do monitorowania ekonomicznego wymiaru kosztów społecznych. W przypadku instalacji fotowoltaicznych odsetek podmiotów prowadzących analizy regularnie był umiarkowany (jedna czwarta), natomiast relatywnie wysoki udział mają odpowiedzi „nigdy”, co wskazuje na znaczne zróżnicowanie praktyk wewnątrz tego segmentu. Energetyka wiatrowa charakteryzowała się najniższym udziałem regularnych analiz (poniżej 10%) przy jednocześnie wysokim odsetku wskazań „nigdy” oraz stosunkowo dużej grupie respondentów wybierających odpowiedź „nie wiem/trudno powiedzieć”, co może świadczyć o słabszym stopniu instytucjonalizacji tego typu ocen w organizacjach. W energetyce wodnej dominowały odpowiedzi „nigdy” i „okazjonalnie”, a regularne analizy deklarowała jedynie niewielka część podmiotów.

Łącznie wyniki świadczyły o tym, że systematyczne uwzględnianie kosztów społecznych w analizach ekonomicznych było najbardziej rozwinięte w przedsiębiorstwach biomasowych i biogazowych, natomiast w segmencie energetyki wiatrowej, wodnej i – w mniejszym stopniu – fotowoltaicznej częściej miało ono charakter incydentalny lub w ogóle nie było realizowane.

Wzrost kosztów surowców i inflacja były uznawane za istotne czynniki wpływające na poziom kosztów społecznych w sektorze OZE – takiego zdania było 42,7% firm, które oceniały ten wpływ jako duży lub zdecydowanie duży (tab. 38). Na niewielki wpływ wskazało 30,0% badanych (suma wskazań odpowiedzi „w małym stopniu” i „zdecydowanie w małym stopniu”), natomiast 27,3% respondentów nie potrafiło jednoznacznie określić swojego zdania w tej kwestii.

Tabela 38. Ocena wpływu wzrostu kosztów surowców i inflacji na koszty społeczne działalności OZE [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży				Liczba pracowników			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
Zdecydowanie w dużym stopniu	4,0%	0,0%	13,5%	3,4%	0,0%	1,6%	1,6%	11,8%	25,0%
W dużym stopniu	38,7%	40,0%	62,2%	55,3%	21,5%	40,6%	37,8%	29,4%	50,0%
W małym stopniu	17,3%	20,0%	8,1%	24,1%	19,0%	20,3%	16,4%	11,8%	12,5%
Zdecydowanie w małym stopniu	12,7%	0,0%	5,4%	6,9%	19,0%	12,5%	13,1%	17,6%	0,0%
Trudno powiedzieć	27,3%	40,0%	10,8%	10,3%	40,5%	25,0%	31,1%	29,4%	12,5%
Wyszczególnienie	Rodzaj produkowanej energii					Łączna moc zainstalowana			
	odnawialnej								
	Energetyka wiatrowa	Fotowoltaika	Biomasa	Energia wodna	Biogaz	do 1 MW	1-5 MW	6-10 MW	Ponad 10 MW
Zdecydowanie w dużym stopniu	0,0%	5,3%	0,0%	11,1%	5,3%	8,2%	1,6%	7,7%	0,0%
W dużym stopniu	34,4%	40,8%	50,0%	44,5%	36,8%	51,0%	35,9%	38,4%	20,8%
W małym stopniu	15,6%	19,7%	25,0%	11,1%	21,1%	18,4%	20,3%	7,7%	12,5%
Zdecydowanie w małym stopniu	10,9%	14,5%	0,0%	11,1%	10,5%	6,1%	17,2%	15,4%	12,5%
Trudno powiedzieć	39,1%	19,7%	25,0%	22,2%	26,3%	16,3%	25,0%	30,8%	54,2%

Źródło: opracowanie własne

Analiza zróżnicowania odpowiedzi według rodzaju produkowanej energii wykazała, że niezależnie od technologii dominowało przekonanie, iż wzrost kosztów surowców oraz inflacja w co najmniej istotnym stopniu oddziaływały na koszty społeczne działalności OZE. Różnice między segmentami dotyczyły przede wszystkim siły tego odczuwanego wpływu oraz poziomu niepewności odpowiedzi.

Najwyższe natężenie ocen „w dużym stopniu” zaobserwowano wśród przedsiębiorstw opartych na biomasie – odsetek wskazań tej kategorii sięgał połowy badanych podmiotów. Podobnie wysokie wartości zanotowano również w energetyce wodnej, przy czym w tej grupie częściej niż w pozostałych pojawiała się również odpowiedź „zdecydowanie w dużym stopniu”, co wskazuje na relatywnie silne odczuwanie wrażliwości kosztów społecznych na zmiany cen surowców i inflację. W przypadku biogazowni, biomasy i fotowoltaiki rozkład odpowiedzi był bardziej rozproszony – oprócz stosunkowo licznych wskazań „w dużym stopniu” widoczny był także istotny udział kategorii „w małym stopniu”, co może świadczyć o zróżnicowanej skali powiązań kosztów społecznych z sytuacją cenową w tym segmencie.

Na tle pozostałych technologii wyróżniała się energetyka wiatrowa, w której – przy umiarkowanym udziale ocen „w dużym stopniu” – relatywnie najczęściej wybierano odpowiedź „trudno powiedzieć”. Może to sugerować większą niepewność

co do mechanizmów, w jakich zmienność cen surowców i inflacja przekładały się na społeczne konsekwencje funkcjonowania farm wiatrowych. Łącznie wyniki wskazywały jednak, że we wszystkich analizowanych segmentach OZE wzrost kosztów surowców i inflacja były postrzegane jako istotne czynniki kształtujące koszty społeczne działalności, choć skala tego wpływu i stopień jego uświadomienia różniły się w zależności od rodzaju technologii.

Większość badanych przedsiębiorstw (68,7%) nie podejmowała żadnych działań kompensacyjnych mających na celu rekompensatę kosztów społecznych inwestycji. Wśród firm, które realizowały takie działania, najczęściej wskazywanym rozwiązaniem było wsparcie lokalnych inicjatyw i funduszy społecznych (44,7%). Relatywnie często stosowane były również obniżone taryfy na energię elektryczną dla społeczności mieszkających w pobliżu farm OZE (31,9%) oraz inwestycje w infrastrukturę lokalną, oferowanie rekompensat finansowych dla mieszkańców i dotacje na instalacje OZE (po 27,7% każde). Najrzadziej stosowanym rozwiązaniem było zapewnienie społeczności lokalnej udziałów w zyskach z działalności – taką formę rekompensaty wskazało zaledwie 4,3% firm. Odpowiedzi na pytanie dotyczące podejmowanych działań kompensacyjnych były istotnie zróżnicowane ze względu na okres funkcjonowania w branży, wielkość zatrudnienia oraz łączną moc zainstalowaną instalacji. Dokładne dane wraz z istotnymi różnicami, ujęto w poniższej tabeli 39.

Tabela 39. Działania kompensacyjne związane z rekompensatą finansową kosztów społecznych podejmowane przez badane przedsiębiorstwa [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży				Liczba pracowników			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
Oferowanie rekompensat finansowych dla mieszkańców dotkniętych inwestycją]	27,7%	66,7%	14,3%	58,3%	11,1%	28,1%	27,3%	50,0%	0,0%
Inwestycje w infrastrukturę lokalną (np. budowa dróg, rewitalizacja terenów)]	27,7%	0,0%	42,9%	0,0%	38,9%	28,1%	36,4%	0,0%	0,0%
Wsparcie lokalnych inicjatyw i funduszy społecznych]	44,7%	0,0%	28,6%	33,3%	72,2%	50,0%	27,3%	50,0%	50,0%
Obniżone taryfy na energię elektryczną dla społeczności mieszkających w pobliżu farm OZE]	31,9%	33,3%	42,9%	16,7%	33,3%	18,8%	54,5%	100,0%	50,0%
Dotacje i dofinansowania dla gospodarstw domowych na instalacje OZE]	27,7%	33,3%	50,0%	8,3%	22,2%	15,6%	45,5%	50,0%	100,0%
Zapewnienie korzyści ekonomicznych dla społeczności lokalnej (np. udziały w zyskach)]	4,3%	0,0%	0,0%	8,3%	5,6%	6,3%	0,0%	0,0%	0,0%
Nie podejmujemy żadnych działań w tym zakresie]	68,7%	40,0%	62,2%	58,6%	77,2%	50,0%	82,0%	88,2%	75,0%

Wyszczególnienie	Rodzaj produkowanej energii					Łączna moc zainstalowana			
	Energetyka wiatrowa	Fotowoltaika	Biomasa	Energia wodna	Biogaz	do 1 MW	1-5 MW	6-10 MW	Ponad 10 MW
Oferowanie rekompensat finansowych dla mieszkańców dotkniętych inwestycją]	31,3%	28,0%	0,0%	0,0%	10,0%	10,0%	45,8%	14,3%	0,0%
Inwestycje w infrastrukturę lokalną (np. budowa dróg, rewitalizacja terenów)]	31,3%	28,0%	33,3%	33,3%	20,0%	20,0%	20,8%	28,6%	66,7%
Wsparcie lokalnych inicjatyw i funduszy społecznych]	56,2%	40,0%	0,0%	66,7%	40,0%	30,0%	37,5%	42,9%	100,0%
Obniżone taryfy na energię elektryczną dla społeczności mieszkających w pobliżu farm OZE]	12,5%	36,0%	33,3%	33,3%	40,0%	0,0%	29,2%	42,9%	83,3%
Dotacje i dofinansowania dla gospodarstw domowych na instalacje OZE]	12,5%	28,0%	100,0 %	66,7%	50,0%	50,0%	16,7%	28,6%	33,3%
Zapewnienie korzyści ekonomicznych dla społeczności lokalnej (np. udziały w zyskach)]	6,3%	0,0%	0,0%	0,0%	10,0%	10,0%	4,2%	0,0%	0,0%
Nie podejmujemy żadnych działań w tym zakresie]	75,0%	67,1%	25,0%	66,7%	47,4%	79,6%	62,5%	46,2%	75,0%

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie danych w tabeli 39 można dostrzec wyraźne zróżnicowanie sposobu zarządzania kosztami społecznymi w zależności od rodzaju instalacji OZE. W przypadku farm wiatrowych i instalacji fotowoltaicznych występował relatywnie szeroki wachlarz stosowanych działań kompensacyjnych: ok. 30% podmiotów oferowało rekompensaty finansowe mieszkańcom (31,3% – wiatr, 28,0% – PV), podobny odsetek inwestował w infrastrukturę lokalną (31,3% i 28,0%) W energetyce wiatrowej widoczne było silne wsparcie lokalnych inicjatyw (56,2%). Z drugiej strony właśnie w tych dwóch segmentach najwyższy był odsetek deklaracji, że nie podejmowano żadnych działań – 75,0% w energetyce wiatrowej i 67,1% w fotowoltaice. Oznacza to, że obok grupy aktywnych inwestorów działała znaczna liczba podmiotów, które nie dostrzegały kosztów społecznych.

Biogazownie wyróżniały się bardziej zrównoważonym profilem: niemal połowa z nich nie podejmowała działań kompensacyjnych (47,4%), ale jednocześnie częściej niż farmy wiatrowe i PV stosowały obniżone taryfy dla mieszkańców (40,0%) oraz dotacje na instalacje OZE (50,0%). W przypadku instalacji na biomasę i małych elektrowni wodnych wyniki należy interpretować ostrożnie ze względu na małą liczebność - dla biomasy kluczowe były dotacje dla gospodarstw domowych (100% badanych podmiotów), natomiast w energetyce wodnej dominowało wsparcie lokalnych inicjatyw (66,7%) i dotacje (66,7%). Jednocześnie w obu tych segmentach częsty był brak jakichkolwiek działań kompensacyjnych (odpowiednio 25,0% dla biomasy i 66,7% dla energii wodnej).

Rodzaj technologii OZE był powiązany z odmiennym sposobem zarządzania kosztami społecznymi. W energetyce wiatrowej i fotowoltaicznej obserwowano największe zróżnicowanie podejmowanych działań: obok relatywnie szerokiego wachlarza instrumentów kompensacyjnych występował w tych segmentach również najwyższy odsetek przedsiębiorstw niepodjmujących żadnych inicjatyw w tym zakresie. Z kolei podmioty działające w obszarze biogazu, biomasy oraz energetyki wodnej częściej koncentrowały się na wybranych formach wsparcia – przede wszystkim na dotacjach i ulgach – przy jednocześnie zróżnicowanym poziomie ogólnej aktywności kompensacyjnej.

Przeprowadzone analizy pokazały, że badane przedsiębiorstwa OZE rzadko traktowały koszty społeczne jako odrębną, świadomie zarządzaną kategorię ekonomiczną. Tylko niewielka część podmiotów wyodrębniała na ten cel odrębny budżet, prowadziła regularne analizy oraz planowała zwiększanie nakładów na minimalizację kosztów społecznych, podczas gdy większość działań miała charakter doraźny, finansowany głównie ze środków własnych i dotacji. W efekcie zarządzanie kosztami społecznymi miało w przeważającej mierze charakter reaktywny, koncentrujący się na spełnieniu wymogów formalnych, a nie na systematycznym ograniczaniu napięć społecznych. Szczególnie wyraźnie widać to w obszarze oddziaływań środowiskowych instalacji OZE, które – obok aspektów ekonomicznych – stanowiły kluczowy wymiar kształtowania kosztów społecznych i były przedmiotem analizy w kolejnym podrozdziale.

6.5. ŚRODOWISKOWY WYMIAR ZARZĄDZANIA KOSZTAMI SPOŁECZNYMI

Ponad połowa badanych przedsiębiorstw (56,7%) zadeklarowała wdrażanie przynajmniej jednego z elementów strategii zrównoważonego rozwoju. Najczęściej wskazywanym z nich był certyfikat środowiskowy, taki jak ISO 14001 lub podobny – posiadało go 56,5% firm. Formalną strategię zrównoważonego rozwoju wdrożyło 41,2% przedsiębiorstw, natomiast raportowanie środowiskowe lub raportowanie ESG prowadziło 32,9% badanych podmiotów. Wyodrębniony dział lub osoba odpowiedzialna za kwestie zrównoważonego rozwoju funkcjonowała w strukturze 24,7% firm. Strategię CSR dotyczącą inwestycji w OZE (w formie formalnej lub nieformalnej) zadeklarowało jedynie 4,7% przedsiębiorstw.

Jednocześnie 43,3% respondentów przyznało, że żaden z wymienionych elementów strategii zrównoważonego rozwoju nie został dotąd wdrożony, co sugeruje, że znaczny odsetek badanych firm nie realizowało w sposób zinstytucjonalizowany działań w obszarze zrównoważonego rozwoju.

Przeprowadzone testy statystyczne wykazały istotne zróżnicowanie rozkładu odpowiedzi ze względu na rodzaj wytwarzanej energii odnawialnej oraz liczbę zatrudnionych w przedsiębiorstwie (pozostałe zmienne nie wpływały istotnie na zróżnicowanie rozkładu odpowiedzi). Wykazano, że firmy wytwarzające energię z wiatru istotnie częściej od pozostałych deklarowały, że nie wdrożyły żadnego z elementów strategii zrównoważonego rozwoju, podobnie jak podmioty zatrudniające od 1 do 10 pracowników. Szczegółowe dane w tym zakresie przedstawiono w kolejnej tabeli 40.

Tabela 40. Elementy strategii zrównoważonego rozwoju występujące w badanych przedsiębiorstwach [N = 150]

Wyszczególnienie	Odsetek	Rodzaj produkowanej energii odnawialnej					Liczba pracowników			
		Energia wiatrowa	Fotowoltaika	Biomasa	Energia wodna	Biogaz	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
Posiadamy formalną strategię zrównoważonego rozwoju firmy	41,2%	25,9%	38,6%	66,7%	33,3%	58,8%	26,1%	41,5%	46,2%	75,0%
Posiadamy certyfikat środowiskowy (np. ISO 14001 lub podobny)	56,5%	51,9%	52,3%	33,3%	83,3%	52,9%	43,5%	56,1%	69,2%	75,0%
Mamy wyodrębniony dział/osobę ds. zrównoważonego rozwoju w strukturze firmy	24,7%	29,6%	29,5%	66,7%	33,3%	23,5%	13,0%	31,7%	15,4%	37,5%
Posiadamy strategię CSR dotyczącą inwestycji w OZE (formalną lub nieformalną)	4,7%	3,7%	2,3%	33,3%	16,7%	11,8%	8,7%	2,4%	0,0%	12,5%
Realizujemy raporty środowiskowe lub raporty ESG	32,9%	29,6%	25,0%	33,3%	16,7%	47,1%	47,8%	29,3%	7,7%	50,0%
Żaden z powyższych elementów nie został wdrożony	43,3%	57,8%	42,1%	25,0%	33,3%	10,5%	64,1%	32,8%	23,5%	0,0%

Źródło: opracowanie własne

Najczęściej monitorowanym wskaźnikiem środowiskowym był poziom emisji CO₂ lub ogólniej – ślad węglowy. Ten typ danych śledziło 42,0% badanych przedsiębiorstw. Znacznie rzadziej firmy monitorowały inne wskaźniki – po 11,3% respondentów wskazało na wskaźnik efektywności środowiskowej (EPI) oraz zużycie surowców naturalnych, takich jak woda czy materiały odnawialne.

Wskaźniki dotyczące wpływu na jakość powietrza i zanieczyszczenia środowiska, takie jak emisje pyłów czy zanieczyszczenia gleby i wód, monitorowało 10,7% firm. Niewiele mniejszy odsetek przedsiębiorstw (10,0%) obserwował wskaźniki związane z recyklingiem i gospodarką odpadami. Wskaźniki bioróżnorodności, odnoszące się do wpływu działalności na lokalne ekosystemy czy ochronę gatunków, były monitorowane przez 9,3% podmiotów. Ślad wodny, obejmujący m.in. zużycie wody na jednostkę produkcji, śledziło 8,0% firm. Dane te sugerowały, że monitorowanie środowiskowych aspektów działalności nadal koncentrowało się głównie na emisjach gazów cieplarnianych, natomiast inne wskaźniki były uwzględniane znacznie rzadziej. Analizy statystyczne wykazały istotne zróżnicowanie rozkładu odpowiedzi ze względu na rodzaj wytwarzanej energii odnawialnej, łączną moc zainstalowaną oraz liczbę zatrudnionych

w przedsiębiorstwie (pozostałe zmienne nie wpływały istotnie na zróżnicowanie rozkładu odpowiedzi). Szczegółowe dane zawarto w tabeli 41.

Tabela 41. Wskaźniki środowiskowe monitorowane w badanych przedsiębiorstwach [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży				Liczba pracowników			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
Emisje CO ₂ /ślad węglowy	42,0%	60,0%	59,5%	37,9%	34,2%	29,7%	45,9%	52,9%	87,5%
Wskaźnik efektywności środowiskowej (EPI)	11,3%	20,0%	10,8%	6,9%	12,7%	10,9%	8,2%	17,6%	25,0%
Wskaźniki recyklingu i gospodarki odpadami (np. procent materiałów poddanych recyklingowi, ilość odpadów na jednostkę produkcji)	10,0%	0,0%	8,1%	6,9%	12,7%	6,3%	13,1%	5,9%	25,0%
Zużycie surowców naturalnych (np. oszczędność wody, zużycie materiałów odnawialnych i nieodnawialnych)	11,3%	0,0%	0,0%	20,7%	13,9%	12,5%	11,5%	0,0%	25,0%
Wpływ na jakość powietrza i środowisko (np. emisje pyłów, zanieczyszczenia gleby i wód)	10,7%	0,0%	5,4%	13,8%	12,7%	9,4%	9,8%	0,0%	50,0%
Ślad wodny (np. zużycie wody na jednostkę produkcji, metody ograniczania strat wody)	8,0%	0,0%	8,1%	3,4%	10,1%	7,8%	6,6%	0,0%	37,5%
Wskaźniki bioróżnorodności (np. wpływ na lokalne ekosystemy, nasadzenia kompensacyjne, działania na rzecz ochrony gatunków)	9,3%	0,0%	0,0%	13,8%	12,7%	15,6%	4,9%	0,0%	12,5%
Wyszczególnienie	Rodzaj produkowanej energii odnawialnej					Łączna moc zainstalowana			
	Energetyka wiatrowa	Fotowoltaika	Biomasa	Energia wodna	Biogaz	do 1 MW	1-5 MW	6-10 MW	Ponad 10 MW
Emisje CO ₂ /ślad węglowy	31,3%	47,4%	100,0%	44,4%	63,2%	46,9%	37,5%	38,5%	45,8%
Wskaźnik efektywności środowiskowej (EPI)	14,1%	9,2%	25,0%	11,1%	10,5%	10,2%	7,8%	15,4%	20,8%
Wskaźniki recyklingu i gospodarki odpadami (np. procent materiałów poddanych recyklingowi, ilość odpadów na jednostkę produkcji)	10,9%	7,9%	0,0%	11,1%	21,1%	8,2%	6,3%	7,7%	25,0%
Zużycie surowców naturalnych (np. oszczędność wody, zużycie materiałów odnawialnych i nieodnawialnych)	10,9%	10,5%	0,0%	22,2%	15,8%	4,1%	7,8%	23,1%	29,2%

Wpływ na jakość powietrza i środowisko (np. emisje pyłów, zanieczyszczenia gleby i wód)	12,5%	5,3%	25,0%	22,2%	26,3%	14,3%	3,1%	15,4%	20,8%
Ślad wodny (np. zużycie wody na jednostkę produkcji, metody ograniczania strat wody)	7,8%	6,6%	0,0%	33,3%	10,5%	8,2%	3,1%	7,7%	20,8%
Wskaźniki bioróżnorodności (np. wpływ na lokalne ekosystemy, nasadzenia kompensacyjne, działania na rzecz ochrony gatunków)	15,6%	5,3%	25,0%	11,1%	15,8%	4,1%	9,4%	7,7%	20,8%

Źródło: opracowanie własne

Aspekty środowiskowe przy planowaniu nowych inwestycji były uwzględniane w znacznym stopniu przez 42,0% badanych firm (suma wskazań odpowiedzi „zdecydowanie w dużym stopniu” i „w dużym stopniu”). Z drugiej strony, aż 37,3% firm (suma wskazań odpowiedzi „zdecydowanie w małym stopniu” i „w małym stopniu”) oceniło, że czynniki środowiskowe przy planowaniu nowych inwestycji były brane pod uwagę tylko w niewielkim stopniu. Co piąty respondent (20,7%) nie potrafił jednoznacznie ocenić stopnia, w jakim uwzględniane były aspekty środowiskowe. Przeprowadzone testy statystyczne wykazały istotne zróżnicowanie rozkładu odpowiedzi ze względu na rodzaj wytwarzanej energii odnawialnej oraz okres funkcjonowania firmy w branży OZE (pozostałe zmienne nie wpływały istotnie na zróżnicowanie rozkładu odpowiedzi). Dokładne dane w tym zakresie zawiera tabela 42.

Tabela 42. Ocena stopnia uwzględniania przez przedsiębiorstwa OZE aspektów środowiskowych przy planowaniu nowych inwestycji OZE [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży				Liczba pracowników			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
Zdecydowanie w dużym stopniu	2,0%	0,0%	2,7%	3,4%	1,3%	0,0%	3,3%	5,9%	0,0%
W dużym stopniu	40,0%	40,0%	59,5%	51,8%	26,6%	35,9%	37,7%	52,9%	62,5%
W małym stopniu	13,3%	40,0%	13,5%	13,8%	11,4%	17,2%	13,1%	5,9%	0,0%
Zdecydowanie w małym stopniu	24,0%	20,0%	10,8%	13,8%	34,1%	28,1%	27,9%	5,9%	0,0%
Trudno powiedzieć	20,7%	0,0%	13,5%	17,2%	26,6%	18,8%	18,0%	29,4%	37,5%
Wyszczególnienie	Rodzaj produkowanej energii odnawialnej					Łączna moc zainstalowana			
	Energetyka wiatrowa	Fotowoltaika	Biomasa	Energia wodna	Biogaz	do 1 MW	1-5 MW	6-10 MW	Ponad 10 MW
Zdecydowanie w dużym stopniu	0,0%	1,3%	0,0%	0,0%	10,5%	2,0%	3,1%	0,0%	0,0%
W dużym stopniu	32,9%	40,8%	75,0%	22,2%	63,1%	49,1%	42,3%	38,4%	16,7%

W małym stopniu	10,9%	18,4%	25,0%	0,0%	0,0%	16,3%	10,9%	15,4%	12,5%
Zdecydowanie w małym stopniu	28,1%	26,3%	0,0%	44,5%	5,3%	20,4%	28,1%	30,8%	16,7%
Trudno powiedzieć	28,1%	13,2%	0,0%	33,3%	21,1%	12,2%	15,6%	15,4%	54,1%

Źródło: opracowanie własne

Analizy wpływu instalacji odnawialnych źródeł energii na krajobraz zostały przeprowadzone jedynie w co dziesiątym przedsiębiorstwie (10,0%). Zdecydowana większość badanych podmiotów (90,0%) nie podejmowała tego typu działań, co może wskazywać na niski priorytet tej kwestii w procesach inwestycyjnych. Wśród firm, które zrealizowały takie analizy, najczęściej deklarowany koszt wynosił 10 000 zł – wskazało go co trzeci respondent z tej grupy. Wyceny na poziomie 5 000 zł pojawiały się w co piątym podmiocie, natomiast koszty rzędu 8000 zł wskazało co ósme przedsiębiorstwo. Rzadziej wskazywano kwoty 6000 zł, 9000 zł, 20 000 zł, 80 000 zł oraz 1 200 000 zł. Zróżnicowanie kosztów sugerowało istotne różnice w zakresie i szczegółowości wykonywanych analiz krajobrazowych.

Tabela 43. Analizy wpływu instalacji na krajobraz oraz szacowane koszty ich przeprowadzenia [N = 150]

Wyszczególnienie	Odsetek
Nie	90,0%
Tak:	10,0%
5 000 zł	20,0%
6 000 zł	6,7%
8 000 zł	13,3%
9 000 zł	6,7%
10 000 zł	33,2%
20 000 zł	6,7%
80 000 zł	6,7%
1 200 000 zł	6,7%

Źródło: opracowanie własne

Ponad jedna trzecia firm (36,7%) zadeklarowała, że nie podejmowała żadnych działań w celu minimalizacji wpływu na środowisko naturalne. Tym samym blisko dwie trzecie badanych podmiotów (63,3%) potwierdziło, że podejmowało takie działania. Spośród działań środowiskowych, najczęściej wskazywana była certyfikacja środowiskowa i przestrzeganie norm (np. ISO 14001, EMAS) – takie działania podejmowane były przez prawie połowę spośród respondentów (46,3%), którzy dążyli do minimalizacji wpływu na środowisko naturalne. Kolejnymi, relatywnie często podejmowanymi działaniami były: minimalizacja hałasu i wpływu na lokalne społeczności (26,3%) oraz redukcja emisji gazów cieplarnianych (24,2%). Optymalizację procesów technologicznych wskazał co piąty respondent (21,1%). Inne działania, takie jak zarządzanie odpadami, wykorzystanie materiałów o niskim śladzie węglowym, ochrona zasobów wodnych czy współpraca z lokalnymi społecznościami, deklarowane były przez mniejszą część podmiotów (poniżej 20% każda). Najrzadziej wskazywane były działania kompensacyjne (2,1%),

magazynowanie energii (2,1%) oraz inwestycje w innowacyjne technologie o mniejszym wpływie środowiskowym (3,2%).

Tabela 44. Działania podejmowane przez przedsiębiorstwa w celu minimalizacji wpływu na środowisko naturalne [N = 150]

Wyszczególnienie	Odsetek
Optymalizacja procesów technologicznych (np. wykorzystanie bardziej efektywnych turbin wiatrowych, nowoczesnych paneli PV o wyższej sprawności).	21,1%
Redukcja emisji gazów cieplarnianych (np. stosowanie technologii niskoemisyjnych w produkcji, ograniczenie emisji CO ₂ w cyklu życia produktów).	24,2%
Zwiększenie efektywności energetycznej instalacji (np. modernizacja urządzeń, poprawa sprawności konwersji energii).	11,6%
Wykorzystanie materiałów o niskim śladzie węglowym (np. komponenty pochodzące z recyklingu, produkcja paneli PV z ograniczoną emisją CO ₂).	17,9%
Minimalizacja oddziaływania na krajobraz i ekosystemy (np. wybór lokalizacji zgodnej z zasadami ochrony przyrody, rekultywacja terenów).	17,9%
Zarządzanie odpadami i recykling (np. recykling zużytych paneli PV i turbin wiatrowych, redukcja ilości odpadów poprodukcyjnych).	12,6%
Ochrona zasobów wodnych (np. optymalizacja zużycia wody w procesach produkcyjnych, technologie ograniczające zanieczyszczenia wód).	7,4%
Stosowanie magazynowania energii w celu stabilizacji dostaw (np. systemy bateryjne, technologie magazynowania wodoru).	2,1%
Minimalizacja hałasu i wpływu na lokalne społeczności (np. ciche turbiny wiatrowe, izolacja akustyczna instalacji).	26,3%
Wdrażanie działań kompensacyjnych (np. nasadzenia kompensacyjne, ochrona terenów przyrodniczych).	2,1%
Współpraca z lokalnymi społecznościami na rzecz ochrony środowiska (np. edukacja ekologiczna, programy partnerskie).	4,2%
Certyfikacja środowiskowa i przestrzeganie norm (np. ISO 14001, EMAS, monitorowanie śladu węglowego).	46,3%
Inwestycje w innowacyjne technologie OZE o mniejszym wpływie na środowisko (np. panele fotowoltaiczne nowej generacji, turbiny pionowej osi obrotu).	3,2%
Projektowanie farm OZE tak, aby minimalizować wpływ na krajobraz (np. lokalizacja w miejscach mniej widocznych).	10,5%
Nie podejmujemy żadnych działań w tym zakresie.	36,7%

Źródło: opracowanie własne

Ankietowani przyznawali najczęściej, że wpływ inwestycji OZE na zdrowie, środowisko i społeczność lokalną nie był w ogóle uwzględniany w ich polityce zrównoważonego rozwoju (45,9%). Uwzględnianie tego wpływu jedynie w wybranych obszarach zadeklarowało 28,7% firm, co może świadczyć o ograniczonym podejściu do zagadnień zrównoważonego rozwoju. Brak systematyczności potwierdziło 10,0% respondentów, którzy wskazali, że

kwestie te były brane pod uwagę, ale nie w sposób uporządkowany. Jedynie 8,7% firm włączyło wpływ jako element stałej strategii, a tylko 6,7% realizowało działania w oparciu o konkretne cele i wskaźniki ESG. Zrealizowane analizy statystyczne wykazały istotne zróżnicowanie rozkładu odpowiedzi ze względu na okres funkcjonowania w branży OZE oraz liczbę zatrudnionych w przedsiębiorstwie (pozostałe zmienne nie wpływały istotnie na zróżnicowanie rozkładu odpowiedzi). Szczegółowe dane wraz z wyróżnieniem istotnych różnic ujęto w kolejnej tabeli 45.

Tabela 45. Ocena wpływ inwestycji OZE na zdrowie, środowisko i społeczność lokalną w polityce zrównoważonego rozwoju badanych przedsiębiorstw [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży				Liczba pracowników			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
Tak, jako element stałej strategii	8,7%	0,0%	24,3%	6,9%	2,5%	4,7%	6,6%	11,8%	50,0%
Tak, w oparciu o wyznaczone cele i wskaźniki ESG	6,7%	0,0%	16,2%	10,3%	1,3%	6,3%	6,6%	5,9%	12,5%
Tak, ale nie w sposób systemowy	10,0%	0,0%	10,8%	13,8%	8,9%	10,9%	9,8%	11,8%	0,0%
Tylko w niektórych obszarach	28,7%	60,0%	21,6%	38,0%	26,6%	34,4%	23,0%	23,5%	37,5%
Nie uwzględniamy	45,9%	40,0%	27,1%	31,0%	60,7%	43,7%	54,0%	47,0%	0,0%

Źródło: opracowanie własne

Wyniki badań pokazały, że badane przedsiębiorstwa OZE tylko częściowo i w sposób selektywny włączały środowiskowy wymiar kosztów społecznych do swoich strategii i praktyk zarządczych. Choć ponad połowa firm deklarowała wdrożenie przynajmniej jednego elementu strategii zrównoważonego rozwoju oraz podejmowanie działań na rzecz ograniczania wpływu na środowisko, to równocześnie duża grupa podmiotów nie monitorowała kluczowych wskaźników środowiskowych, nie przeprowadzała analiz wpływu instalacji na krajobraz, a wpływ inwestycji na zdrowie, środowisko i społeczność lokalną rzadko stanowił element spójnej, mierzalnej polityki. Dominowało podejście oparte na spełnianiu wymogów formalnych i wybranych aspektach technicznych, przy ograniczonym uwzględnianiu szerszych konsekwencji środowiskowych w długim horyzoncie. A zatem pojawia się pytanie, w jakim stopniu brak kompleksowego ujęcia oddziaływań środowiskowych przekładał się na społeczne i zdrowotne koszty funkcjonowania instalacji OZE, co jest przedmiotem analizy w kolejnym podrozdziale.

6.6. ZDROWOTNO-SPOŁECZNY WYMIAR ZARZĄDZANIA KOSZTAMI SPOŁECZNYMI

Ponad połowa ankietowanych przedsiębiorstw (54,6% – suma wskazań odpowiedzi „w małym stopniu” i „zdecydowanie w małym stopniu”) zadeklarowała niski poziom zaangażowania w analizowanie wpływu działalności przedsiębiorstwa na zdrowie i dobrostan lokalnych społeczności. Znacząco rzadziej deklarowano podejście oparte na silniejszym zaangażowaniu – blisko 30% badanych wskazało duży poziom (28,7% – suma wskazań odpowiedzi „w dużym stopniu” i „zdecydowanie w dużym stopniu”). Pozostali respondenci (16,7%) nie potrafili jednoznacznie ocenić tego aspektu. Dane te pokazały zatem, że w znacznej części firm zagadnienia zdrowotne nie były traktowane priorytetowo w kontekście oddziaływania na społeczności lokalne.

Przeprowadzone testy statystyczne nie wykazały istotnego zróżnicowania odpowiedzi ze względu na następujące zmienne: rodzaj energii odnawialnej produkowanej przez przedsiębiorstwo, lokalizację instalacji, łączną moc zainstalowaną instalacji, liczbę pracowników firmy. Cechą istotnie różnicującą rozkład odpowiedzi był okres funkcjonowania w branży OZE. Odnotowano, że podmioty działające w tej branży od 2 do 5 lat istotnie częściej deklarowały, że w dużym stopniu analizowały wpływ swojej działalności na zdrowie i dobrostan lokalnych społeczności. Z kolei firmy o okresie funkcjonowania w branży przekraczającym 10 lat istotnie rzadziej wskazywały odpowiedź „w dużym stopniu” (tab. 46).

Tabela 46. Ocena analizowania wpływ działalności na zdrowie i dobrostan lokalnych społeczności przez badane przedsiębiorstwa [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat
Zdecydowanie w dużym stopniu	4,7%	0,0%	5,4%	3,4%	5,1%
W dużym stopniu	24,0%	40,0%	46,0%	31,0%	10,1%
W małym stopniu	27,3%	20,0%	18,9%	45,0%	25,3%
Zdecydowanie w małym stopniu	27,3%	40,0%	16,2%	17,2%	35,4%
Trudno powiedzieć	16,7%	0,0%	13,5%	3,4%	24,1%

Źródło: opracowanie własne

Hałas generowany przez instalacje OZE, takie jak turbiny wiatrowe czy biogazownie, był najczęściej brany pod uwagę czynnik zdrowotny – wskazało go blisko 60% ankietowanych (59,1%). Jedna trzecia badanych przedsiębiorstw (34,8%) uwzględniła jakość powietrza w sąsiedztwie instalacji, obejmująca emisje z biomasy, zapachy czy pyły. Efekty migotania światła i cienia, charakterystyczne dla turbin

wiatrowych, stanowiły czynnik zdrowotny brany pod uwagę przez jedną czwartą podmiotów (24,2%). Skutki psychospołeczne, takie jak stres czy dyskomfort mieszkańców, uwzględniło zaledwie 7,6% firm, a ograniczenie dostępu do terenów zielonych – 10,6%. Jednocześnie należy podkreślić, że ponad połowa badanych podmiotów (56,0%) przyznała, że nie uwzględniła czynników zdrowotnych związanych z funkcjonowaniem OZE. Wyniki te wskazują na deficyt w systemowym podejściu do zdrowotnych skutków funkcjonowania instalacji OZE (tab. 47).

Tabela 47. Czynniki zdrowotne związane z funkcjonowaniem instalacji OZE brane pod uwagę w badanych przedsiębiorstwach [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem
Nie uwzględniamy czynników zdrowotnych	56,0%
Podmioty, które uwzględniają czynniki zdrowotne:	44,0%
Hałas generowany przez instalacje OZE (np. turbiny wiatrowe, biogazownie)	59,1%
Jakość powietrza w pobliżu instalacji (np. emisje z biomasy, pyły, zapachy z biogazowni)	34,8%
Efekty migotania światła/cienia (cienie turbin wiatrowych)	24,2%
Stres i dyskomfort mieszkańców związany z bliskością inwestycji OZE	7,6%
Ograniczenie dostępu do terenów rekreacyjnych i zielonych obszarów	10,6%

Źródło: opracowanie własne

Respondenci przyznawali często (44,0%), że reprezentowane przez nich przedsiębiorstwa nie uwzględniały potencjalnych skutków zdrowotnych przy planowaniu nowych inwestycji w odnawialne źródła energii, co koresponduje z ich odpowiedziami dotyczącymi uwzględniania w swojej aktualnej działalności czynników zdrowotnych związanych z funkcjonowaniem OZE.

Tym samym potencjalne skutki zdrowotne uwzględniane były przez ponad połowę ankietowanych (56,0%), przy czym jedna trzecia respondentów (36,7%) brała je pod uwagę wyłącznie w sytuacjach, gdy wymagały tego regulacje prawne. Częściową analizę wpływu na zdrowie, bez formalnych procedur, prowadziło 7,3% przedsiębiorstw. Tylko 6,7% traktowało aspekty zdrowotne jako element standardowej oceny inwestycji, a jedynie 5,3% posiadało własne procedury lub narzędzia do systematycznej oceny wpływu inwestycji na zdrowie ludzi. Wyniki te wskazują, że tylko niewielka część firm podejmowała świadome i zorganizowane działania w tym obszarze, co może osłabiać społeczny wymiar transformacji energetycznej (tab. 48).

Przeprowadzone testy statystyczne nie wykazały istotnego zróżnicowania odpowiedzi ze względu na następujące zmienne: okres funkcjonowania w branży OZE, lokalizację instalacji, łączną moc zainstalowaną instalacji, liczbę pracowników firmy. Cechą istotnie różnicującą rozkład odpowiedzi był rodzaj produkowanej energii odnawialnej. Analizy wykazały, że firmy wytwarzające energię z biomasy istotnie częściej od pozostałych wskazywały, że posiadały własne procedury lub narzędzia do systematycznej oceny wpływu inwestycji OZE na zdrowie ludzi.

Tabela 48. Potencjalne skutki zdrowotne uwzględniane przez badane przedsiębiorstwa przy planowaniu nowych inwestycji w odnawialne źródła energii [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem	Rodzaj produkowanej energii odnawialnej				
		Energetyka wiatrowa	Fotowoltaika	Biomasa	Energia wodna	Biogaz
Aspekty zdrowotne są częścią standardowej oceny inwestycji OZE	6,7%	3,1%	5,3%	0,0%	0,0%	21,1%
Posiadamy własne procedury lub narzędzia do systematycznej oceny wpływu inwestycji OZE na zdrowie ludzi	5,3%	1,6%	3,9%	50,0%	11,1%	15,8%
Częściowo analizujemy wpływ na zdrowie, ale bez formalnych procedur	7,3%	7,8%	9,2%	25,0%	11,1%	5,3%
Uwzględniamy je jedynie w przypadkach wymaganych przepisami prawa	36,7%	34,4%	42,1%	25,0%	11,1%	26,3%
Nie uwzględniamy aspektów zdrowotnych	44,0%	53,1%	39,5%	0,0%	66,7%	31,5%

Źródło: opracowanie własne

Z deklaracji respondentów wynikało, że instalacje odnawialnych źródeł energii lokalizowane były na gruntach rolnych – wskazało je blisko 60% ankietowanych (58,7%). Tereny zdegradowane lub nieużytki były wykorzystywane jako lokalizacja dla 21,3% instalacji, a obszary przemysłowe i infrastrukturalne – dla 14,0%. Tylko 8,7% instalacji powstało na terenach wcześniej mieszkalnych lub zurbanizowanych. Niewielki udział, na poziomie 1,3%, miały lokalizacje w obrębie terenów leśnych. Co istotne, żaden z respondentów nie wskazał, ażeby instalacja powstała na terenie wykorzystywanym uprzednio do celów związanych z turystyką i rekreacją ani też na terenie infrastruktury transportowej (tab. 49).

Z testów statystycznych wynika, że zmienne metryczkowe różnicowały istotnie rozkład odpowiedzi respondentów na analizowane pytanie. Firmy, które posiadały instalacje OZE zarówno w kraju, jak i zagranicą, istotnie częściej wskazywały, że instalacje te zlokalizowane były w obrębie terenów leśnych. Przedsiębiorstwa działające w branży ponad 10 lat istotnie częściej wskazywały tereny rolnicze, podczas gdy obszary mieszkalne lub zurbanizowane oraz tereny zdegradowane lub nieużytki istotnie częściej wskazywane były przez podmioty funkcjonujące w branży w okresie od 2-5 lat. Małe przedsiębiorstwa istotnie częściej wskazywały na tereny rolnicze, natomiast duże podmioty istotnie częściej deklarowały, że instalacje ulokowano na terenach uprzednio zdegradowanych lub nieużytkach. Firmy wytwarzające energię z fotowoltaiki istotnie częściej wskazywały, że ich instalacje zlokalizowano na obszarach mieszkalnych lub zurbanizowanych. Z kolei podmioty wytwarzające energię z wiatru istotnie częściej lokowały instalacje na terenach rolniczych. Pełne dane zawiera poniższa tabela 49.

Tabela 49. Wcześniejszy sposób wykorzystywania terenu, na którym obecnie znajduje się instalacja OZE badanych [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży				Liczba pracowników			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
Rolnictwo	58,7%	40,0%	24,3%	51,7%	78,5%	81,2%	44,3%	47,1%	12,5%
Leśnictwo	1,3%	0,0%	2,7%	3,4%	0,0%	0,0%	3,3%	0,0%	0,0%
Przemysł i infrastruktura	14,0%	20,0%	13,5%	13,8%	13,9%	7,8%	18,0%	17,6%	25,0%
Obszary mieszkalne lub zurbanizowane	8,7%	0,0%	24,3%	6,9%	2,5%	9,4%	11,5%	0,0%	0,0%
Tereny zdegradowane lub nieużytki	21,3%	40,0%	43,2%	34,5%	5,1%	4,7%	29,5%	35,3%	62,5%
Wyszczególnienie	Rodzaj produkowanej energii odnawialnej					Łączna moc zainstalowana			
	Energia wiatrowa	Fotowoltaika	Biomasa	Energia wodna	Biogaz	do 1 MW	1-5 MW	6-10 MW	Ponad 10 MW
Rolnictwo	85,9%	47,4%	25,0%	55,6%	47,4%	38,8%	64,1%	69,2%	79,2%
Leśnictwo	0,0%	2,6%	0,0%	0,0%	0,0%	2,0%	0,0%	0,0%	4,2%
Przemysł i infrastruktura	0,0%	19,7%	50,0%	22,2%	26,3%	4,1%	18,8%	23,1%	16,7%
Obszary mieszkalne lub zurbanizowane	0,0%	15,8%	25,0%	0,0%	5,3%	10,2%	9,4%	7,7%	4,2%
Tereny zdegradowane lub nieużytki	14,1%	21,1%	25,0%	22,2%	26,3%	46,9%	9,4%	7,7%	8,3%

Źródło: opracowanie własne

Żadne z przedsiębiorstw nie przeprowadziło analizy kosztów alternatywnych związanych z utratą potencjalnych dochodów z innych form zagospodarowania terenu. Zdecydowana większość badanych przedsiębiorstw, bo aż 93,3%, nie planowała działań kompensacyjnych ani rekultywacyjnych po zakończeniu eksploatacji instalacji OZE (tab. 50). Jedynie 6,7% firm zadeklarowało takie zamiary. Deklarowane koszty tych działań były zróżnicowane, jednak ze względu na brak danych o wartości całkowitej inwestycji oraz skali projektów nie jest możliwa ich pogłębiona interpretacja w ujęciu porównawczym.

Tabela 50. Planowanie działań kompensacyjnych lub rekultywacyjnych po zakończeniu eksploatacji instalacji [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem
Nie	93,3%
Tak	6,7%
50 000 zł	50,0%
60 000 zł	10,0%
70 000 zł	10,0%

Wyszczególnienie	Ogółem
80 000 zł	10,0%
100 000 zł	20,0%

Źródło: opracowanie własne

Ponad połowa badanych przedsiębiorstw (53,9%) lokalizowała swoje instalacje w odległości 300-1 000 metrów od zabudowań mieszkalnych (odpowiednio: 28,6% ankietowanych wskazało przedział od 500-1 000 m, a 25,3% – przedział od 300–500 m). Mniejszy odsetek firm (14,7%) deklarował odległość 100–300 m, natomiast tylko 0,7% lokalizowało instalacje bliżej niż 100 metrów. Tylko 2,7% przedsiębiorstw wskazało, że ich elektrownie były oddalone od zabudowań o ponad 2 000 metrów. Instalacje w obrębie zabudowań (np. na dachach) lokalizowało 6,7% badanych podmiotów. Co dziesiąty respondent (10,0%) nie potrafił oszacować odległości. Przeprowadzone testy statystyczne wykazały istotne zróżnicowanie rozkładu odpowiedzi w zależności od zmiennych – dane w tym zakresie przedstawiono w tabeli 51.

Tabela 51. Minimalna odległość elektrowni od zabudowań mieszkalnych [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży				Liczba pracowników			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
Instalacje w obrębie zabudowań (np. dachy budynków)	6,7%	0,0%	13,5%	10,3%	2,5%	4,7%	6,6%	11,8%	12,5%
Do 100 m	0,7%	0,0%	2,7%	0,0%	0,0%	0,0%	1,6%	0,0%	0,0%
100 – 300 m	14,7%	20,0%	21,6%	6,9%	13,9%	10,9%	19,7%	5,9%	25,0%
300 – 500 m	25,3%	40,0%	10,8%	6,9%	38,0%	21,9%	29,5%	23,5%	25,0%
500 – 1 000 m	28,6%	20,0%	29,8%	55,3%	19,0%	45,3%	14,8%	29,4%	0,0%
1 000 – 2 000 m	11,3%	20,0%	16,2%	17,2%	6,3%	10,9%	9,8%	11,8%	25,0%
Powyżej 2 000 m (np. duże farmy OZE lokalizowane w odległości minimalizującej wpływ na mieszkańców)	2,7%	0,0%	0,0%	0,0%	5,1%	0,0%	4,9%	0,0%	12,5%
Nie wiem / brak dokładnych danych	10,0%	0,0%	5,4%	3,4%	15,2%	6,3%	13,1%	17,6%	0,0%
Wyszczególnienie	Rodzaj produkowanej energii odnawialnej					Łączna moc zainstalowana			
	Energetyka wiatrowa	Fotowoltaika	Biomasa	Energia wodna	Biogaz	do 1 MW	1-5 MW	6-10 MW	Ponad 10 MW

Instalacje w obrębie zabudowań (np. dachy budynków)	0,0%	13,2%	0,0%	0,0%	0,0%	10,2%	6,3%	0,0%	4,2%
Do 100 m	0,0%	1,3%	0,0%	0,0%	0,0%	2,0%	0,0%	0,0%	0,0%
100 – 300 m	15,6%	13,2%	0,0%	11,1%	10,5%	32,8%	6,3%	15,4%	0,0%
300 – 500 m	34,4%	18,4%	0,0%	55,6%	21,1%	20,4%	28,1%	23,1%	29,1%
500 – 1 000 m	32,8%	26,3%	25,0%	0,0%	36,8%	22,4%	34,3%	46,1%	16,7%
1 000 – 2 000 m	3,1%	17,1%	50,0%	22,2%	21,1%	12,2%	10,9%	7,7%	12,5%
Powyżej 2 000 m (np. duże farmy OZE lokalizowane w odległości minimalizującej wpływ na mieszkańców)	4,7%	1,3%	0,0%	11,1%	0,0%	0,0%	1,6%	0,0%	12,5%
Nie wiem / brak dokładnych danych	9,4%	9,2%	25,0%	0,0%	10,5%	0,0%	12,5%	7,7%	25,0%

Źródło: opracowanie własne

W przeważającej większości badane przedsiębiorstwa nie doświadczyły znaczących skutków kosztów społecznych – 99,3% wskazało, że tego rodzaju sytuacje nie wystąpiły. Jedynie 0,7% respondentów przyznało, że społeczny sprzeciw doprowadził do opóźnienia w realizacji projektu.

Respondentów poproszono o wskazanie działań kompensacyjnych, jakie podejmowały reprezentowane przez nich przedsiębiorstwa w celu minimalizacji wpływu na zdrowie i życie społeczności. Takie działania podejmowane były w 67,3% ankietowanych firm. Brak jakichkolwiek działań w zakresie ograniczania kosztów społecznych zadeklarowało 32,7% firm, co oznacza, że blisko co trzecie przedsiębiorstwo nie podejmowało żadnych inicjatyw w tym obszarze. Wyniki wskazały, że choć część firm podejmowała określone działania na rzecz minimalizacji społecznych skutków inwestycji OZE, to jednak systemowe podejście do problemu nie było powszechne.

W podmiotach objętych badaniem najczęściej podejmowane były działania ograniczające negatywny wpływ inwestycji OZE na zdrowie mieszkańców (47,3%), jak i działania związane z komunikacją i relacjami społecznymi (41,3%). W co czwartej firmie (26,7%) podejmowane były działania technologiczne i operacyjne, natomiast w 13,3% podmiotów – działania związane z edukacją i promocją OZE (tab. 52).

Tabela 52. Działania kompensacyjne podejmowane przez badane przedsiębiorstwa w celu minimalizacji wpływu na zdrowie i życie społeczności [N = 150]

Wyszczególnienie	Odsetek
Działania ograniczające negatywny wpływ inwestycji OZE na zdrowie mieszkańców	47,3%
Działania związane z komunikacją i relacjami społecznymi	41,3%
Działania technologiczne i operacyjne	26,7%
Działania związane z edukacją i promocją OZE	13,3%

Źródło: opracowanie własne

Działania ograniczające negatywny wpływ inwestycji OZE na zdrowie mieszkańców

Najczęściej podejmowanym działaniem w tej kategorii było stosowanie technologii redukujących hałas – tę odpowiedź wskazał co trzeci respondent (34,7%). Niemal co czwarte badane przedsiębiorstwo (26,7%) monitorowało jakość powietrza i emisji związanych z eksploatacją instalacji, a 21,8% firm minimalizowało efekt migotania światła. Zdecydowanie rzadziej stosowane były akcje informacyjne dotyczące wpływu inwestycji na zdrowie mieszkańców – wskazało je jedynie 3% respondentów. Przeprowadzone testy statystyczne wykazały istotne zróżnicowanie rozkładu odpowiedzi w zależności od rodzaju wytwarzanej energii odnawialnej. Pozostałe zmienne nie wpływały istotnie na zróżnicowanie rozkładu odpowiedzi. Szczegółowe dane zaprezentowano w tabeli 53.

Tabela 53. Działania ograniczające negatywny wpływ inwestycji OZE na zdrowie mieszkańców [N = 101]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży				Liczba pracowników			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
Stosowanie technologii redukujących hałas (np. izolacja akustyczna, cichsze turbiny wiatrowe)	34,7%	0,0%	25,0%	25,0%	46,9%	38,3%	36,1%	30,0%	12,5%
Minimalizacja efektu migotania światła (np. odpowiednie ustawienie paneli fotowoltaicznych)	21,8%	50,0%	21,4%	40,0%	12,2%	25,5%	16,7%	30,0%	12,5%
Monitoring jakości powietrza i emisji związanych z eksploatacją instalacji	26,7%	0,0%	42,9%	30,0%	18,4%	25,5%	25,0%	10,0%	62,5%
Akcje informacyjne wyjaśniające rzeczywisty wpływ na zdrowie	3,0%	0,0%	0,0%	0,0%	6,1%	2,1%	5,6%	0,0%	0,0%
Wyszczególnienie	Rodzaj produkowanej energii odnawialnej					Łączna moc zainstalowana			
	Energetyka wiatrowa	Fotowoltaika	Biomasa	Energia wodna	Biogaz	do 1 MW	1-5 MW	6-10 MW	Ponad 10 MW
Stosowanie technologii redukujących hałas (np. izolacja akustyczna, cichsze turbiny wiatrowe)	57,9%	22,8%	50,0%	33,3%	42,9%	25,0%	36,7%	33,3%	46,7%
Minimalizacja efektu migotania światła (np. odpowiednie ustawienie paneli fotowoltaicznych)	10,5%	33,3%	0,0%	16,7%	7,1%	17,9%	24,5%	22,2%	20,0%

Monitoring jakości powietrza i emisji związanych z eksploatacją instalacji	13,2%	21,1%	75,0%	33,3%	64,3%	35,7%	22,4%	22,2%	26,7%
Akcje informacyjne wyjaśniające rzeczywisty wpływ na zdrowie	0,0%	1,8%	0,0%	0,0%	21,4%	0,0%	4,1%	0,0%	6,7%

Źródło: opracowanie własne

Działania związane z komunikacją i relacjami społecznymi

Najczęściej stosowaną praktyką w tym obszarze były konsultacje społeczne prowadzone przed rozpoczęciem inwestycji, realizowane przez 42,6% firm. Inne formy budowania relacji ze społecznością lokalną, takie jak tworzenie lokalnych grup doradczych (8,9%), przejrzysta polityka informacyjna (7,9%) czy programy społeczne (6,9%) były podejmowane znacznie rzadziej. Zatrudnianie lokalnych pracowników w fazie budowy lub eksploatacji wskazało jedynie 2% badanych. Przeprowadzone testy statystyczne wykazały istotne zróżnicowanie rozkładu odpowiedzi w zależności od zmiennych – dane w tym zakresie przedstawiono w tabeli 54.

Tabela 54. Działania związane z komunikacją i relacjami społecznymi [N = 101]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży				Liczba pracowników			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
Konsultacje społeczne przed rozpoczęciem inwestycji	42,6%	50,0%	25,0%	40,0%	53,1%	55,3%	41,7%	20,0%	0,0%
Tworzenie lokalnych grup doradczych składających się z mieszkańców i interesariuszy	8,9%	0,0%	21,4%	5,0%	4,1%	17,0%	2,8%	0,0%	0,0%
Zatrudnianie lokalnych pracowników w fazie budowy i eksploatacji OZE	2,0%	0,0%	0,0%	0,0%	4,1%	4,3%	0,0%	0,0%	0,0%
Programy społeczne dla mieszkańców	6,9%	25,0%	7,1%	15,0%	2,0%	8,5%	8,3%	0,0%	0,0%
Przejrzysta polityka informacyjna (udostępnianie raportów, wyników badań o wpływie na środowisko i ludzi)	7,9%	0,0%	7,1%	5,0%	10,2%	4,3%	8,3%	10,0%	25,0%
Wyszczególnienie	Rodzaj produkowanej energii					Łączna moc zainstalowana			
	Energetyka wiatrowa	Fotowoltaika	Biomasa	Energia wodna	Biogaz	do 1 MW	1-5 MW	6-10 MW	Ponad 10 MW
Konsultacje społeczne przed rozpoczęciem inwestycji	57,9%	38,6%	0,0%	66,7%	21,4%	35,7%	55,1%	33,3%	20,0%

Tworzenie lokalnych grup doradczych składających się z mieszkańców i interesariuszy	5,3%	10,5%	25,0%	16,7%	7,1%	7,1%	12,2%	0,0%	6,7%
Zatrudnianie lokalnych pracowników w fazie budowy i eksploatacji OZE	5,3%	0,0%	0,0%	16,7%	0,0%	3,6%	0,0%	0,0%	6,7%
Programy społeczne dla mieszkańców	7,9%	7,0%	25,0%	16,7%	14,3%	10,7%	6,1%	11,1%	0,0%
Przejrzysta polityka informacyjna (udostępnianie raportów, wyników badań o wpływie na środowisko i ludzi)	2,6%	5,3%	0,0%	0,0%	35,7%	10,7%	8,2%	0,0%	6,7%

Źródło: opracowanie własne

Działania technologiczne i operacyjne

W zakresie rozwiązań technicznych, prawie co piąta firma (18,8%) deklarowała optymalizację procesów budowy i eksploatacji w celu ograniczenia uciążliwości inwestycji (emisji CO₂, hałasu). Nowoczesne technologie redukujące wpływ instalacji na otoczenie stosował niewiele mniejszy odsetek badanych podmiotów (16,8%). Recykling zużytych komponentów OZE deklarowało 7,9% firm, a wykorzystanie nowoczesnych metod magazynowania energii – 8,9% firm. Przeprowadzone testy statystyczne wykazały istotne zróżnicowanie rozkładu odpowiedzi w zależności od zmiennych: okresu funkcjonowania w branży, liczby osób zatrudnionych oraz łącznej mocy zainstalowanej. Natomiast rodzaj wytwarzanej energii nie wpływał istotnie na rozkład odpowiedzi. Szczegółowe dane w tym zakresie przedstawiono w tabeli 55.

Tabela 55. Działania technologiczne i operacyjne [N = 101]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży				Liczba pracowników			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
Wykorzystanie nowoczesnych technologii, które zmniejszają negatywny wpływ na otoczenie	16,8%	0,0%	21,4%	5,0%	20,4%	10,6%	27,8%	10,0%	12,5%
Optymalizacja procesów budowy i eksploatacji w celu zmniejszenia emisji CO ₂ i hałasu	18,8%	0,0%	25,0%	15,0%	18,4%	19,1%	19,4%	20,0%	12,5%
Recykling zużytych komponentów OZE	7,9%	0,0%	3,6%	0,0%	14,3%	8,5%	8,3%	0,0%	12,5%
Zastosowanie nowoczesnych metod magazynowania energii, aby zmniejszyć wahania w dostawie prądu	8,9%	0,0%	21,4%	10,0%	2,0%	2,1%	5,6%	20,0%	50,0%
Wyszczególnienie	Rodzaj produkowanej energii	Łączna moc zainstalowana							
	odnawialnej								

	Energetyka wiatrowa	Fotowoltaika	Biomasa	Energia wodna	Biogaz	do 1 MW	1-5 MW	6-10 MW	Ponad 10 MW
Wykorzystanie nowoczesnych technologii, które zmniejszają negatywny wpływ na otoczenie	15,8%	17,5%	25,0%	50,0%	21,4%	10,7%	18,4%	11,1%	26,7%
Optymalizacja procesów budowy i eksploatacji w celu zmniejszenia emisji CO ₂ i hałasu	15,8%	17,5%	25,0%	33,3%	28,6%	7,1%	20,4%	11,1%	40,0%
Recykling zużytych komponentów OZE	5,3%	5,3%	0,0%	33,3%	21,4%	3,6%	6,1%	0,0%	26,7%
Zastosowanie nowoczesnych metod magazynowania energii, aby zmniejszyć wahania w dostawie prądu	2,6%	14,0%	0,0%	16,7%	0,0%	14,3%	4,1%	11,1%	13,3%

Źródło: opracowanie własne

Działania związane z edukacją i promocją OZE

Działania edukacyjne i promujące odnawialne źródła energii były najmniej rozpowszechnione. Kampanie informacyjne mające na celu obalanie mitów na temat OZE prowadziło 11,9% firm, dni otwarte w elektrowniach organizowało 5,9% podmiotów, a warsztaty edukacyjne dla społeczności lokalnej – 4,0%. Współpracę z uczelniami i instytutami badawczymi wskazało jedynie 2,0% przedsiębiorstw. Przeprowadzone testy statystyczne wykazały istotne zróżnicowanie rozkładu odpowiedzi w zależności od zmiennych – dane w tym zakresie przedstawiono w tabeli 56.

Tabela 56. Działania związane z edukacją i promocją OZE [N = 101]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży				Liczba pracowników			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
Prowadzenie warsztatów edukacyjnych dla lokalnej społeczności na temat korzyści OZE	4,0%	0,0%	0,0%	10,0%	4,1%	4,3%	2,8%	10,0%	0,0%
Kampanie informacyjne na temat mitów i faktów dotyczących energetyki odnawialnej	11,9%	25,0%	25,0%	5,0%	6,1%	19,1%	8,3%	0,0%	0,0%
Organizowanie dni otwartych w elektrowniach OZE dla mieszkańców i uczniów	5,9%	0,0%	14,3%	0,0%	4,1%	10,6%	2,8%	0,0%	0,0%
Współpraca z uczelniami i ośrodkami badawczymi w celu prowadzenia badań nad wpływem OZE	2,0%	25,0%	0,0%	0,0%	2,0%	0,0%	5,6%	0,0%	0,0%

Wyszczególnienie	Rodzaj produkowanej energii					Łączna moc zainstalowana			
	Energetyka wiatrowa	Fotowoltaika	Biomasa	Energia wodna	Biogaz	do 1 MW	1-5 MW	6-10 MW	Ponad 10 MW
Prowadzenie warsztatów edukacyjnych dla lokalnej społeczności na temat korzyści OZE	5,3%	1,8%	0,0%	16,7%	7,1%	3,6%	6,1%	0,0%	0,0%
Kampanie informacyjne na temat mitów i faktów dotyczących energetyki odnawialnej	5,3%	15,8%	25,0%	16,7%	14,3%	7,1%	14,3%	11,1%	13,3%
Organizowanie dni otwartych w elektrowniach OZE dla mieszkańców i uczniów	5,3%	7,0%	0,0%	16,7%	0,0%	7,1%	4,1%	11,1%	6,7%
Współpraca z uczelniami i ośrodkami badawczymi w celu prowadzenia badań nad wpływem OZE	2,6%	3,5%	25,0%	16,7%	7,1%	7,1%	0,0%	0,0%	0,0%

Źródło: opracowanie własne

Wyniki badań wskazały, że badane przedsiębiorstwa OZE tylko w ograniczonym stopniu traktowały społeczno-zdrowotne skutki swojej działalności jako obszar wymagający systemowego zarządzania. Ponad połowa firm nie analizowała w sposób pogłębiony wpływu instalacji na zdrowie i dobrostan mieszkańców, a uwzględnianie tych kwestii przy planowaniu nowych inwestycji najczęściej ograniczało się do spełnienia wymogów prawnych. Lokalizacja instalacji głównie na terenach rolnych, często w relatywnie niewielkiej odległości od zabudowy mieszkaniowej, rzadko łączyła się z analizą kosztów alternatywnych czy planowaniem działań kompensacyjnych, choć część przedsiębiorstw podejmowała doraźne działania techniczne i komunikacyjne. Taka konfiguracja sugeruje, że społeczno-zdrowotne koszty funkcjonowania instalacji OZE mogą być niedoszacowane, co rodzi pytanie, które z tych czynników przedsiębiorstwa uznawały za najistotniejsze oraz jaką rolę przypisywały otoczeniu zewnętrznemu w ich ograniczaniu – zagadnienia te były przedmiotem analizy w kolejnym podpunkcie rozprawy.

Ocena znaczenia czynników społeczno-zdrowotnych i roli otoczenia zewnętrznego

Z badania wynika, że czynnikiem kosztu społecznego o największym wpływie na działalność badanych przedsiębiorstw były działania związane z ochroną środowiska i krajobrazu – odpowiedź tę wybrało 30,7% respondentów. Niewiele mniej firm (29,3%) jako kluczowy aspekt wskazało działania związane z rekompensatą kosztów społecznych. Na trzecim miejscu znalazły się działania technologiczne i operacyjne (25,3%), które również stanowiły istotny element zarządzania kosztami społecznymi. Znacznie rzadziej przedsiębiorstwa wskazywały działania z zakresu edukacji i promocji OZE (10,7%) oraz komunikacji i relacji społecznych (6,7%) jako mające największy wpływ na ich działalność.

Przeprowadzone testy statystyczne wykazały istotne zróżnicowanie rozkładu odpowiedzi w zależności od zmiennych – dane w tym zakresie przedstawiono w tabeli 57.

Tabela 57. Czynniki kosztu społecznego mające największy wpływ na działalność badanych przedsiębiorstw [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży				Liczba pracowników			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
Działania związane z komunikacją i relacjami społecznymi	6,7%	0,0%	5,4%	6,9%	7,6%	14,1%	1,6%	0,0%	0,0%
Działania związane z rekompensatą kosztów społecznych	29,3%	40,0%	21,6%	31,0%	31,6%	43,8%	19,7%	17,6%	12,5%
Działania związane z ochroną środowiska i krajobrazu	30,7%	20,0%	18,9%	31,0%	36,7%	23,4%	34,4%	41,2%	37,5%
Działania technologiczne i operacyjne	25,3%	40,0%	54,1%	27,6%	10,1%	10,9%	31,1%	35,3%	75,0%
Działania związane z edukacją i promocją OZE	10,7%	40,0%	13,5%	3,4%	10,1%	9,4%	14,8%	5,9%	0,0%
Wyszczególnienie	Rodzaj produkowanej energii odnawialnej					Łączna moc zainstalowana			
	Energetyka wiatrowa	Fotowoltaika	Biomasa	Energia wodna	Biogaz	do 1 MW	1-5 MW	6-10 MW	Ponad 10 MW
Działania związane z komunikacją i relacjami społecznymi	9,4%	3,9%	0,0%	11,1%	5,3%	8,2%	3,1%	23,1%	4,2%
Działania związane z rekompensatą kosztów społecznych	29,7%	32,9%	25,0%	44,4%	26,3%	16,3%	42,2%	30,8%	20,8%
Działania związane z ochroną środowiska i krajobrazu	31,3%	25,0%	50,0%	22,2%	57,9%	22,4%	29,7%	0,0%	66,7%
Działania technologiczne i operacyjne	14,1%	28,9%	75,0%	44,4%	36,8%	44,9%	10,9%	30,8%	20,8%
Działania związane z edukacją i promocją OZE	9,4%	11,8%	25,0%	22,2%	10,5%	16,3%	9,4%	7,7%	4,2%

Źródło: opracowanie własne

Jedynie 9,3% przedsiębiorstw deklarowało współpracę z administracją publiczną w zakresie minimalizacji kosztów społecznych, co świadczyło o niskim poziomie zaangażowania sektora OZE w działania instytucjonalne tego typu (tab. 58). Wśród firm, które taką współpracę prowadziły, dominowały działania z instytucjami rządowymi i unijnymi – tę formę współpracy, obejmującą m.in. aplikowanie o fundusze czy dostosowanie działań do norm środowiskowych, wskazało 71,4% respondentów. Drugą najczęściej wybieraną opcją (64,3%) była współpraca z samorządami lokalnymi, polegająca np. na wspólnym planowaniu

energetycznym czy konsultacjach lokalizacyjnych. Znacznie rzadziej przedsiębiorstwa angażowały się we współpracę w zakresie regulacji (14,3%) czy z sektorem naukowo-edukacyjnym (7,1%).

Tabela 58. Współpraca przedsiębiorstw OZE z administracją publiczną w zakresie minimalizacji kosztów społecznych [N = 150]

Wyszczególnienie	Odsetek
Tak:	9,3%
<i>Z samorządami lokalnymi</i>	64,3%
<i>Z instytucjami rządowymi/UE</i>	71,4%
<i>W zakresie regulacji</i>	14,3%
<i>Z sektorem naukowo-edukacyjnym</i>	7,1%

Źródło: opracowanie własne

Zdaniem 40,0% badanych (suma wskazań odpowiedzi „w dużym stopniu” i „zdecydowanie w dużym stopniu”), większa transparentność w zakresie ponoszonych przez przedsiębiorstwo kosztów społecznych mogła znacznie przyczynić się do większej akceptacji społecznej dla inwestycji w OZE. Przeciwnego zdania było 28,0% (suma wskazań odpowiedzi „w małym stopniu” i „zdecydowanie w małym stopniu”), natomiast 32,0% nie potrafiło ocenić potencjalnego wpływu jawności informacji na stosunek społeczności lokalnej do tego typu przedsięwzięć. Przeprowadzone testy statystyczne wykazały istotne zróżnicowanie rozkładu odpowiedzi w zależności od rodzaju wytwarzanej energii odnawialnej. Pozostałe zmienne nie wpływały istotnie na zróżnicowanie rozkładu odpowiedzi. Szczegółowe dane zaprezentowano w tabeli 59.

Tabela 59. Większa transparentność ponoszonych przez przedsiębiorstwa kosztów społecznych a poziom akceptacji społecznej inwestycji w OZE [N = 150]

Wyszczególnienie	Ogółem	Lata funkcjonowania w branży				Liczba pracowników			
		Mniej niż 2 lata	2-5 lat	6-10 lat	Ponad 10 lat	1-10	11-50	51-250	Powyżej 250
Zdecydowanie w dużym stopniu	6,0%	0,0%	10,8%	13,8%	1,3%	3,1%	6,6%	11,8%	12,5%
W dużym stopniu	34,0%	60,0%	51,4%	34,5%	24,1%	40,7%	29,5%	23,5%	37,5%
W małym stopniu	14,7%	20,0%	10,8%	20,7%	13,9%	20,3%	9,8%	5,9%	25,0%
Zdecydowanie w małym stopniu	13,3%	0,0%	2,7%	13,8%	19,0%	10,9%	16,4%	17,6%	0,0%
Trudno powiedzieć	32,0%	20,0%	24,3%	17,2%	41,7%	25,0%	37,7%	41,2%	25,0%
Wyszczególnienie	Rodzaj produkowanej energii odnawialnej					Łączna moc zainstalowana			

	Energetyka wiatrowa	Fotowoltaika	Biomasa	Energia wodna	Biogaz	do 1 MW	1-5 MW	6-10 MW	Ponad 10 MW
Zdecydowanie w dużym stopniu	4,7%	2,6%	50,0%	0,0%	21,1%	14,3%	3,1%	0,0%	0,0%
W dużym stopniu	29,7%	40,9%	0,0%	55,6%	15,8%	36,7%	34,4%	46,1%	20,8%
W małym stopniu	17,2%	10,5%	25,0%	0,0%	10,5%	14,3%	20,3%	7,7%	4,2%
Zdecydowanie w małym stopniu	10,9%	18,4%	0,0%	22,2%	0,0%	10,2%	12,5%	7,7%	25,0%
Trudno powiedzieć	37,5%	27,6%	25,0%	22,2%	52,6%	24,5%	29,7%	38,5%	50,0%

Źródło: opracowanie własne

W odpowiedziach na pytanie dotyczące oczekiwanych zmian prawnych i systemowych wspierających zarządzanie kosztami społecznymi w obszarze OZE najczęściej wskazywano na potrzebę ograniczenia biurokracji i uproszczenia procedur administracyjnych. Respondenci zwracali uwagę na nadmierny formalizm oraz skomplikowane i czasochłonne procesy związane z ubieganiem się o dotacje czy realizacją projektów inwestycyjnych. Równie często pojawiały się postulaty dotyczące zmian w przepisach prawnych, w tym uproszczenia i ujednolicenia regulacji, lepszego dopasowania prawa do praktyki inwestycyjnej, a także wprowadzenia obowiązkowych konsultacji społecznych czy oceny skutków społecznych. Wskazania dotyczące wsparcia finansowego i podatkowego pojawiały się rzadziej. Respondenci postulowali m.in. zwiększenie dotacji, wprowadzenie ulg podatkowych, rekompensat dla mieszkańców czy korzystniejszych taryf energetycznych dla społeczności lokalnych.

Zdecydowanie rzadziej zgłaszano potrzebę wzmocnienia konsultacji społecznych i partycypacji mieszkańców w procesie podejmowania decyzji inwestycyjnych, np. poprzez postulaty tworzenia lokalnych rad doradczych czy umożliwienia społecznościom udziału w zyskach. Najrzadziej pojawiały się odpowiedzi sugerujące konieczność prowadzenia działań edukacyjnych, informacyjnych lub doradczych, takich jak kampanie społeczne czy wsparcie eksperckie w zakresie zarządzania kosztami społecznymi. Jednocześnie znaczna część respondentów nie potrafiła wskazać konkretnych propozycji zmian, co może świadczyć o niskiej świadomości lub braku bezpośrednich doświadczeń z tym obszarem regulacyjnym (rys. 34).



Rys. 34. Zmiany prawne lub systemowe, które zdaniem badanych mogłyby wspierać zarządzanie kosztami społecznymi OZE – chmura słów

Źródło: opracowanie własne

Wyniki pokazały, że przedsiębiorstwa OZE widziały koszty społeczne głównie przez pryzmat ochrony środowiska, krajobrazu i ewentualnych rekompensat, natomiast znacznie rzadziej wiązały je z komunikacją, edukacją czy realnym włączaniem mieszkańców w proces decyzyjny. Współpraca z administracją publiczną oraz sektorem naukowo-edukacyjnym miała charakter incydentalny, a postulowane zmiany systemowe koncentrowały się przede wszystkim na uproszczeniu procedur i ograniczeniu biurokracji. Taki obraz zarządzania kosztami społecznymi po stronie przedsiębiorstw wymagał konfrontacji z perspektywą samych mieszkańców, co stanowiło przedmiot kolejnego rozdziału.

6.7. MODEL ZARZĄDZANIA KOSZTAMI SPOŁECZNYMI W PRZEDSIĘBIORSTWACH SEKTORA OZE

W pierwszym etapie analizy wyników oceniono zależności pomiędzy wyodrębnionymi zmiennymi modelu, aby rozpoznać ogólny układ ich wzajemnych powiązań (tabela 60).

Tabela 60. Wyniki analizy korelacji Spearmana między zmiennymi [N = 150]

Zmienna	Id.	1	2	3	4	5
Działania społeczne edukacyjne komunikacyjne i kompensacyjne	1					
Działania na rzecz środowiska	2	0.91***				
Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznym	3	-0.50***	-0.75***			

Zmienna	Id.	1	2	3	4	5
Monitoring wskaźników środowiskowych	4	-0.35***	-0.58***	0.84***		
Finansowanie i koszty rekompensat	5	0.82***	0.92***	-0.82***	-0.69***	
Zdrowotno-przestrzenne konsekwencje inwestycji	6	0.88***	0.92***	-0.71***	-0.56***	0.92***

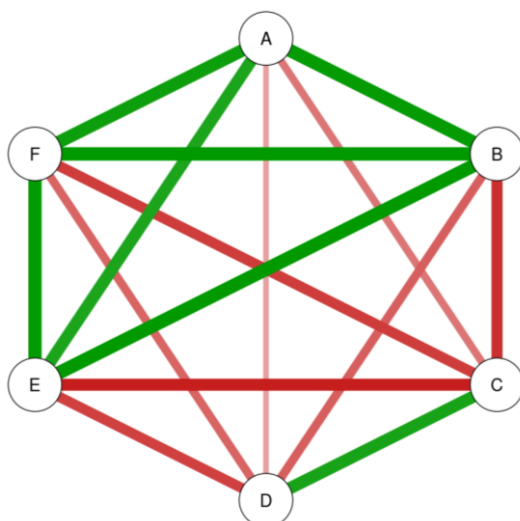
Nota: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Źródło: opracowanie własne

Analiza korelacji wskazała na wyraźnie zróżnicowany układ zależności między badanymi zmiennymi. Najsilniejsze dodatnie związki odnotowano między działaniami na rzecz środowiska a działaniami społecznymi, edukacyjnymi, komunikacyjnymi i kompensacyjnymi, a także między tymi obszarami a finansowaniem i kosztami rekompensat oraz ryzykami zdrowotno-przestrzennymi. Wzrost aktywności przedsiębiorstw w jednym z tych obszarów współwystępował zwykle z wyższym nasileniem działań lub ocen także w pozostałych powiązanych wymiarach.

Odmienny układ zależności dotyczył zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi. Zmienna ta była dodatnio związana z monitoringiem wskaźników środowiskowych, natomiast ujemnie z działaniami społecznymi, edukacyjnymi, komunikacyjnymi i kompensacyjnymi, działaniami na rzecz środowiska, finansowaniem i kosztami rekompensat oraz ryzykami zdrowotno-przestrzennymi. Wskazuje to, że poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi nie współwystępował z prostym wzrostem wszystkich badanych aktywności, lecz był powiązany bardziej selektywnym i niejednorodnym układem relacji.

Na uwagę zasługuje również dodatni związek między monitoringiem wskaźników środowiskowych a poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi oraz jednocześnie ujemne relacje monitoringu z działaniami społecznymi, działaniami na rzecz środowiska, finansowaniem i kosztami rekompensat oraz ryzykami zdrowotno-przestrzennymi. Uzyskane wyniki wskazują, że badane zmienne nie tworzą jednorodnego układu wzajemnie wzmacniających się zależności, lecz ujawniają bardziej złożoną strukturę powiązań. Graficzną wizualizację zależności przedstawiono na rysunku 35.



Rys. 35. Wizualizacja relacji między zmiennymi

Legenda

A = Działania społeczne edukacyjne komunikacyjne i kompensacyjne, B = Działania na rzecz środowiska, C = Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznym, D = Monitoring wskaźników środowiskowych, E = Finansowanie i koszty rekompensat, F = Ryzyka zdrowotno-przestrzenne

Im ciemniejszy kolor zielony = Bardziej dodatnia korelacja; Im ciemniejszy kolor czerwony = Bardziej ujemna korelacja. Rysunek bazuje na uzyskanych oszacowaniach współczynników korelacji Spearmana Analizy przeprowadzono w Systemie Zautomatyzowanego Tworzenia Opisu Statystycznego - SZTOS (Hryniewicz, Milewska, 2023). Wizualizacje wyników przeprowadzono z wykorzystaniem pakietu graficznego “ggplot2” (Wickham, 2016).

Źródło: opracowanie własne

W celu weryfikacji zależności między zmiennymi: poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi, ryzyka zdrowotno-przestrzenne oraz zakres uwzględniania potencjalnych kosztów społecznych przy planowaniu nowych inwestycji (9-I), przeprowadzono analizę korelacji rang Spearmana. Uzyskane wyniki wskazały, że wyższe ryzyka zdrowotno-przestrzenne były silnie związane z niższym poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi ($\rho(148) = -0,71$; $p < 0,001$). Jednocześnie szersze uwzględnianie potencjalnych kosztów społecznych przy planowaniu inwestycji pozostawało w silnym dodatnim związku z poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi ($\rho(148) = 0,79$; $p < 0,001$). Stwierdzono także, że większy zakres uwzględniania kosztów społecznych wiązał się z niższym poziomem ryzyk zdrowotno-przestrzennych, przy czym zależność ta miała umiarkowaną siłę ($\rho(148) = -0,44$; $p < 0,001$). Wyniki te sugerują, że przedsiębiorstwa o wyższym poziomie zaawansowania zarządzania częściej uwzględniają społeczne konsekwencje inwestycji na etapie planowania, a zarazem funkcjonują w warunkach niższego nasilenia ryzyk zdrowotno-przestrzennych (tab. 61).

Tabela 61. Korelacje Spearmana między poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi, ryzykami zdrowotno-przestrzennymi i uwzględnianiem kosztów społecznych

Zmienna	Id.	1	2
Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznym	1		
Ryzyka zdrowotno przestrzenne	2	-0.71***	
m9 W jakim zakresie Państwa przedsiębiorstwo uwzględnia potencjalne koszty społeczne np. wpływ na społeczność lokalną, zatrudnienie, zdrowie publiczne przy planowaniu nowych inwestycji	3	0.79***	-0.44***

Nota: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Źródło: opracowanie własne

W celu wyjaśnienia zmiennej „Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi” przeprowadzono analizę regresji liniowej wielorakiej. Do modelu końcowego włączono dwa predyktory: monitoring wskaźników środowiskowych oraz działania społeczne, edukacyjne, komunikacyjne i kompensacyjne. Ograniczenie liczby predyktorów wynikało z problemu współliniowości występującego w modelu obejmującym pełniejszy zestaw zmiennych. W pozostałych konfiguracjach uzyskiwano podwyższone wartości współczynnika VIF, wskazujące na silne współzależności między predyktorami, co ograniczało możliwość stabilnej i wiarygodnej interpretacji wyników regresji. Analizę przeprowadzono dla 150 obserwacji, a zmienne zostały wystandaryzowane, co ułatwiło porównywanie siły efektów. Model okazał się istotny statystycznie, $F(2, 147) = 76,19$; $p < 0,001$, i wyjaśniał 51% wariancji zmiennej zależnej ($R^2 = 0,51$; skorygowane $R^2 = 0,50$).

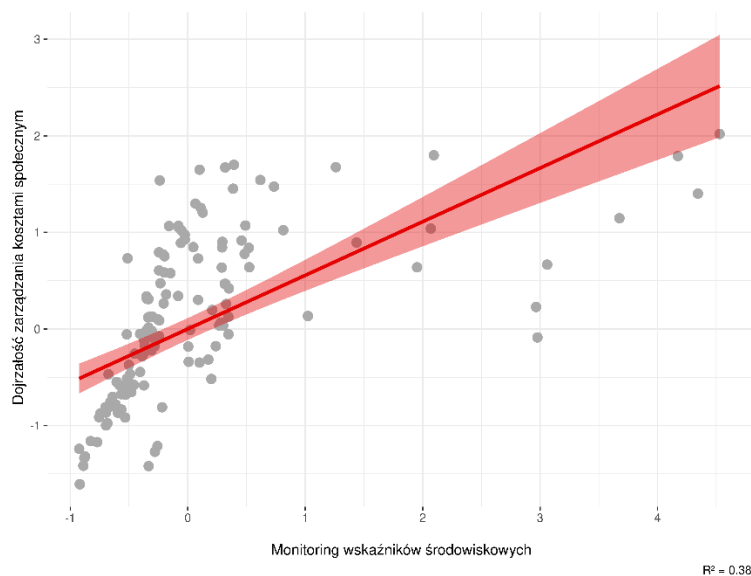
Istotnym dodatnim predyktorem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi był monitoring wskaźników środowiskowych ($\beta = 0,56$; $t = 9,56$; $p < 0,001$; 95% PU [0,44; 0,67]). Oznacza to, że wyższy poziom monitoringu współwystępował z wyższym poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi. Jednocześnie działania społeczne, edukacyjne, komunikacyjne i kompensacyjne okazały się istotnym predyktorem ujemnym ($\beta = -0,39$; $t = -6,77$; $p < 0,001$; 95% PU [-0,51; -0,28]), co wskazuje, że ich wyższy poziom współwystępował z niższym poziomem zaawansowania badanej zmiennej. Szczegółowe wyniki modelu przedstawiono w tabeli 62, a jego graficzną ilustrację na rysunkach 36-38.

Tabela 62. Wyniki analizy regresji liniowej wielorakiej dla zmiennej „Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi” [N = 150]

Zmienne w modelu	B	s.e.	t	DPUI	GPU1	p	β	DPU2	GPU2
Stała	0.00	0.06	0.00	-0.11	0.11	1.000	NA	NA	NA
Monitoring wskaźników środowiskowych	0.56	0.06	9.56	0.44	0.67	< 0.001	0.56	0.44	0.67
Działania społeczne edukacyjne komunikacyjne i kompensacyjne	-0.39	0.06	-6.77	-0.51	-0.28	< 0.001	-0.39	-0.51	-0.28

Nota: B = Niestandaryzowany współczynnik regresji; s.e. = błąd standardowy dla B; t = Statystyka t studenta; DPU = Dolny przedział ufności; GPU = Górny przedział ufności; DPUI / GPU1 = 95% przedziały ufności dla B; p = Istotność statystyczna; β = Standaryzowany współczynnik regresji; DPU2 / GPU2 = 95% przedziały ufności dla β ; NA = Brak oszacowań standaryzowanych dla współczynnika stałej modelu regresji.

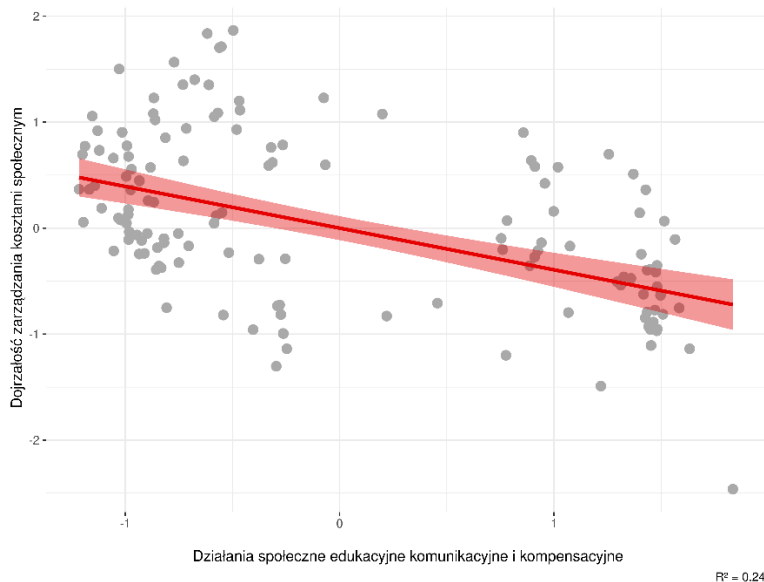
Źródło: opracowanie własne



Rys. 36. Zależność między monitoringiem wskaźników środowiskowych a poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi

Nota: Ciągła linia - oznacza istotny wpływ predyktora

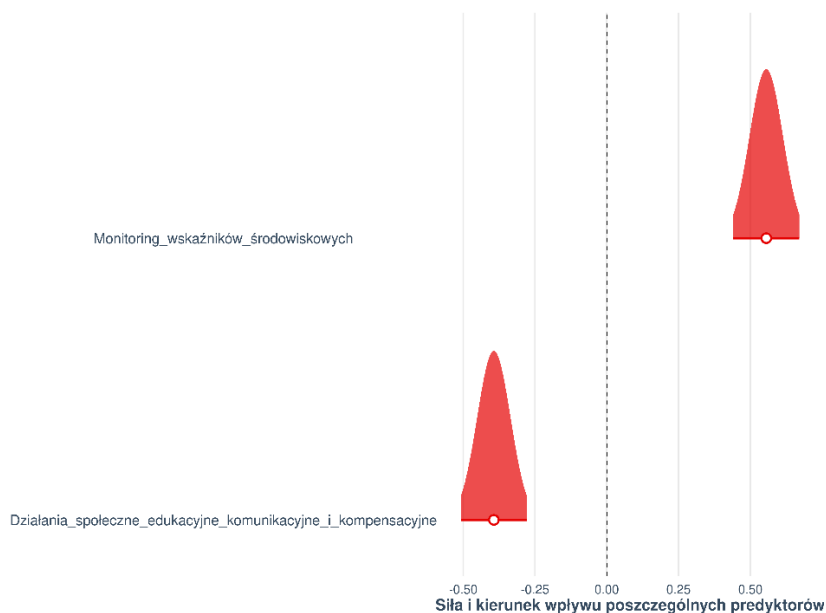
Źródło: opracowanie własne



Rys. 37. Zależność między działaniami społecznymi, edukacyjnymi, komunikacyjnymi i kompensacyjnymi a poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznym

Nota: Ciągła linia - oznacza istotny wpływ predyktora.

Źródło: opracowanie własne



Rys. 38. Standaryzowane współczynniki regresji dla predyktorów poziomu zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi

Nota: Punkty oznaczają standaryzowane współczynniki regresji (β), a czerwone pola przedstawiają 95% przedziały ufności. Linia przerywana oznacza brak efektu ($\beta = 0$).

Źródło: opracowanie własne

Założenie dotyczące założenia o normalności zmiennych w modelu

W celu oceny normalności rozkładów zmiennych: poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi, monitoring wskaźników środowiskowych oraz działania społeczne, edukacyjne, komunikacyjne i kompensacyjne, przeprowadzono analizę z wykorzystaniem testu Shapiro–Wilka oraz testu Kołmogorowa–Smirnowa z poprawką Lillieforsa. Wyniki obu testów wskazały, że rozkłady wszystkich trzech zmiennych odbiegały istotnie od rozkładu normalnego. W teście Shapiro–Wilka uzyskano następujące wartości: dla zmiennej poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi $SW = 0,96$; $p < 0,001$, dla monitoringu wskaźników środowiskowych $SW = 0,70$; $p < 0,001$, natomiast dla działań społecznych, edukacyjnych, komunikacyjnych i kompensacyjnych $SW = 0,84$; $p < 0,001$. Z kolei w teście Kołmogorowa–Smirnowa z poprawką Lillieforsa uzyskano odpowiednio: $KS = 0,10$; $p = 0,003$, $KS = 0,21$; $p < 0,001$ oraz $KS = 0,19$; $p < 0,001$. W przypadku każdej z analizowanych zmiennych założenie normalności rozkładu nie zostało spełnione. Omawiane wyniki przedstawia tabela 63.

Założenie dotyczące współliniowości predyktorów w modelu

Analiza współczynników współliniowości VIF wykazała, że zmienna Monitoring wskaźników środowiskowych nie jest współliniowa $VIF = 1.01$, Działania społeczne edukacyjne komunikacyjne i kompensacyjne nie jest współliniowa $VIF = 1.01$. Omawiane wyniki przedstawia tabela 63.

Założenie dotyczące o normalności reszt w modelu

W celu weryfikacji założenia dotyczącego rozkładu normalności wartości resztowych testowanego modelu przeprowadzono Kolmogorova - Smirnova z poprawką Lilieforce'a (test dedykowany dla wielkości próbki $N > 50$). Analiza testem Kolmogorova Smirnova z poprawką Lilieforce'a wykazała, że rozkład wyników reszt testowanego modelu regresji był statystycznie podobny do teoretycznego rozkładu normalnego $KS = 0.06$; $p = 0.283$. Oceny wzrokowej normalności rozkładu reszt można dokonać analizując wzorce wyników na rys. 39-40.

Założenie dotyczące homoskedastyczności wariancji reszt

W celu weryfikacji założenia dotyczącego homoskedastyczności wariancji przeprowadzono analizę testem Breusha - Pagana. Analiza jego wyników wykazała, że wariancja reszt była różna i wskazuje to na brak spełnienia założenia o homoskedastyczności wariancji (reszty w testowanym modelu malały lub wzrastały wraz ze wzrostem wyników przewidywanej zmiennej), $\chi^2 = 4.22$; $p = 0.040$. Wyniki tego założenia przedstawia rys. 42.

Przewidywanie i rozkład wyników przewidywanej zmiennej poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznym

Relację między rzeczywistymi wartościami zmiennej Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznym, a wartościami przewidywanymi przez testowany model przedstawia Rysunek nr 43. Rozkład wyników zmiennej Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznym przewidywanych przez model przedstawia rysunek nr 6.

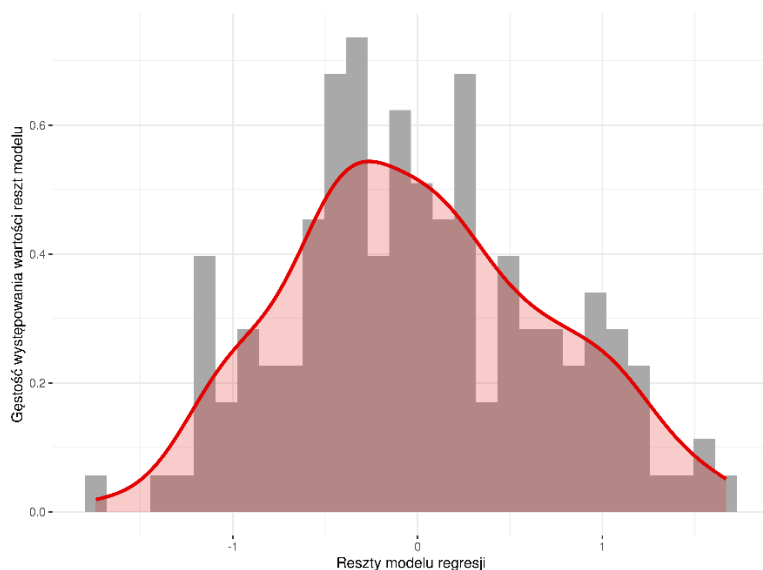
Tabela 63. Diagnoza normalności rozkładów zmiennych w modelu oraz analiza współliniowości predyktorów

Zmienne	<i>KS</i>	<i>p</i> dla <i>K</i> <i>S</i>	<i>SW</i>	<i>p</i> dla <i>S</i> <i>W</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>s.e.</i>	<i>MIN</i>	<i>MAX</i>	<i>VIF</i>	Interpretacja <i>VIF</i>
Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznym	0.10	0.003	0.96	< 0.001	0.00	1.00	0.08	-1.56	2.05	NA	NA
Monitoring wskaźników środowiskowych	0.21	< 0.001	0.70	< 0.001	0.00	1.00	0.08	-0.90	4.41	1.01	Zmienna nie jest współliniowa
Działania społeczne edukacyjne i kompensacyjne	0.19	< 0.001	0.84	< 0.001	0.00	1.00	0.08	-1.26	1.57	1.01	Zmienna nie jest współliniowa

Nota: Wyniki testu *KS* (Kolmogorov - Smirnov z poprawką Liliefors'a) i *SW* (Shapiro - Wilk), których $p < 0.05$ dla danej zmiennej, wskazują na istotną różnicę między rozkładem wyników obserwowanych w próbie danych a teoretycznym rozkładem normalnym: NA = Współczynnik VIF nie jest wyliczany dla zmiennej Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznym ze względu na to, że Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznym jest zmienną wyjaśnianą przez model.

Źródło: opracowanie własne

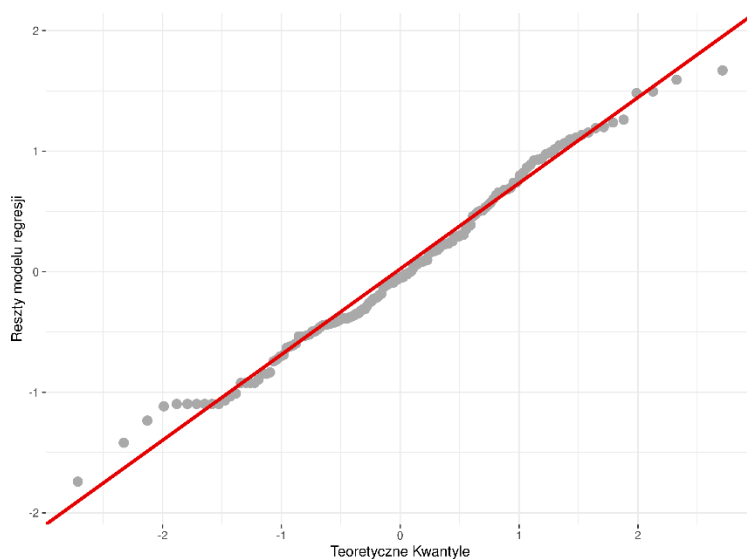
Graficzne podsumowanie diagnozy modelu regresji



Rys. 39. Rozkład składnika losowego (reszt) modelu regresji

Nota: Rozkład wyników podobny do dzwonu wskazuje na podobieństwo do teoretycznego rozkładu normalnego.

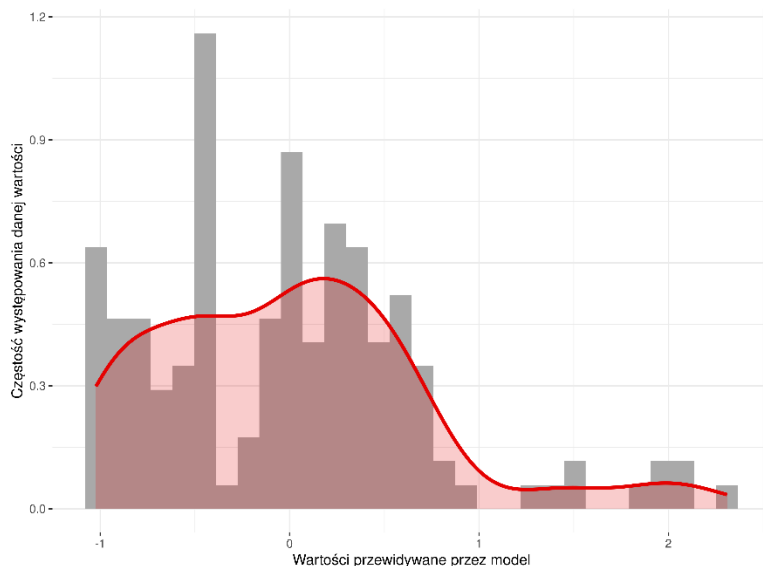
Źródło: opracowanie własne



Rys. 40. Rozkład składnika losowego (reszt) modelu regresji - TYP QQ

Nota: Normalność składnika losowego modelu regresji (reszt) zachodzi, gdy wartości obserwacji są położone blisko przekątnej linii

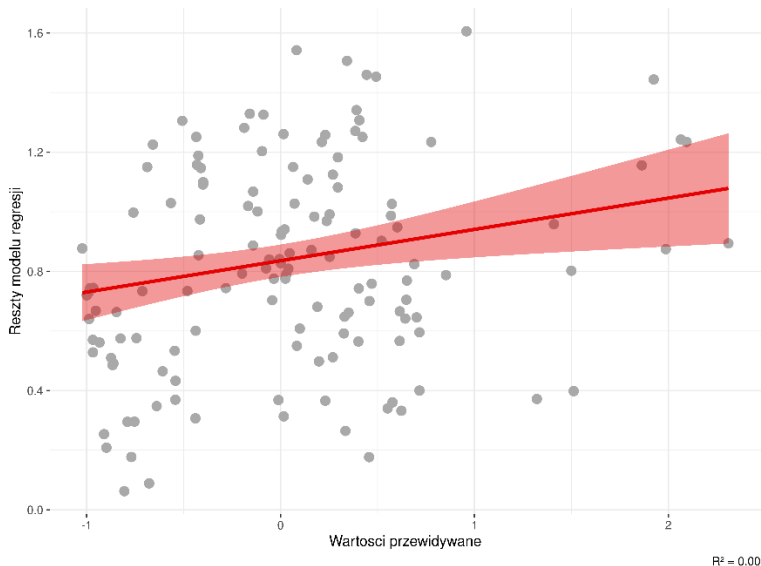
Źródło: opracowanie własne



Rys. 41. Rozkład przewidywanych przez model wartości zmiennej Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznym

Nota: Rozkład wyników wartości przewidywanych podobny do dzwonu, wskazuje na podobieństwo do teoretycznego rozkładu normalnego.

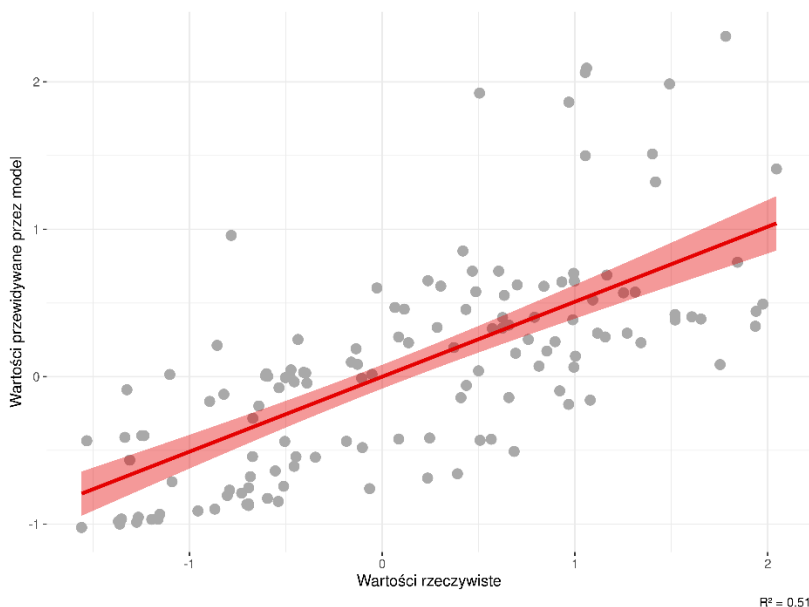
Źródło: opracowanie własne



Rys. 42. Równość wariancji składnika losowego modelu regresji

Nota: Równość wariancji składnika losowego modelu regresji zachodzi, gdy na całej długości wartości przewidywanych przez model występuje podobna zmienność reszt modelu.

Źródło: opracowanie własne



Rys. 43. Relacja między wartościami rzeczywistymi (z próby) a wartościami przewidzianymi przez model

Nota: Modelowy wykres relacji wartości rzeczywistych (z próby) z wartościami przewidywanymi, powinien ukazywać pozytywną relację między zmiennymi. Im większa siła korelacji między obiema zmiennymi, a także mniejsze odchylenia obserwacji od linii regresji, tym model predyktorów Monitoring wskaźników środowiskowych, Działania społeczne edukacyjne komunikacyjne i kompensacyjne lepiej przewiduje wartości rzeczywiste zmiennej Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznym.

Źródło: opracowanie własne

Diagnoza modelu regresji wskazuje, że mimo istotnych odchyień od normalności rozkładów analizowanych zmiennych obserwowanych w testach Kołmogorowa–Smirnowa i Shapiro–Wilka, model nie wykazywał problemu współliniowości predyktorów, ponieważ dla obu zmiennych niezależnych uzyskano bardzo niskie wartości VIF (1,01). Graficzna ocena rozkładu reszt i wykresu Q–Q sugeruje, że rozkład składnika losowego był zbliżony do normalnego, choć widoczne były pewne odchylenia w krańcach rozkładu. Jednocześnie wykres reszt względem wartości przewidywanych nie sugerował wyraźnego naruszenia założenia homoscedastyczności, a dodatnia relacja między wartościami rzeczywistymi i przewidywanymi potwierdza umiarkowanie dobrą zdolność modelu do odtwarzania wyników zmiennej zależnej. Łącznie wyniki te pozwalają uznać model za wystarczająco poprawny do dalszej interpretacji, przy zachowaniu ostrożności wynikającej z nienormalności rozkładów zmiennych wejściowych.

W celu pogłębienia interpretacji wyników przeprowadzono dodatkowo jednoczynnikowe analizy wariancji (One-way ANOVA) dla trzech pojedynczych pytań kwestionariusza: 3[IV], odnoszącego się do uwzględniania aspektów środowiskowych przy planowaniu nowych inwestycji OZE, 9[V], dotyczącego częstotliwości prowadzenia analiz ekonomicznych kosztów społecznych, oraz 6[IV], odnoszącego się do uwzględniania wpływu inwestycji OZE na zdrowie, środowisko

i społeczność lokalną w polityce zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstwa. Analizy wykonano w podziale na staż działalności w sektorze OZE, moc instalacji, wielkość zatrudnienia oraz stanowisko respondenta (tab. 64).

Tabela 64. Wyniki jednoczynnikowej analizy wariancji dla wybranych pytań według cech przedsiębiorstw [N = 150]

Zmienna grupująca	q3: F	q3: p	q3: η^2	r9: F	r9: p	r9: η^2	q6: F	q6: p	q6: η^2
Staż w OZE	4,77 4	0,00 3	0,08 9	10,24 5	<0,00 1	0,20 1	11,09 0	<0,00 1	0,18 6
Moc instalacji	0,37 9	0,76 8	0,00 8	1,066	0,366	0,02 6	1,033	0,380	0,02 1
Zatrudnienie	3,38 9	0,02 0	0,06 5	2,723	0,047	0,06 3	3,734	0,013	0,07 1
Stanowisko respondenta	2,82 7	0,01 8	0,08 9	2,584	0,029	0,09 7	4,653	0,001	0,11 4

Legenda

q3 – uwzględnianie aspektów środowiskowych przy planowaniu nowych inwestycji OZE;
r9 – częstotliwość prowadzenia analiz ekonomicznych kosztów społecznych;
q6 – uwzględnianie wpływu inwestycji OZE na zdrowie, środowisko i społeczność lokalną w polityce zrównoważonego rozwoju. W analizie r9 wyłączono odpowiedź „nie wiem / trudno powiedzieć”;

Źródło: opracowanie własne

Najsilniejszym czynnikiem różnicującym odpowiedzi okazał się staż działalności w sektorze OZE. Dla wszystkich trzech pytań uzyskano istotne statystycznie efekty: dla q3 ($F = 4,774$; $p = 0,003$; $\eta^2 = 0,089$), dla r9 ($F = 10,245$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,201$) oraz dla q6 ($F = 11,090$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,186$). Oznacza to, że doświadczenie przedsiębiorstwa w sektorze OZE wyraźnie różnicowało poziom deklarowanych praktyk analitycznych i strategicznych. Najniższe średnie dla wszystkich trzech pytań uzyskiwały przedsiębiorstwa działające ponad 10 lat ($q3 = 1,49$; $r9 = 0,76$; $q6 = 0,57$), natomiast wyższe wartości odnotowano w grupach firm funkcjonujących 2–5 lat ($q3 = 2,30$; $r9 = 2,03$; $q6 = 1,81$) oraz 6–10 lat ($q3 = 2,17$; $r9 = 1,64$; $q6 = 1,28$). Analizy post-hoc potwierdziły, że przedsiębiorstwa o najdłuższym stażu wypadały istotnie niżej od firm działających od 2 do 10 lat. Wynik ten wskazuje, że wyższe natężenie analizowanych praktyk częściej deklarowały przedsiębiorstwa o średnim niż najdłuższym stażu funkcjonowania w sektorze.

Nie stwierdzono natomiast istotnego wpływu mocy instalacji na żadne z analizowanych pytań: dla q3 $F = 0,379$; $p = 0,768$; $\eta^2 = 0,008$, dla r9 $F = 1,066$; $p = 0,366$; $\eta^2 = 0,026$, a dla q6 $F = 1,033$; $p = 0,380$; $\eta^2 = 0,021$. Oznacza to, że sama skala techniczna instalacji nie różnicowała w sposób istotny ani poziomu uwzględniania aspektów środowiskowych, ani regularności analiz ekonomicznych

kosztów społecznych, ani obecności tych zagadnień w polityce zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstwa.

Istotne, choć słabsze, efekty uzyskano dla wielkości zatrudnienia. Zmienna ta różnicowała odpowiedzi dla wszystkich trzech pytań: dla q3 ($F = 3,389$; $p = 0,020$; $\eta^2 = 0,065$), dla r9 ($F = 2,723$; $p = 0,047$; $\eta^2 = 0,063$) oraz dla q6 ($F = 3,734$; $p = 0,013$; $\eta^2 = 0,071$). W przypadku q3 efekt ogólny nie przełożył się jednak na istotne różnice między konkretnymi parami grup. Bardziej jednoznaczny wzorec ujawnił się dla r9 i q6. Przedsiębiorstwa zatrudniające powyżej 250 osób osiągały wyższe średnie niż firmy z dwóch najniższych kategorii zatrudnienia. Dla r9 średnia w największych przedsiębiorstwach wyniosła 2,57, podczas gdy w grupach 1–10 osób i 11–50 osób odpowiednio 1,20 i 1,27. Dla q6 przedsiębiorstwa zatrudniające ponad 250 osób osiągnęły średnią 2,38, przy wyraźnie niższych wartościach w grupach 1–10 osób (0,95) i 11–50 osób (0,89). Wynik ten sugeruje, że większe organizacyjnie przedsiębiorstwa częściej prowadzą analizy ekonomiczne kosztów społecznych i częściej ujmują wpływ inwestycji OZE w polityce zrównoważonego rozwoju.

Odpowiedzi były również różnicowane przez stanowisko respondenta. Dla q3 uzyskano $F = 2,827$; $p = 0,018$; $\eta^2 = 0,089$, dla r9 $F = 2,584$; $p = 0,029$; $\eta^2 = 0,097$, a dla q6 $F = 4,653$; $p = 0,001$; $\eta^2 = 0,114$. W porównaniach post-hoc dla q3 i r9 istotne różnice dotyczyły relacji między właścicielami a specjalistami ds. zrównoważonego rozwoju. Specjaliści deklarowali wyższe wartości odpowiedzi zarówno dla q3 (2,64 wobec 1,39), jak i dla r9 (2,27 wobec 0,92). W pytaniu q6 uzyskano dodatkowo istotną różnicę między dyrektorami a właścicielami; średnie wynosiły odpowiednio 1,69 i 0,63. Wyniki te wskazują, że osoby pełniące funkcje bardziej związane z zarządzaniem strategicznym lub zrównoważonym rozwojem częściej deklarowały obecność analizowanych praktyk niż właściciele przedsiębiorstw.

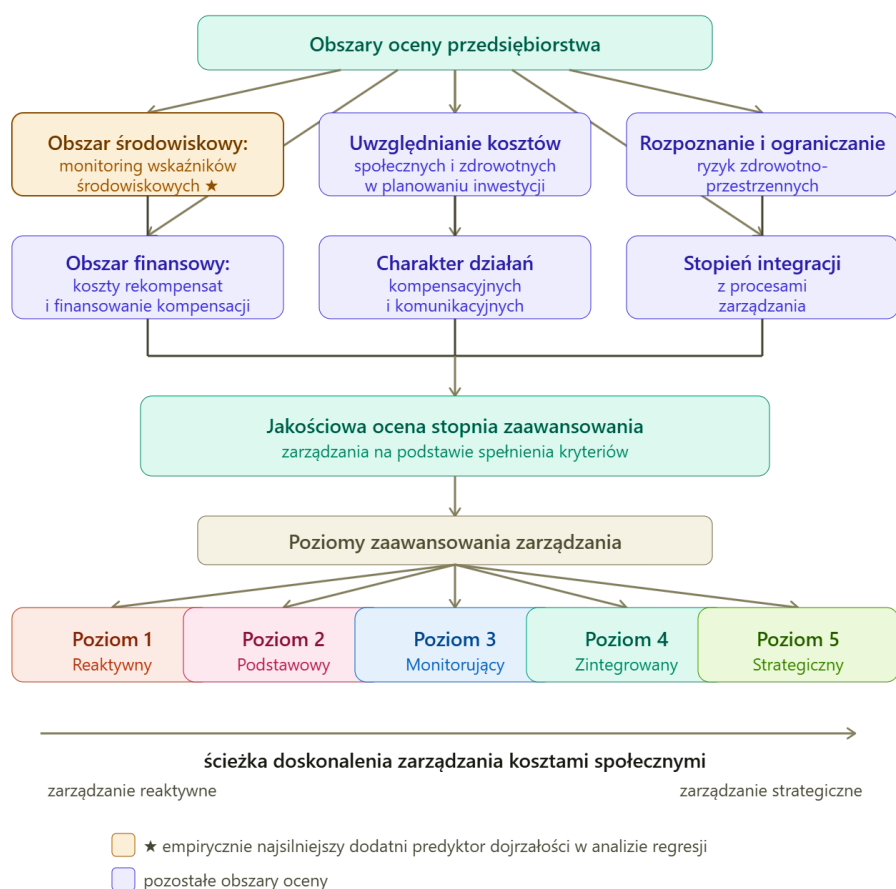
Łącznie wyniki wskazują, że odpowiedzi na wybrane pytania były silniej związane z doświadczeniem przedsiębiorstwa w sektorze OZE, a także częściowo ze skalą organizacyjną podmiotu i rolą osoby udzielającej odpowiedzi, niż z samą mocą instalacji. Najbardziej wyrazisty wzorec dotyczył stażu działalności: przedsiębiorstwa o najdłuższym stażu częściej osiągały niższe wyniki niż firmy funkcjonujące w sektorze od 2 do 10 lat.

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE nie powinien być rozumiany wyłącznie jako ogólna deklaracja odpowiedzialności społecznej lub środowiskowej. Ma on charakter wielowymiarowy i obejmuje zdolność przedsiębiorstwa do identyfikowania, monitorowania, ograniczania oraz uwzględniania kosztów społecznych w procesach decyzyjnych. W świetle uzyskanych wyników szczególne znaczenie mają trzy obszary: finansowy, obejmujący finansowanie działań kompensacyjnych i koszty rekompensat, środowiskowy, związany przede wszystkim z monitoringiem wskaźników środowiskowych, oraz społeczno-zdrowotny, obejmujący uwzględnianie kosztów społecznych i zdrowotnych oraz rozpoznawanie i ograniczanie ryzyk zdrowotno-przestrzennych.

Na podstawie uzyskanych wyników zaproponowano autorski model poziomów zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora

OZE. Model ma charakter diagnostyczno-aplikacyjny, co oznacza, że może służyć zarówno do uporządkowania wyników badań, jak i do praktycznej oceny stopnia zaawansowania przedsiębiorstw w zakresie zarządzania kosztami społecznymi. Jego konstrukcja nawiązuje do potwierdzonych zależności między poziomem zaawansowania zarządzania a analizowanymi obszarami funkcjonowania przedsiębiorstw. W obszarze środowiskowym szczególne znaczenie miał monitoring wskaźników środowiskowych, który okazał się dodatnio i istotnie związany z poziomem zaawansowania zarządzania. W obszarze społeczno-zdrowotnym istotne były zależności dotyczące uwzględniania kosztów społecznych i zdrowotnych oraz ryzyk zdrowotno-przestrzennych. Z kolei w obszarze finansowym koszty rekompensat i finansowanie działań kompensacyjnych miały znaczenie diagnostyczne, ponieważ ich wzrost był związany ze spadkiem poziomu zaawansowania, co może wskazywać na bardziej reaktywny charakter części działań podejmowanych przez przedsiębiorstwa.

Proponowany model zakłada więc, że poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi nie polega na samym nasileniu działań kompensacyjnych ani na wysokości ponoszonych nakładów finansowych, lecz przede wszystkim na stopniu systemowego rozpoznawania, monitorowania i ograniczania kosztów społecznych. Wyższy poziom zaawansowania oznacza przechodzenie od działań podejmowanych po wystąpieniu problemów do działań planowanych, prewencyjnych i zintegrowanych z procesami zarządzania przedsiębiorstwem. Logikę autorskiego modelu, obejmującą obszary oceny przedsiębiorstwa, jakościową diagnozę poziomu zaawansowania oraz kierunek rozwoju od zarządzania reaktywnego do strategicznego, przedstawiono na rys. 44.



Rys. 44. Logika modelu poziomów zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE

Źródło: opracowanie własne

Proponowany model opiera się na założeniu, że przedsiębiorstwa sektora OZE mogą znajdować się na różnych poziomach zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi: od poziomu reaktywnego, w którym działania są podejmowane głównie po wystąpieniu problemów, do poziomu strategicznego, w którym koszty społeczne są systemowo uwzględniane w procesach zarządczych, inwestycyjnych i relacjach z interesariuszami. Przypisanie przedsiębiorstwa do określonego poziomu ma charakter jakościowej diagnozy i opiera się na ocenie stopnia spełnienia kryteriów odnoszących się do obszaru finansowego, środowiskowego, społeczno-zdrowotnego, działań kompensacyjnych i komunikacyjnych oraz integracji tych działań z procesami zarządzania. Poziomy zaawansowania przedstawiono w tabeli 65.

Tabela 65. Poziomy zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE

Poziom	Nazwa poziomu	Charakterystyka poziomu
1	Poziom zaawansowania reaktywny	Przedsiębiorstwo reaguje głównie po wystąpieniu problemów, konfliktów społecznych, skarg lub presji ze strony otoczenia. Koszty społeczne nie są systemowo rozpoznawane ani uwzględniane w procesie planowania inwestycji.
2	Poziom zaawansowania podstawowy	Przedsiębiorstwo spełnia podstawowe wymogi formalne i prawne, jednak działania dotyczące kosztów społecznych mają charakter ograniczony, niesystematyczny i słabo powiązany z procesami zarządzania.
3	Poziom zaawansowania monitorujący	Przedsiębiorstwo prowadzi monitoring wybranych wskaźników środowiskowych oraz zaczyna identyfikować społeczne, zdrowotne i przestrzenne skutki swojej działalności. Zarządzanie kosztami społecznymi ma jednak nadal częściowo operacyjny charakter.
4	Poziom zaawansowania zintegrowany	Koszty społeczne są uwzględniane w planowaniu inwestycji, analizie ryzyk, działaniach środowiskowych oraz relacjach z interesariuszami. Monitoring, kompensacja i komunikacja są powiązane z procesami zarządczymi.
5	Poziom zaawansowania strategiczny	Zarządzanie kosztami społecznymi stanowi trwały element strategii przedsiębiorstwa. Firma systemowo identyfikuje, monitoruje i ogranicza skutki swojej działalności, a działania wobec otoczenia społecznego mają charakter prewencyjny, partnerski i długofalowy.

Źródło: opracowanie własne

Przedstawione poziomy wskazują ścieżkę przechodzenia od zarządzania reaktywnego do zarządzania strategicznego. Na niższych poziomach zaawansowania przedsiębiorstwo koncentruje się przede wszystkim na reagowaniu na już występujące problemy, konflikty lub ujawnione koszty społeczne. Na wyższych poziomach coraz większego znaczenia nabierają: systematyczny monitoring wskaźników środowiskowych, uwzględnianie kosztów społecznych i zdrowotnych w planowaniu inwestycji, rozpoznawanie i ograniczanie ryzyk zdrowotno-przestrzennych oraz integracja tych działań z procesami zarządzania. Model zakłada więc, że poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi nie polega wyłącznie na podejmowaniu działań kompensacyjnych ani na ponoszeniu kosztów rekompensat. Istotniejsze jest to, czy przedsiębiorstwo potrafi wcześniej identyfikować źródła tych kosztów, monitorować ich przejawy, ograniczać ryzyka oraz włączać wyniki tych działań do decyzji organizacyjnych i inwestycyjnych.

Wyniki badań wskazują, że szczególne znaczenie w kształtowaniu zaawansowania ma obszar środowiskowy, reprezentowany przede wszystkim przez monitoring wskaźników środowiskowych. W analizie regresji monitoring ten był dodatnim i istotnym predyktorem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi, a jego wpływ był silniejszy niż pozostałych analizowanych zmiennych. Oznacza to, że przedsiębiorstwa systematycznie monitorujące skutki środowiskowe swojej działalności mają większe podstawy do rozpoznawania, ograniczania i porządkowania kosztów społecznych. Monitoring nie powinien być zatem traktowany wyłącznie jako działanie techniczne lub sprawozdawcze, lecz jako jeden z głównych elementów dojrzałego zarządzania w sektorze OZE.

Kryteria przypisania przedsiębiorstwa do określonego poziomu zaawansowania powinny obejmować kilka obszarów oceny. Należą do nich: obszar finansowy, obejmujący koszty rekompensat i finansowanie działań kompensacyjnych; obszar środowiskowy, związany z monitoringiem wskaźników środowiskowych; uwzględnianie kosztów społecznych i zdrowotnych w planowaniu inwestycji; rozpoznawanie i ograniczanie ryzyk zdrowotno-przestrzennych; charakter działań kompensacyjnych i komunikacyjnych oraz stopień integracji tych działań z procesami zarządzania. Proponowane kryteria przedstawiono w tabeli 66.

Tabela 66. Kryteria przypisania przedsiębiorstwa do poziomu zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi

Poziom zaawansowania	Monitoring wskaźników środowiskowych	Uwzględnianie kosztów społecznych i zdrowotnych	Zarządzanie ryzykami zdrowotno- przestrzenne	Działania kompensacyjne i komunikacyjne	Charakter zarządzania
1. Reaktywny	Brak monitoringu lub monitoring incydentalny	Brak systemowego uwzględniania kosztów społecznych	Wysokie lub nierozpoznane	Podjęmowane głównie po konflikcie, skardze lub presji społecznej	Reagowanie na skutki
2. Podstawowy	Monitoring ograniczony do wymogów formalnych	Częściowe i niesystematyczne uwzględnianie wybranych kosztów	Umiarkowane lub wysokie	Doraźne, niespójne, słabo powiązane ze strategią firmy	Spełnianie minimum formalnego
3. Monitorujący	Regularny monitoring wybranych wskaźników	Identyfikacja wybranych kosztów społecznych i zdrowotnych	Umiarkowane	Obecne, ale głównie operacyjne; komunikacja prowadzona okresowo	Rozpoznawanie problemów
4. Zintegrowany	Rozwinięty monitoring środowiskowy powiązany z decyzjami zarządczymi	Koszty społeczne uwzględniane w planowaniu inwestycji i analizie ryzyk	Niskie lub umiarkowane	Powiązane z dialogiem, prewencją i ograniczaniem skutków działalności	Zarządzanie systemowe
5. Strategiczny	Kompleksowy i stały monitoring	Pełna integracja kosztów społecznych,	Niskie i systematycznie kontrolowane	Partnerskie, długofalowe, prewencyjne;	Zarządzanie strategiczne i doskonalenie

	skutków środowiskowych	zdrowotnych i przestrzennych ze strategią przedsiębiorstwa		nie zastępują zarządzania przyczynami kosztów	
--	---------------------------	---	--	--	--

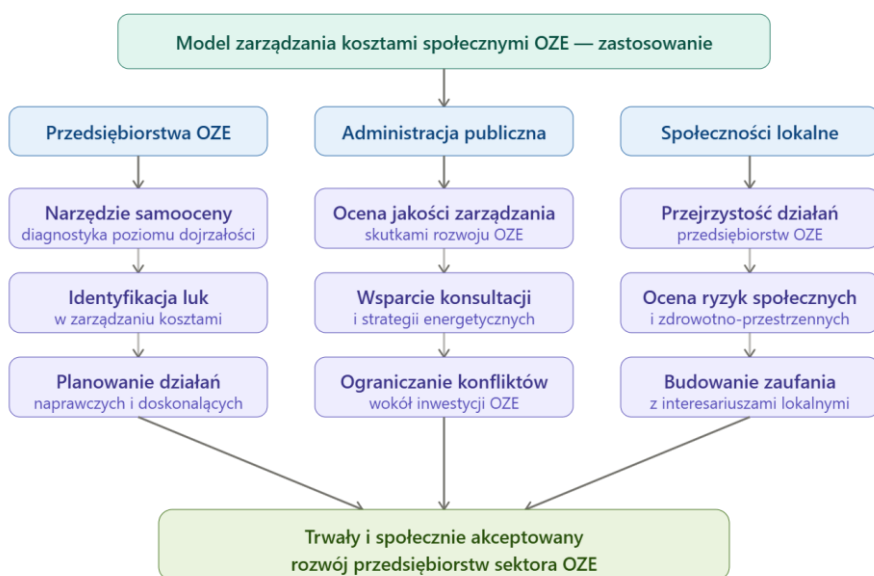
Źródło: opracowanie własne

Model ma charakter jakościowej typologii diagnostycznej. Przypisanie przedsiębiorstwa do określonego poziomu zaawansowania nie opiera się na sztywnych progach liczbowych, lecz na ocenie stopnia spełnienia kryteriów odnoszących się do kluczowych obszarów zarządzania kosztami społecznymi. Obejmują one obszar finansowy, związany z kosztami rekompensat i finansowaniem działań kompensacyjnych, obszar środowiskowy, reprezentowany przede wszystkim przez monitoring wskaźników środowiskowych, obszar społeczno-zdrowotny, dotyczący uwzględniania kosztów społecznych i zdrowotnych oraz rozpoznawania i ograniczania ryzyk zdrowotno-przestrzennych, a także charakter działań kompensacyjnych i komunikacyjnych oraz stopień ich integracji z procesami zarządzania.

Model nie ma charakteru certyfikacyjnego, lecz porządkujący i aplikacyjny. Może służyć do diagnozy poziomu zaawansowania przedsiębiorstwa, identyfikacji obszarów wymagających poprawy oraz planowania działań doskonalących. Opracowanie ilościowych progów przypisania przedsiębiorstw do poszczególnych poziomów wymagałoby dalszej walidacji modelu na większej próbie badawczej.

Z praktycznego punktu widzenia model może być wykorzystywany przez przedsiębiorstwa sektora OZE jako narzędzie samooceny, a przez administrację publiczną i instytucje regionalne jako pomocnicze narzędzie oceny jakości zarządzania skutkami rozwoju OZE. Może również zwiększać przejrzystość relacji między przedsiębiorstwami a społecznościami lokalnymi, ponieważ wskazuje, że akceptacja inwestycji zależy nie tylko od samego rozwoju odnawialnych źródeł energii, lecz także od sposobu prowadzenia inwestycji, komunikacji, ograniczania ryzyk oraz uwzględniania skutków społecznych i zdrowotnych.

Zaproponowany model stanowi autorską propozycję porządkującą wyniki badań empirycznych i nadającą im wymiar praktyczny. Wysoka poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi oznacza nie tylko podejmowanie działań kompensacyjnych, lecz przede wszystkim systemowe monitorowanie skutków działalności, uwzględnianie kosztów społecznych i zdrowotnych w planowaniu inwestycji, ograniczanie ryzyk oraz prowadzenie działań wobec otoczenia w sposób zaplanowany, partnerski i prewencyjny. Praktyczny wymiar zaproponowanego modelu obejmuje trzy podstawowe grupy odbiorców: przedsiębiorstwa sektora OZE, administrację publiczną oraz społeczności lokalne. Możliwe kierunki zastosowania modelu przedstawiono na rys. 45.



Rys. 45. Praktyczne zastosowanie modelu zarządzania kosztami społecznymi w sektorze OZE
Źródło: opracowanie własne

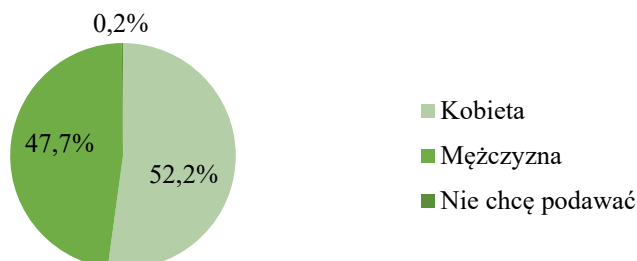
Model może pełnić funkcję narzędzia samooceny dla przedsiębiorstw sektora OZE, narzędzia pomocniczego dla administracji publicznej oraz instrumentu zwiększającego przejrzystość relacji ze społecznościami lokalnymi (rysunek 45). Jego zastosowanie pozwala identyfikować luki w zarządzaniu kosztami społecznymi, wspierać planowanie działań naprawczych i doskonalących, ograniczać ryzyka społeczne i zdrowotno-przestrzenne oraz wzmacniać zaufanie interesariuszy. W tym ujęciu model nie ma wyłącznie charakteru opisowego, lecz może stanowić praktyczne wsparcie dla trwałego i społecznie akceptowanego rozwoju przedsiębiorstw sektora OZE.

7. ANALIZA EMPIRYCZNA OPINII MIESZKAŃCÓW WOJEWÓDZTWA KUJAWSKO-POMORSKIEGO

7.1. CHARAKTERYSTYKA BADANEJ PRÓBY MIESZKAŃCÓW WOJEWÓDZTWA KUJAWSKO-POMORSKIEGO

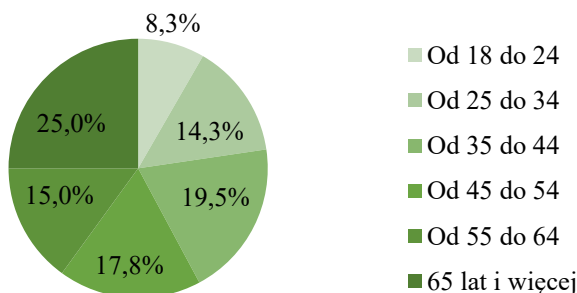
W pierwszym etapie badania scharakteryzowano strukturę demograficzno-społeczną badanej próby mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego. Jednym z podstawowych parametrów metryczki była płeć respondentów (rys. 46). W badanej grupie udział kobiet i mężczyzn był zbliżony. Nieco ponad połowę respondentów stanowiły kobiety (52,2%), natomiast mężczyźni udzielili 47,7% wszystkich odpowiedzi. Znikomą część badanych (0,2%) stanowili respondenci, którzy nie chcieli ujawnić swojej płci. Tak ukształtowana, relatywnie zrównoważona

struktura płci sprzyjała porównywaniu postaw i ocen kosztów społecznych OZE między kobietami i mężczyznami w dalszej części analizy.



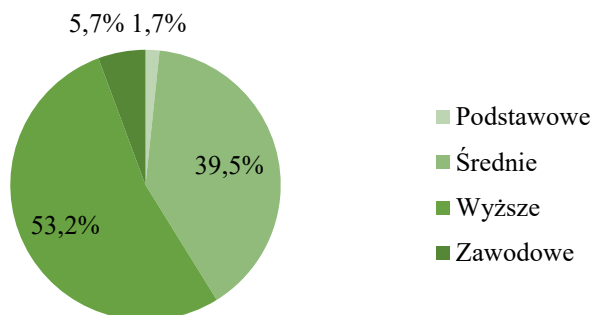
Rys. 46. Struktura badanych mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego wg płci
Źródło: opracowanie własne

W badanej próbie dominowały osoby w wieku 65 lat i więcej (25,0%) oraz w grupie 35–44 lata (19,5%). Stosunkowo licznie reprezentowane były także roczniki 45–54 lata (17,8%) i 55–64 lata (15,0%), natomiast najmniej respondentów pochodziło z najmłodszej grupy wieku 18–24 lata (8,3%) oraz z przedziału 25–34 lata (14,3%). Struktura badanych mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego wg wieku została przedstawiona na rysunku 47.



Rys. 47. Struktura badanych mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego wg wieku
Źródło: opracowanie własne

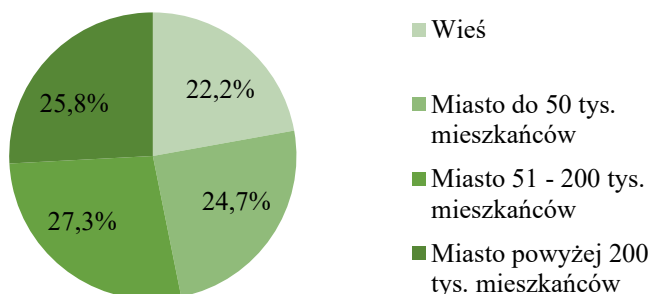
W badanej próbie dominowały osoby z wykształceniem wyższym (53,2%) oraz średnim (39,5%). Niewielki odsetek respondentów legitymował się wykształceniem zawodowym (5,7%) lub podstawowym (1,7%). Struktura badanych mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego wg poziomu wykształcenia została zaprezentowana na rysunku 48.



Rys. 48. Struktura badanych mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego wg poziomu wykształcenia

Źródło: opracowanie własne

W badanej próbie proporcje między wsią a miastem były stosunkowo wyrównane (rys. 49). Mieszkańcy miast 51–200 tys. stanowili 27,3% respondentów, miast powyżej 200 tys. – 25,8%, a miast do 50 tys. – 24,7%. Udział mieszkańców wsi wynosił 22,2%, co pozwoliło analizować postawy wobec OZE zarówno w kontekście obszarów wiejskich, jak i różnych typów miast.



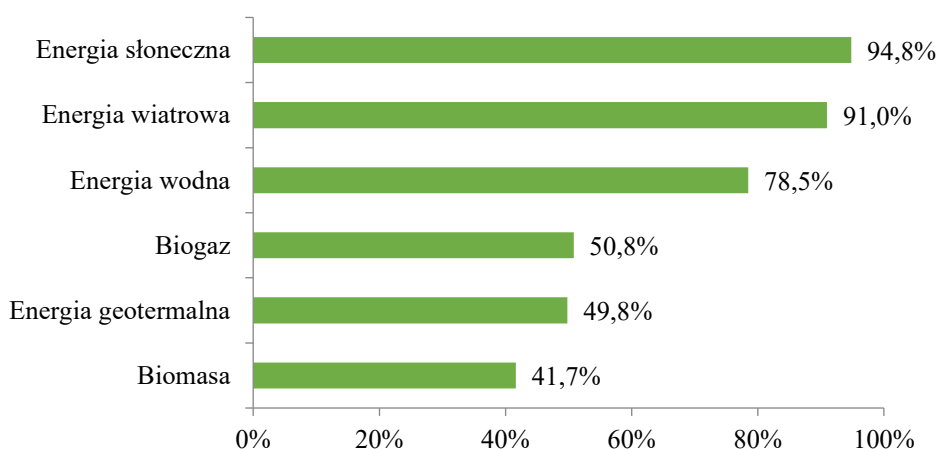
Rys. 49. Struktura badanych mieszkańców według miejsca zamieszkania

Źródło: opracowanie własne

Badana próba mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego miała stosunkowo zrównoważoną strukturę płci i wieku, z nieznaczną przewagą kobiet oraz osób w średnich i starszych grupach wiekowych. Dominowali respondenci z wykształceniem średnim i wyższym, a miejsce zamieszkania rozkładało się dość równomiernie między wieś a różnej wielkości miasta. Taka struktura próby sprzyjała analizie zróżnicowania postaw wobec OZE w zależności od cech demograficzno-społecznych, co w kolejnych podrozdziałach pozwoliło przejść do oceny poziomu świadomości energetycznej mieszkańców oraz ich opinii na temat odnawialnych źródeł energii i związanych z nimi kosztów społecznych.

7.2. POZIOM WIEDZY MIESZKAŃCÓW WOJEWÓDZTWA KUJAWSKO-POMORSKIEGO O ENERGETYCE ODNAWIALNEJ

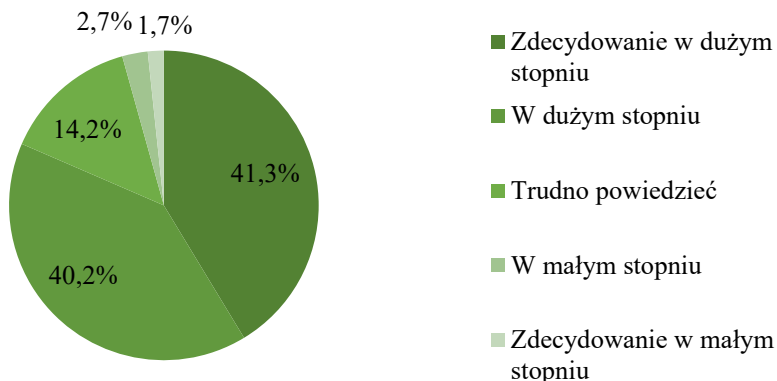
Pierwszym krokiem oceny świadomości energetycznej mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego było sprawdzenie, jakie rodzaje odnawialnych źródeł energii były im znane (rys. 50). Zdecydowana większość respondentów deklarowała znajomość energii słonecznej (94,8%) oraz wiatrowej (91,0%). Stosunkowo wysoki był również odsetek osób znających energię wodną (78,5%). Znacznie słabiej rozpoznawalne były natomiast technologie biogazu (50,8%), energii geotermalnej (49,8%) oraz biomasy (41,7%). Wyniki te wskazały, że świadomość mieszkańców koncentrowała się przede wszystkim na najbardziej widocznych i najczęściej obecnych w debacie publicznej formach OZE, podczas gdy mniej oczywiste technologie pozostały zdecydowanie słabiej rozpoznane.



Rys. 50. Znajomość poszczególnych rodzajów odnawialnych źródeł energii wśród badanych mieszkańców [N = 600]

Źródło: opracowanie własne

Zdecydowana większość badanych uznała energetykę odnawialną za istotną dla przyszłości Polski (rys. 51). Ponad cztery piąte respondentów uważało, że OZE były ważne „zdecydowanie w dużym stopniu” (41,3%) lub „w dużym stopniu” (40,2%). Niewielka grupa miała trudność z jednoznaczną oceną (14,2%), natomiast opinie negujące znaczenie OZE („w małym stopniu” i „zdecydowanie w małym stopniu”) pojawiały się marginalnie – łącznie ok. 4,4%. Świadczy to o bardzo wysokim poziomie deklarowanego poparcia dla rozwoju energetyki odnawialnej na poziomie ogólnokrajowym.



Rys. 51. Ocena znaczenia energetyki odnawialnej dla przyszłości Polski [N = 600]
Źródło: opracowanie własne

Kolejnym etapem analizy było określenie, jak badani mieszkańcy ocenili znaczenie różnych korzyści wynikających z rozwoju odnawialnych źródeł energii. Respondenci oceniali poszczególne korzyści w pięciostopniowej skali – od „bardzo małe” do „bardzo duże znaczenie”. Rozkład odpowiedzi przedstawiono w tabeli 67. We wszystkich analizowanych przypadkach dominowało przekonanie, że korzyści z rozwoju OZE miały duże lub bardzo duże znaczenie – szczególnie dotyczyło to poprawy jakości powietrza, redukcji emisji CO₂, zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego kraju oraz obniżenia kosztów energii w długim okresie (w każdej z tych kategorii przeważały wskazania „4” i „5”). Nieco niżej oceniane były natomiast korzyści bardziej pośrednie, takie jak tworzenie nowych miejsc pracy czy wzmacnianie gospodarki obiegu zamkniętego – częściej pojawiały się odpowiedzi „trudno powiedzieć”, co sugerowało mniejszy poziom znajomości tych aspektów dla badanych. Ogólnie jednak struktura odpowiedzi wskazywała na szeroką świadomość wielowymiarowych korzyści związanych z rozwojem energetyki odnawialnej.

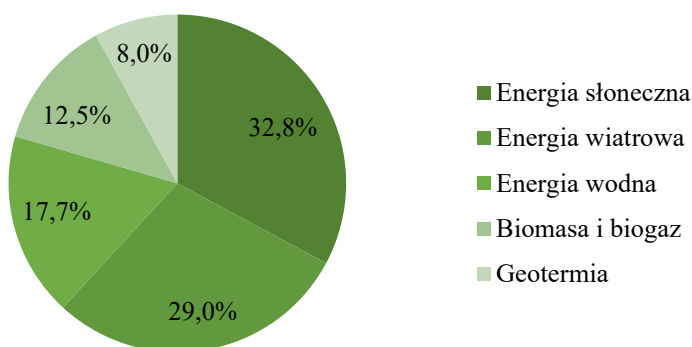
Tabela 67. Ocena znaczenia poszczególnych korzyści z rozwoju OZE w opinii mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego [N = 600]

Korzyści z rozwoju OZE	Bardzo małe	Małe	Trudno powiedzieć	Duże	Bardzo duże
Redukcja emisji CO ₂	2,13%	5,7%	18,3%	38,2%	35,5%
Poprawa jakości powietrza	1,7%	4,3%	10,8%	36,5%	46,7%
Zmniejszenie uzależnienia od importowanych paliw kopalnych	1,2%	6,7%	22,0%	38,3%	31,8%
Tworzenie nowych miejsc pracy	2,8%	8,0%	29,5%	34,0%	25,7%
Obniżenie kosztów energii w długim okresie	3,7%	8,2%	18,0%	39,7%	30,5%
Stabilność cen energii	3,5%	6,2%	26,3%	34,8%	29,2%
Zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego kraju	2,7%	5,3%	17,8%	38,3%	35,8%
Stymulowanie innowacji i rozwoju technologii	1,0%	5,3%	27,0%	46,2%	20,5%

Wzmacnianie gospodarki obiegu zamkniętego poprzez wykorzystanie odpadów do produkcji biogazu i biomasy	1,5%	7,5%	28,5%	42,0%	20,5%
Mniejsze negatywne skutki środowiskowe w porównaniu do paliw kopalnych	2,8%	8,7%	22,5%	38,5%	27,5%

Źródło: opracowanie własne

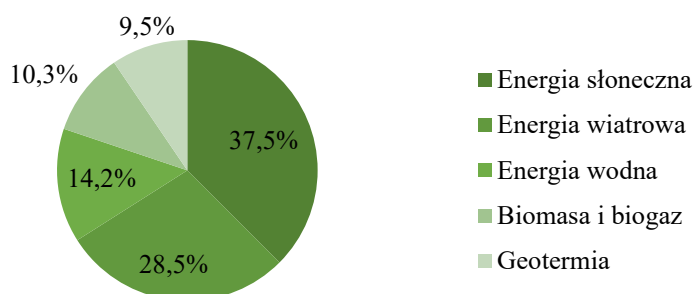
W dalszej części badania poproszono respondentów o wskazanie, które źródła energii odnawialnej uważali za najbardziej korzystne ekonomicznie (rys. 52), środowiskowo (rys. 53) oraz mające najkorzystniejszy wpływ na zdrowie (rys. 54). We wszystkich przypadkach najwyżej oceniane były te same technologie: energia słoneczna oraz wiatrowa. Za najbardziej przyjazną środowisku badani uznali przede wszystkim energię słoneczną (37,5%) i wiatrową (28,5%), przy wyraźnie niższych wskazaniach dla energii wodnej, biomasy i biogazu oraz geotermii. Podobny układ obserwowano w odniesieniu do korzyści ekonomicznych – energia słoneczna (32,8%) i wiatrowa (29,0%) także dominowały nad pozostałymi technologiami.



Rys. 52. Źródła energii odnawialnej uznawane za najbardziej korzystne ekonomicznie w opinii mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego [N = 600]

Źródło: opracowanie własne

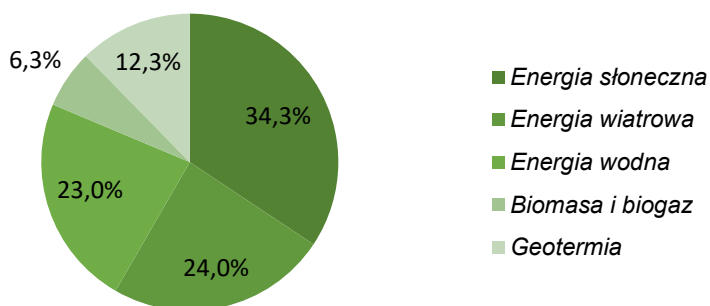
Zbieżność ocen środowiskowych i ekonomicznych sugerowała, że w percepcji mieszkańców fotowoltaika i energetyka wiatrowa były postrzegane jako najbardziej kompleksowe źródła OZE – jednocześnie ekologiczne i opłacalne. Pozostałe technologie, zwłaszcza biomasa, biogaz oraz geotermia, generowały mniej wskazań zarówno pod względem postrzeganych korzyści środowiskowych, jak i ekonomicznych.



Rys. 53. Źródła energii odnawialnej uznawane za najbardziej korzystne środowiskowo w opinii mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego [N = 600]

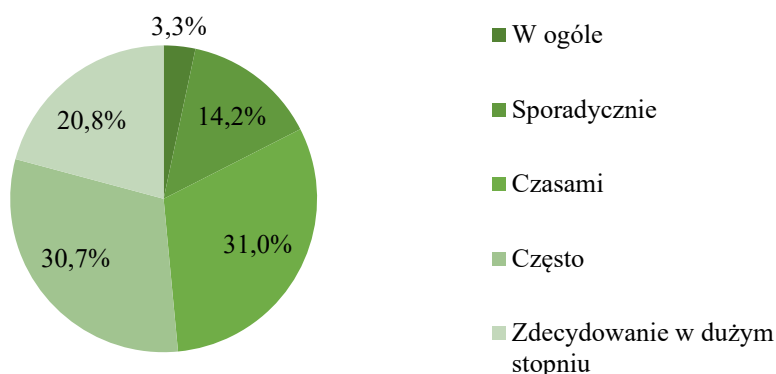
Źródło: opracowanie własne

Za najbardziej korzystną dla zdrowia człowieka badani uznali energię słoneczną (34,3%), a następnie energię wiatrową (24,0%) i wodną (23,0%). Zdecydowanie rzadziej wskazywane były geotermia (12,3%) oraz biomasa i biogaz (6,3%). Oznacza to, że również w wymiarze zdrowotnym mieszkańcy najwyżej oceniali technologie postrzegane jako czyste i mało uciążliwe, natomiast instalacje oparte na spalaniu biomasy były wyraźnie kojarzone z mniejszymi korzyściami zdrowotnymi.



Rys. 54. Źródła energii odnawialnej uznawane za najbardziej korzystne dla zdrowia człowieka w opinii mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego [N = 600]

Źródło: opracowanie własne



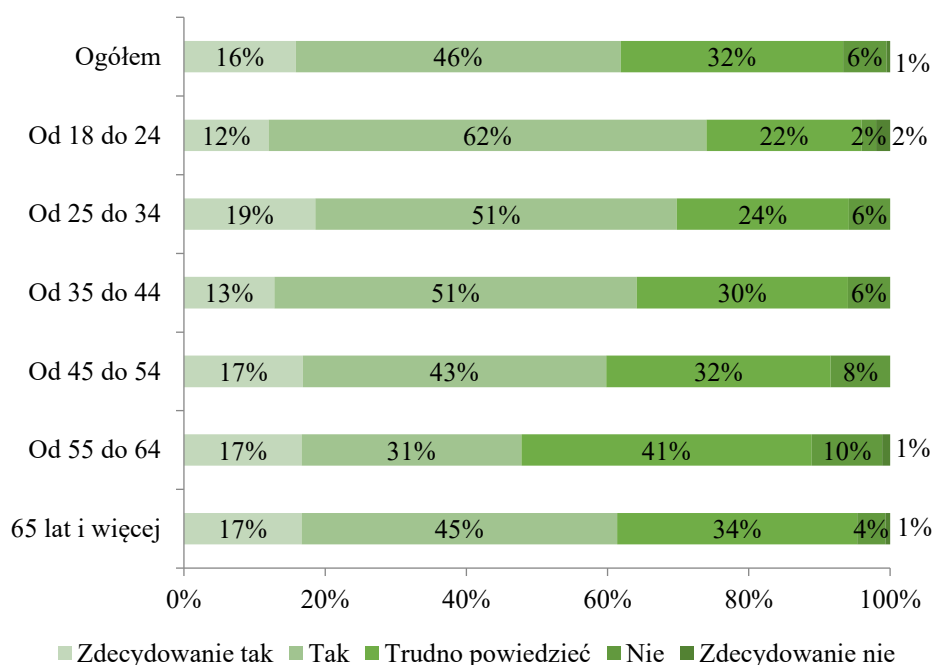
Rys. 55. Ocena wpływu inwestycji w odnawialne źródła energii na rozwój regionu w opinii mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego [N = 600]

Źródło: opracowanie własne

Większość badanych uważała, że inwestycje w OZE w istotnym stopniu przyczyniały się do rozwoju regionu (rys. 55). Najczęściej wskazywano odpowiedzi „czasami” (31,0%) oraz „często” (30,7%), a dodatkowo 20,8% respondentów oceniało wpływ tych inwestycji jako bardzo wyraźny. 14,2% ankietowanych dostrzegało taki wpływ jedynie sporadycznie, natomiast tylko 3,3% uważało, że inwestycje w odnawialne źródła energii w ogóle nie przyczyniały się do rozwoju regionalnego.

7.3. ŚWIADOMOŚĆ MIESZKAŃCÓW WOJEWÓDZTWA KUJAWSKO-POMORSKIEGO ZWIĄZANA Z KOSZTAMI SPOŁECZNYMI ENERGETYKI OZE

Analizę świadomości mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego związaną z kosztami społecznymi energetyki OZE rozpoczęto od pytania czy rozwój odnawialnych źródeł energii wiązał się z takimi kosztami (rys. 56). Większość badanych dostrzegała koszty społeczne związane z rozwojem energetyki odnawialnej – łącznie 61,8% respondentów odpowiadała „zdecydowanie tak” lub „tak”. Co trzeci ankietowany (31,5%) miał trudność z udzieleniem jednoznacznej odpowiedzi, natomiast tylko ok. 6,7% uważało, że takich kosztów nie było. Struktura odpowiedzi była zbliżona w poszczególnych grupach wiekowych, choć osoby młodsze (18–34 lata) częściej niż pozostałe wskazywały, że koszty społeczne rzeczywiście występowały.



Rys. 56. Ocena związku rozwoju energetyki odnawialnej z kosztami społecznymi według wieku respondentów województwa kujawsko-pomorskiego [N = 600]

Źródło: opracowanie własne

Niezależnie od poziomu wykształcenia większość badanych dostrzegała koszty społeczne związane z rozwojem energetyki odnawialnej. Podobny obraz wyłaniał się przy zróżnicowaniu odpowiedzi ze względu na miejsce zamieszkania. Zarówno mieszkańcy wsi, jak i poszczególnych typów miast w większości dostrzegali koszty społeczne rozwoju OZE (suma odpowiedzi „zdecydowanie tak” i „tak” utrzymywała się w granicach ok. 55–67%). Częściej wskazania takie pojawiały się w miastach średnich i dużych, natomiast mieszkańcy wsi częściej wybierali odpowiedź „trudno powiedzieć”.

Kolejnym krokiem analizy było określenie, jakie znaczenie badani mieszkańcy przypisywali poszczególnym potencjalnym negatywnym skutkom funkcjonowania elektrowni OZE. Respondenci oceniali je w pięciostopniowej skali – od „bardzo małe” do „bardzo duże znaczenie”. Strukturę odpowiedzi przedstawiono w tabeli 68. Szczególnie istotne okazały się skutki przestrzenne i przyrodnicze: zajmowanie terenów rolnych i łąkowanie gleby (łącznie ponad 50% ocen „duże” i „bardzo duże”), hałas z turbin wiatrowych oraz zagrożenie dla ptaków i nietoperzy. Relatywnie wysokie znaczenie przypisywane było również problematycznemu recyklingowi komponentów elektrowni OZE, spadkowi wartości nieruchomości. Z kolei w przypadku takich zjawisk, jak efekt migotania cienia, szkodliwe pyły z energii geotermalnej czy zaburzenie ekosystemów wodnych duża część respondentów wybierała odpowiedź „trudno powiedzieć”, co może świadczyć

o mniejszej znajomości tych zagadnień przy jednoczesnym dostrzeganiu ogólnego ryzyka związanego z funkcjonowaniem instalacji OZE.

Tabela 68. Znaczenie potencjalnych negatywnych skutków elektrowni OZE wg mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego [N = 600]

Negatywne skutki elektrowni OZE	Bardzo małe	Małe	Trudno powiedzieć	Duże	Bardzo duże
Pogorszenie krajobrazu	5,3%	24,8%	32,2%	28,5%	9,2%
Hałas z turbin wiatrowych	3,7%	22,5%	24,5%	35,7%	13,7%
Spadek wartości nieruchomości	4,0%	17,8%	33,5%	32,7%	12,0%
Zagrożenie dla ptaków i nietoperzy	2,8%	15,3%	30,0%	36,7%	15,2%
Zaburzenie naturalnych ekosystemów wodnych i bioróżnorodności przez elektrownie wodne	3,2%	19,2%	36,5%	27,7%	13,5%
Zajmowanie terenów rolnych i jałowienie gleby	3,5%	16,3%	29,2%	37,2%	13,8%
Problematyczny recykling komponentów OZE	1,5%	13,2%	35,7%	30,3%	19,3%
Efekt migotania cienia	3,8%	19,3%	52,7%	17,0%	7,2%
Szkodliwe pyły z energii geotermalnej	4,0%	19,2%	44,7%	24,0%	8,2%
Niestabilność produkcji energii	3,2%	16,0%	36,5%	32,2%	12,2%

Źródło: opracowanie własne

Respondenci w zdecydowanej większości nie potrafili ocenić czy przedsiębiorstwa OZE podejmowały działania minimalizujące negatywne skutki ich funkcjonowania – odpowiedź „trudno powiedzieć” wskazało 56,5% badanych. Niespełna jedna trzecia ankietowanych uważała, że takie działania były prowadzone („zdecydowanie tak” 5,5%, „tak” 25,5%), natomiast ok. 12–13% była przekonana, że przedsiębiorstwa nie podejmowały działań ograniczających skutki (odpowiedzi „nie” i „zdecydowanie nie” łącznie ok. 12–13%). Struktura odpowiedzi była zbliżona we wszystkich grupach wiekowych: w każdej z nich dominowała odpowiedź „trudno powiedzieć”.

Mimo tej niepewności poproszono respondentów o ogólną ocenę czy ich zdaniem korzyści z energetyki odnawialnej przewyższały jej koszty społeczne. Ponad połowa badanych uważała, że bilans ten był dodatni: 15,3% ankietowanych „zdecydowanie” zgadzało się z tym stwierdzeniem, a 34,3% odpowiadało „tak”. Około 38,7% miało w tej kwestii wątpliwości i wybierało odpowiedź „trudno powiedzieć”, natomiast negatywnie oceniało relację korzyści do kosztów społecznych łącznie 11,7% respondentów („nie” oraz „zdecydowanie nie”). Wyniki te sugerowały, że nawet przy ograniczonej wiedzy o konkretnych działaniach przedsiębiorstw, znaczna część mieszkańców postrzegała rozwój OZE jako korzystny, choć jednocześnie duży odsetek osób nie potrafił jednoznacznie ocenić skali związanych z nim kosztów społecznych.

Ogólna ocena relacji między korzyściami a kosztami społecznymi energetyki odnawialnej pokazała więc, że większość mieszkańców postrzegała bilans OZE jako

raczej korzystny, choć przy znacznym poziomie niepewności co do skali samych kosztów i działań podejmowanych przez przedsiębiorstwa. W kolejnym kroku poproszono respondentów o ocenę konkretnych form kompensacji i działań łagodzących negatywne skutki funkcjonowania instalacji OZE, co pozwala lepiej zrozumieć, jakie rozwiązania były z ich perspektywy najbardziej pożądane i społecznie akceptowalne. Strukturę odpowiedzi przedstawiono w tabeli 69.

Tabela 69. Działania kompensacyjne (łagodzące/naprawcze) podejmowane przez firmy OZE w celu ograniczenia potencjalnych negatywnych skutków inwestycji w ocenie mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego [N = 600]

	Bardzo małe	Małe	Trudno powiedzieć	Duże	Bardzo duże
Inwestycje w infrastrukturę lokalną (np. remont dróg, modernizacja szkół, budowa obiektów użyteczności publicznej)	1,7%	10,7%	29,8%	43,0%	14,8%
Zniżki na energię elektryczną dla mieszkańców okolicy	3,8%	12,0%	19,5%	41,7%	23,0%
Tworzenie nowych miejsc pracy w regionie (np. zatrudnianie lokalnych pracowników)	3,0%	10,5%	22,3%	42,3%	21,8%
Wsparcie finansowe dla lokalnych inicjatyw i organizacji społecznych	4,2%	12,5%	32,8%	39,3%	11,2%
Działania na rzecz ochrony środowiska (np. sadzenie drzew, ochrona bioróżnorodności, redukcja hałasu)	3,3%	13,0%	22,5%	40,2%	21,0%
Transparentność działań firm OZE (np. regularne raportowanie wpływu inwestycji na społeczność i środowisko)	5,0%	15,3%	34,3%	32,5%	12,8%
Kampanie informacyjne i edukacyjne (np. spotkania, warsztaty, konsultacje społeczne, drzwi otwarte)	6,2%	18,7%	34,3%	31,5%	9,3%
Rekompensaty finansowe dla mieszkańców najbardziej narażonych na skutki inwestycji	3,3%	16,3%	24,8%	38,2%	17,3%
Dotacje i dofinansowania dla lokalnych gospodarstw domowych na instalacje OZE	1,8%	14,7%	29,3%	38,8%	15,3%
Zastosowanie nowoczesnych metod magazynowania energii, aby zmniejszyć wahania w dostawie prądu	3,8%	9,8%	27,7%	37,2%	21,5%

Źródło: opracowanie własne

Ponad połowa badanych uważała, że działania firm OZE w zakresie minimalizacji kosztów społecznych realnie przekładały się na większą akceptację społeczną tych inwestycji – 12,5% respondentów odpowiadało „zdecydowanie tak”, a 40,3% „tak”. Jednocześnie aż 35,8% wybierało odpowiedź „trudno powiedzieć”, co wskazywało na duży poziom niepewności co do skali tego wpływu. Stosunkowo niewielka grupa badanych była zdania, że takie działania nie miały znaczenia dla akceptacji społecznej (9,0% „nie” i 2,3% „zdecydowanie nie”).

Zdecydowana większość badanych uważała, że przedsiębiorstwa OZE powinny znacznie szerzej informować społeczeństwo o podejmowanych działaniach kompensacyjnych. Aż 37,2% respondentów odpowiadało „zdecydowanie tak”, a 42,0% „tak”. Co piąty ankietowany (17,5%) miał w tej kwestii wątpliwości i wskazywał „trudno powiedzieć”, natomiast opinie negujące potrzebę szerszej informacji były marginalne (3,0% „nie” i jedynie 0,3% „zdecydowanie nie”). Wyniki jednoznacznie podkreślały oczekiwanie mieszkańców wobec większej przejrzystości i komunikacji ze strony firm OZE.

7.4. DOŚWIADCZENIA MIESZKAŃCÓW WOJEWÓDZTWA KUJWSKO-POMORSKIEGO ZWIĄZANE Z LOKALIZACJĄ INSTALACJI OZE W NAJBLIŻSZYM OTOCZENIU

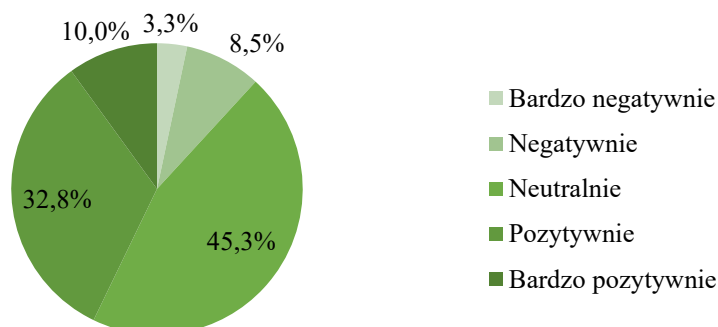
W dalszej części badania zapytano respondentów czy w ich najbliższej okolicy znajdują się inwestycje OZE: 37,8% badanych deklarowało, że w otoczeniu ich miejsca zamieszkania funkcjonowały instalacje OZE, 22,5% odpowiedziało „nie”, natomiast aż 39,7% wskazywało odpowiedź „nie wiem”, co już na wstępie sugerowało ograniczoną świadomość części mieszkańców co do faktycznej obecności takich inwestycji w przestrzeni lokalnej.

Kolejny aspekt dotyczył zauważalnych zmiany związanych z rozwojem energetyki odnawialnej w miejscu zamieszkania. Odpowiedzi badanych były dość zróżnicowane: 31,5% deklarowało, że takie zmiany dostrzegało, 39,3% nie zauważało żadnych zmian, a 29,2% wybrało odpowiedź „nie wiem”. Nawet jeśli znaczna część mieszkańców miała świadomość obecności inwestycji OZE w regionie, to tylko część z nich wiązała je z konkretnymi, obserwowalnymi przekształceniami w najbliższym otoczeniu, a dla prawie jednej trzeciej badanych wpływ ten pozostawał niejasny.

Zapytani o wpływ energetyki odnawialnej w swojej okolicy na społeczność lokalną, respondenci najczęściej oceniali go jako neutralny – takiej odpowiedzi udzieliło 68,3% badanych. Co piąty ankietowany (20,7%) postrzegał wpływ jako pozytywny, a 2,7% jako bardzo pozytywny. Oceny negatywne pojawiały się rzadko: 6,8% wskazało wpływ negatywny, a 1,5% bardzo negatywny. Mieszkańcy częściej nie dostrzegali wyraźnego oddziaływania OZE na społeczność lokalną niż oceniali je jednoznacznie w kategoriach zysku czy straty.

Choć aktualny wpływ energetyki odnawialnej na społeczność lokalną badani najczęściej oceniali jako neutralny, zapytani o reakcję na potencjalną nową inwestycję w swoim otoczeniu (do 50 km) deklarowali raczej pozytywne nastawienie (rys. 57). Ponad połowa respondentów odebrałaby taką informację dobrze – 45,3% „pozytywnie”, a 10,0% „bardzo pozytywnie”. Co trzecia osoba (32,8%) zareagowałaby neutralnie, natomiast oceny negatywne pojawiały się relatywnie

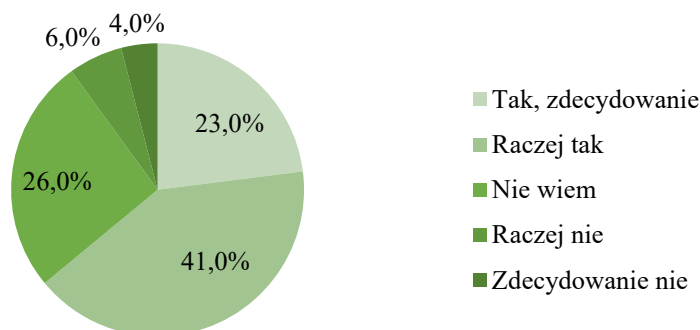
rzadko (8,5% „negatywnie” i 3,3% „bardzo negatywnie”). Wyniki te sugerowały, że mimo ograniczonego dostrzegania bieżących efektów funkcjonowania OZE, deklarowana gotowość do akceptacji nowych inwestycji w regionie była stosunkowo wysoka.



Rys. 57. Deklarowana reakcja mieszkańców na informację o powstaniu nowej elektrowni OZE w odległości do 50 km od miejsca zamieszkania [N = 600]

Źródło: opracowanie własne

Zdecydowana większość mieszkańców deklarowała, że byłaby bardziej skłonna zaakceptować inwestycję OZE w swojej okolicy, gdyby firma podjęła działania kompensacyjne (rys. 58). Łącznie 64,0% badanych odpowiadało „tak, zdecydowanie” (23,0%) lub „raczej tak” (41,0%). Co czwarty respondent (26,0%) nie potrafił jednoznacznie ocenić, a wyraźny sprzeciw wobec inwestycji mimo działań kompensacyjnych wyrażała relatywnie niewielka grupa – 6,0% („raczej nie”) i 4,0% („zdecydowanie nie”). Wskazano zatem na znaczącą rolę działań kompensacyjnych jako narzędzia budowania akceptacji społecznej dla lokalnych inwestycji OZE.

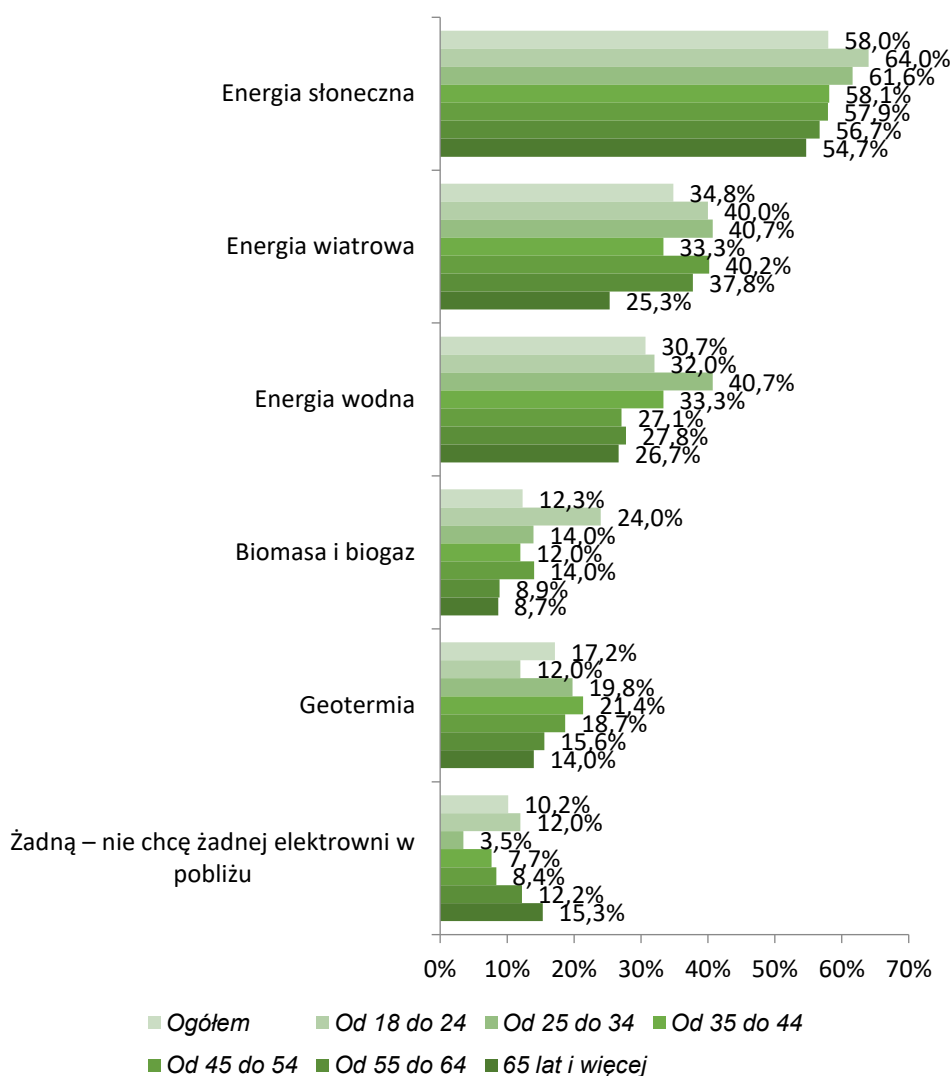


Rys. 58. Deklarowana skłonność mieszkańców do akceptacji inwestycji OZE przy podjęciu działań kompensacyjnych przez firmę [N = 600]

Źródło: opracowanie własne

Najchętniej akceptowaną w sąsiedztwie była elektrownia słoneczna – wskazało ją 58,0% badanych. Na drugim miejscu znalazła się energetyka wiatrowa (34,8%), a na trzecim wodna (30,7%). Znacznie rzadziej respondenci wybierali biomasę i biogaz (12,3%) oraz geotermię (17,2%). Jedynie 10,2% ankietowanych zadeklarowało, że nie chciałoby w pobliżu żadnej elektrowni OZE. Preferencje mieszkańców dotyczące OZE wyraźnie kierowały się w stronę instalacji postrzeganych jako najmniej uciążliwe – przede wszystkim fotowoltaiki.

Struktura preferencji była zbliżona we wszystkich grupach wiekowych – we wszystkich dominowała energia słoneczna i wiatrowa – jednak wśród osób w wieku 25-34 i częściej niż w pozostałych grupach wskazywano energetykę wodną jako preferowany rodzaj elektrowni w pobliżu miejsca zamieszkania (ok. 40% wskazań przy ok. 27–33% w pozostałych grupach). Preferowany rodzaj elektrowni OZE w pobliżu miejsca zamieszkania według wieku respondentów został zaprezentowany na rysunku 59.



Rys. 59. Preferowany rodzaj elektrowni OZE w pobliżu miejsca zamieszkania według wieku respondentów [N = 600]
Źródło: opracowanie własne

Wyniki badania mieszkańców pokazały, że energetyka odnawialna była szeroko akceptowana i w zdecydowanej większości postrzegana jako korzystniejsza niż związane z nią koszty społeczne. Respondenci najlepiej oceniali fotowoltaikę i energetykę wiatrową – jako najbardziej przyjazne środowisku, ekonomicznie opłacalne, korzystne dla zdrowia i najchętniej widziane w sąsiedztwie. Jednocześnie duża część badanych dostrzegała potencjalne negatywne skutki OZE (hałas, zajmowanie terenów rolnych, spadek wartości nieruchomości), miała ograniczoną wiedzę o działaniach minimalizujących te skutki i wyraźnie oczekiwała większej

przejrzystości oraz informacji o działaniach kompensacyjnych. Działania te były postrzegane jako istotny warunek akceptacji lokalnych inwestycji.

W kolejnej części analizy zestawione zostaną deklaracje przedsiębiorstw z sektora OZE z opiniami mieszkańców, co pozwoli ocenić, w jakim stopniu postrzeganie kosztów społecznych, działań kompensacyjnych i korzyści z OZE po obu stronach – biznesu i społeczności lokalnych – było spójne, a gdzie ujawniano istotne rozbieżności.

7.5. PORÓWNANIE OCEN PRZEDSIĘBIORSTW I MIESZKAŃCÓW

Zestawienie odpowiedzi przedsiębiorstw i mieszkańców ujawniło wyraźną lukę percepcyjną w ocenie działań podejmowanych na rzecz ograniczania kosztów społecznych OZE. Po stronie przedsiębiorstw dominowały deklaracje braku aktywności: 56,7% badanych firm przyznało, że nie podejmowało działań ukierunkowanych na minimalizację kosztów społecznych, podczas gdy działania takie deklarowało 38,0% podmiotów. W badaniu społecznym mieszkańcy znacznie rzadziej twierdzili, że przedsiębiorstwa „nic nie robią” — łącznie około 12–13% wskazań stanowiły odpowiedzi „nie” i „zdecydowanie nie” — natomiast ponad połowa respondentów (56,5%) nie potrafiła ocenić czy takie działania były w ogóle podejmowane. Oznacza to, że po stronie społecznej dominowała nie tyle jednoznacznie negatywna ocena przedsiębiorstw, lecz raczej niedostatek wiedzy o ich aktywności oraz ograniczona przejrzystość informacji w tym obszarze (tab. 70).

W celu porównania rozkładu odpowiedzi przedsiębiorstw i mieszkańców na pytanie dotyczące podejmowania działań minimalizujących koszty społeczne zastosowano test chi-kwadrat niezależności w tabeli 2×3. Uzyskany wynik wskazał na istotne statystycznie różnice w strukturze odpowiedzi, $\chi^2(2) = 179,44$; $p < 0,001$. Siła zależności, oszacowana współczynnikiem V Craméra, wyniosła 0,489, co wskazało na umiarkowanie silne zróżnicowanie rozkładów odpowiedzi.

Tabela 70. Porównanie deklaracji przedsiębiorstw i ocen mieszkańców dotyczących podejmowania działań minimalizujących koszty społeczne energetyki OZE [N = 600]

Skala odpowiedzi	Czy Państwa przedsiębiorstwo podejmuje działania mające na celu minimalizację kosztów społecznych swojej działalności?	Czy w Pani/Pana ocenie przedsiębiorstwa zajmujące się OZE podejmują działania minimalizujące te negatywne skutki?
Zdecydowanie tak, Tak	38,0%	31,0%
Zdecydowanie nie, Nie	56,7%	12,5%
Trudno powiedzieć	5,3%	56,5%

Źródło: opracowanie własne

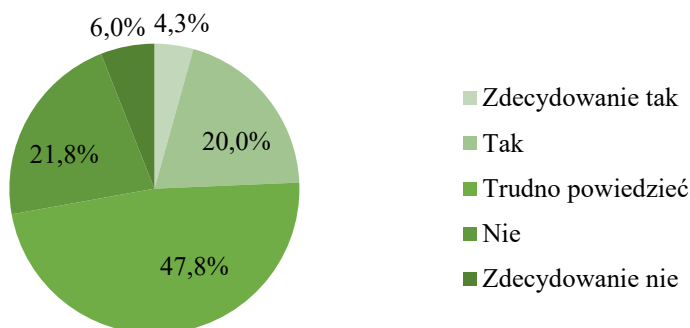
Porównanie wybranych czynników zdrowotnych i przestrzennych wskazało na częściową zbieżność ocen, ale także na wyraźne rozbieżności pomiędzy perspektywą przedsiębiorstw a opiniami mieszkańców. Największa zgodność dotyczyła hałasu:

uwzględniało go 59,1% przedsiębiorstw spośród tych, które deklarowały analizę czynników zdrowotnych, co odpowiadało 26% całej próby, natomiast 49,3% mieszkańców uznało hałas za skutek o dużym lub bardzo dużym znaczeniu. Słabsza, ale nadal widoczna zgodność dotyczyła jakości powietrza: 15,3% przedsiębiorstw deklarowało uwzględnianie tego aspektu, podczas gdy około jedna trzecia mieszkańców oceniła szkodliwe pyły jako problem istotny. Znacznie większe rozbieżności pojawiły się w odniesieniu do skutków przestrzennych. Ograniczenie dostępu do terenów rekreacyjnych i zielonych obszarów uwzględniało jedynie 4,6% przedsiębiorstw, podczas gdy ponad połowa mieszkańców oceniła zajmowanie terenów rolnych i jałowienie gleby jako skutek o dużym lub bardzo dużym znaczeniu. Odmienny obraz wystąpił w przypadku efektu migotania cienia — 10,7% przedsiębiorstw deklarowało, że brało go pod uwagę, natomiast wśród mieszkańców dominowała niepewność: 52,7% badanych wybrało odpowiedź „trudno powiedzieć”, a jedynie około jedna czwarta uznała ten skutek za poważny. Wyniki te sugerują, że przedsiębiorstwa w większym stopniu koncentrowały się na wybranych konkretnych efektach zdrowotnych, natomiast mieszkańcy silniej akcentowali koszty przestrzenne i krajobrazowe.

Wyrażna rozbieżność ujawnia się również w obszarze działań kompensacyjnych. Większość przedsiębiorstw nie podejmowała żadnych działań rekompensujących społeczne koszty inwestycji (68,7%), a jeśli już takie działania występowały, to koncentrowały się głównie na wsparciu lokalnych inicjatyw i funduszy społecznych (44,7%), obniżonych taryfach za energię dla okolicznych mieszkańców (31,9%), inwestycjach w infrastrukturę lokalną (27,7%), rekompensatach finansowych (27,7%) oraz dotacjach dla gospodarstw domowych na instalacje OZE (27,7%). Znacznie rzadziej pojawiały się działania, które mieszkańcy uznawali za szczególnie istotne z perspektywy długofalowych kosztów społecznych, takie jak udział społeczności w zyskach (4,3%), działania kompensacyjne na rzecz środowiska przyrodniczego (2,1%), magazynowanie energii w celu stabilizacji dostaw (2,1%) czy działania edukacyjne i promocyjne dotyczące OZE (13,3%). Tymczasem w badaniu społecznym wysokie znaczenie przypisywano zarówno materialnym formom kompensacji, jak i ochronie środowiska, magazynowaniu energii oraz działaniom wzmacniającym dialog ze społecznością lokalną.

Powyższe obserwacje potwierdziła także analiza ilościowa. Zależność pomiędzy częstością stosowania poszczególnych działań kompensacyjnych przez przedsiębiorstwa a oceną ich znaczenia wśród mieszkańców zweryfikowano z wykorzystaniem współczynnika korelacji rang Spearmana. Uzyskana wartość $\rho = -0,36$ wskazała na słabą ujemną zależność, co oznacza, że działania relatywnie częściej stosowane przez przedsiębiorstwa nie należały do tych, które mieszkańcy uznali za najważniejsze, natomiast wyżej oceniane przez społeczność formy kompensacji wdrażane były rzadziej. Wynik ten współgrał z oceną ogólnego poziomu działań kompensacyjnych firm OZE dokonaną przez mieszkańców. Blisko połowa badanych (47,8%) odpowiadała „trudno powiedzieć”, co wskazało na niską percepcję takich działań w przestrzeni lokalnej, a odsetek osób przekonanych, że przedsiębiorstwa nie podejmowały wystarczających działań (27,8%) był wyższy niż udział odpowiedzi pozytywnych (24,3%). Można zatem wnioskować, że mieszkańcy nie tylko rzadko dostrzegali aktywność firm w tym obszarze, ale również mieli

ograniczone zaufanie co do jej skali i adekwatności wobec ponoszonych kosztów społecznych (rys. 60).



Rys. 60. Ocena przedsiębiorstw OZE w zakresie podejmowania wystarczających działań kompensacyjnych dla minimalizowania kosztów społecznych przez mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego [N = 600]

Źródło: opracowanie własne

Wyniki wskazały ponadto, że mieszkańcy byli bardziej otwarci na inwestycje OZE, niż wynikałoby to z ostrożności samych przedsiębiorstw. W badaniu społecznym ponad połowa respondentów zadeklarowała pozytywną lub bardzo pozytywną reakcję na informację o powstaniu nowej instalacji OZE w promieniu do 50 km od miejsca zamieszkania, a 64,0% wskazało, że byłoby bardziej skłonne zaakceptować taką inwestycję, gdyby firma podjęła działania kompensacyjne. Tymczasem po stronie przedsiębiorstw dominowała strategiczna bierność: 79,3% badanych firm nie przewidywało istotnych zmian w zakresie uwzględniania kosztów społecznych w swojej strategii biznesowej i decyzjach zarządczych. Oznacza to, że potencjał społecznej akceptacji istniał, lecz nie był w pełni wykorzystywany przez przedsiębiorstwa.

Istotna różnica dotyczyła również znaczenia transparentności i komunikacji. Mieszkańcy w zdecydowanej większości oczekiwali, że przedsiębiorstwa OZE powinny szerzej informować społeczeństwo o podejmowanych działaniach kompensacyjnych — opinię taką wyraziło 79,2% respondentów. Ponadto ponad połowa badanych uważała, że działania firm w zakresie minimalizacji kosztów społecznych przekładały się na większą akceptację społeczną inwestycji. Po stronie przedsiębiorstw tylko 40,0% uznało, że większa transparentność mogłaby w istotnym stopniu zwiększyć akceptację społeczną, a 32,0% nie potrafiło tego ocenić. Dodatkowo komunikacja i relacje społeczne zostały wskazane jako czynnik najsilniej wpływający na działalność przedsiębiorstwa jedynie przez 6,7% firm. Pokazuje to, że mieszkańcy przypisywali komunikacji i jawności znacznie większą rolę niż same przedsiębiorstwa.

Rozbieżność widoczna była także w ekonomicznym i lokalnym wymiarze korzyści społecznych. Mieszkańcy wysoko oceniali takie korzyści rozwoju OZE, jak obniżenie kosztów energii w długim okresie, stabilność cen energii oraz tworzenie nowych miejsc pracy. W badaniu społecznym za szczególnie istotne uznawano

również inwestycje w infrastrukturę lokalną oraz dotacje dla gospodarstw domowych. Tymczasem po stronie przedsiębiorstw tylko 10,0% firm uwzględniało wpływ cen energii na gospodarstwa domowe i przedsiębiorstwa, 7,3% brało pod uwagę koszty związane z zatrudnieniem lokalnej siły roboczej, a zatrudnianie lokalnych pracowników w fazie budowy i eksploatacji pojawiało się marginalnie. Wyniki te wskazały, że mieszkańcy silniej wiązali rozwój OZE z codziennymi korzyściami ekonomicznymi i lokalnym rynkiem pracy, podczas gdy przedsiębiorstwa rzadziej traktowały te elementy jako istotny składnik zarządzania kosztami społecznymi.

Na uwagę zasługuje także rozbieżność pomiędzy ogólnym postrzeganiem ryzyk a doświadczeniem lokalnym. Mieszkańcy przypisywali wysokie znaczenie takim potencjalnym skutkom OZE, jak hałas, zajmowanie terenów rolnych, zagrożenie dla ptaków i nietoperzy czy problematyczny recykling komponentów, jednak wpływ energetyki odnawialnej w swojej najbliższej okolicy najczęściej oceniali jako neutralny. Równocześnie po stronie przedsiębiorstw niemal nie występowały deklaracje realnych zakłóceń inwestycji przez koszty społeczne — 99,3% firm wskazało, że takie sytuacje nie wystąpiły, a jedynie 0,7% odnotowało opóźnienie projektu. Sugeruje to, że część społecznych obaw miała charakter bardziej ogólny i wyobrażeniowy niż oparty na bezpośrednim doświadczeniu lokalnym, natomiast po stronie przedsiębiorstw problemy społeczne rzadko były ujmowane jako bezpośrednie ryzyko operacyjne.

Całość wyników wskazała na niski poziom instytucjonalizacji zarządzania kosztami społecznymi po stronie przedsiębiorstw, co może tłumaczyć ograniczoną rozpoznawalność tych działań wśród mieszkańców. Jedynie 14,6% firm wykazywało bardziej usystematyzowane podejście do uwzględniania kosztów społecznych przy planowaniu inwestycji, 56,0% nie prowadziło żadnej analizy kosztów społecznych, 9,3% współpracowało z administracją publiczną w tym zakresie, a 70,6% w ogóle nie korzystało z narzędzi cyfrowych do monitorowania swojego wpływu na społeczność lokalną. W takiej sytuacji wysoki udział odpowiedzi „trudno powiedzieć” po stronie społecznej nie musi oznaczać obojętności mieszkańców, lecz może być pochodną słabej formalizacji, niskiej przejrzystości oraz małej widoczności działań przedsiębiorstw w obszarze kosztów społecznych.

7.6. MODEL SPOŁECZNEJ AKCEPTACJI INWESTYCJI OZE W WOJEWÓDZTWIE KUJAWSKO-POMORSKIM

Po przedstawieniu wyników dotyczących perspektywy przedsiębiorstw, w dalszej części analiz skoncentrowano się na modelu społecznej akceptacji OZE wśród mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego. W pierwszym etapie oceniono rzetelność wyodrębnionych konstruktów. Szczególnej uwagi wymagał konstrukt K4 – Zaufanie do firm OZE, który w wersji pierwotnej osiągnął wartość $\alpha = 0,656$. Analiza korelacji pozycja–skala wskazała, że pytanie 15 najsłabiej wiązało się z pozostałymi pozycjami skali ($r = 0,136$). Po jego usunięciu rzetelność wzrosła do $\alpha = 0,691$, dlatego w dalszych analizach zastosowano wersję zoptymalizowaną konstrukt (K4_opt).

Najwyższą średnią uzyskał konstrukt K1 – Postrzegane korzyści z OZE ($M = 3,88$; $SD = 0,69$), co wskazuje na wyraźnie pozytywną ocenę potencjalnych

korzyści energetyki odnawialnej. Najniższą średnią odnotowano dla konstruktu K4_opt – Zaufanie do firm OZE ($M = 3,20$; $SD = 0,61$), co sugeruje bardziej powściągliwy stosunek respondentów do przedsiębiorstw sektora OZE. Poziom akceptacji społecznej OZE (K5) wyniósł $M = 3,59$; $SD = 0,64$, a więc pozostawał umiarkowanie wysoki. Trzy z pięciu skal osiągnęły bardzo dobrą rzetelność, natomiast skala K4_opt cechowała się niższą rzetelnością, a skala K5 – rzetelnością akceptowalną (tab. 71).

Tabela 71. Statystyki opisowe i rzetelność konstruktów modelu [N = 600]

Konstrukt	N	Min.	Max.	M	SD	α Cronbacha
K1 – Postrzegane korzyści z OZE	600	1,3	4,7	3,88	0,69	0,887
K2 – Postrzegane koszty społeczne OZE	600	1,3	4,7	3,30	0,66	0,855
K3 – Działania kompensacyjne firm OZE	600	1,3	4,7	3,52	0,73	0,891
K4 – Zaufanie do firm OZE (oryg., 6 poz.)	600	1,0	5,0	3,35	0,55	0,656
K4_opt – Zaufanie do firm OZE (opt., 5 poz.)	600	1,0	5,0	3,20	0,61	0,691
K5 – Akceptacja społeczna OZE	600	1,2	5,0	3,59	0,64	0,742

Uwagi: M – średnia arytmetyczna; SD – odchylenie standardowe; α – współczynnik alfa Cronbacha. K4_opt = wersja zoptymalizowana po usunięciu pytania 15

Źródło: opracowanie własne

Przed przystąpieniem do analizy regresji zbadano zależności między konstruktami przy użyciu współczynnika korelacji liniowej Pearsona. Najsilniejszy dodatni związek ze zmienną zależną, czyli akceptacją społeczną OZE, wykazały postrzegane korzyści z OZE: $r = 0,679$; $p < 0,001$. Wynik ten wskazuje, że wraz ze wzrostem postrzeganych korzyści rośnie poziom akceptacji inwestycji OZE.

Umiarkowane dodatnie korelacje z akceptacją wykazały również: działania kompensacyjne firm OZE ($r = 0,553$; $p < 0,001$) oraz zaufanie do firm OZE ($r = 0,476$; $p < 0,001$). Z kolei postrzegane koszty społeczne OZE korelowały z akceptacją ujemnie: $r = -0,302$; $p < 0,001$, co oznacza, że wzrost obaw dotyczących negatywnych skutków OZE współwystępował ze spadkiem poziomu społecznej akceptacji.

Wśród samych predyktorów najsilniejszy związek wystąpił między K1 i K3 ($r = 0,609$; $p < 0,001$), co oznacza, że osoby wysoko oceniające korzyści z OZE częściej wysoko oceniały także działania kompensacyjne firm. Korelacje K4_opt z pozostałymi predyktorami były umiarkowane: z K1 wyniosła 0,398, z K3 0,464, natomiast z K2 była słaba i ujemna ($-0,187$). Wskazuje to, że zaufanie do firm OZE jest powiązane z bardziej ogólnym pozytywnym nastawieniem wobec sektora, ale nie pokrywa się z nim całkowicie (tab. 72).

Tabela 72. Macierz korelacji Pearsona między konstruktami modelu [N = 600]

Zmienna	K1	K2	K3	K4_opt	K5
K1 – Korzyści	1,000	-0,097*	0,609***	0,398***	0,679***
K2 – Koszty	-0,097*	1,000	-0,046	-0,187***	-0,302***
K3 – Kompensacja	0,609***	-0,046	1,000	0,464***	0,553***
K4_opt – Zaufanie	0,398***	-0,187***	0,464***	1,000	0,476***
K5 – Akceptacja	0,679***	-0,302***	0,553***	0,476***	1,000

Uwaga. * $p < 0,05$; *** $p < 0,001$; test dwustronny

Źródło: opracowanie własne

Analiza regresji wielorakiej

W celu określenia relatywnej siły i kierunku oddziaływania poszczególnych czynników na akceptację społeczną OZE przeprowadzono analizę regresji wielorakiej metodą wprowadzania (enter) – tabela 73. Zmienną zależną była K5 – Akceptacja społeczna OZE, a predyktorami: K1 – postrzegane korzyści, K2 – postrzegane koszty społeczne, K3 – działania kompensacyjne oraz K4_opt – zaufanie do firm OZE. Model okazał się istotny statystycznie: $F(4, 595) = 196,55$; $p < 0,001$. Współczynnik determinacji wyniósł $R^2 = 0,569$, a po korekcie $R^2_{adj} = 0,566$, co oznacza, że przyjęty zestaw predyktorów wyjaśniał 56,9% wariancji akceptacji społecznej OZE.

Tabela 73. Wyniki analizy regresji wielorakiej – predyktory akceptacji społecznej OZE [N = 600] Model: $R^2 = 0,569$; $R^2_{adj} = 0,566$; $F(4, 595) = 196,55$; $p < 0,001$

Predyktor	B	SE	β	t	p	r zero-order	r cząstkowe
Stała	1,447	0,155	—	9,31	< 0,001	—	—
K1 – Postrzegane korzyści	0,457	0,032	0,492	14,27	< 0,001	0,679	0,505
K2 – Postrzegane koszty	-0,210	0,027	-0,217	-7,89	< 0,001	-0,302	-0,308
K3 – Działania kompensacyjne	0,148	0,031	0,168	4,70	< 0,001	0,553	0,189

Predyktor	B	SE	β	t	p	r zero-order	r częściowe
K4_opt – Zaufanie do firm OZE	0,169	0,033	0,162	5,17	< 0,001	0,476	0,208

Uwaga. B – współczynnik niestandardyzowany; SE – błąd standardowy; β – współczynnik standaryzowany

Źródło: opracowanie własne

Równanie regresji przyjęło postać:

$$K5 = 1,447 + 0,457 * K1 - 0,210 * K2 + 0,148 * K3 + -0,169 * K4_opt$$

Najsilniejszym predyktorem akceptacji okazały się postrzegane korzyści z OZE ($\beta = 0,492$; $t = 14,27$; $p < 0,001$). Oznacza to, że przy kontroli pozostałych zmiennych korzyści zachowywały najsilniejszy dodatni związek z poziomem akceptacji. Postrzegane koszty społeczne OZE były drugim co do siły predyktorem, lecz o kierunku ujemnym ($\beta = -0,217$; $t = -7,89$; $p < 0,001$), co potwierdza, że wzrost percepcji kosztów wiązał się ze spadkiem akceptacji. Istotny, choć wyraźnie słabszy, dodatni wpływ miały również działania kompensacyjne firm OZE ($\beta = 0,168$; $t = 4,70$; $p < 0,001$) oraz zaufanie do firm OZE ($\beta = 0,162$; $t = 5,17$; $p < 0,001$). Oznacza to, że oba te czynniki pozostawały istotnie związane z akceptacją także po uwzględnieniu pozostałych predyktorów, choć ich znaczenie było mniejsze niż w przypadku korzyści i kosztów. Diagnostyka wielokolinearności nie wskazała na istotny problem współliniowości predyktorów; wartości VIF mieściły się w przedziale od 1,04 do 1,76, a tolerancja dla wszystkich zmiennych przekraczała poziom 0,50.

Porównanie korelacji prostych i częściowych wskazuje, że w przypadku K3 i K4_opt część związku z akceptacją była współdzielona z innymi predyktorami, zwłaszcza z postrzeganymi korzyściami. Nie oznacza to jednak braku znaczenia tych zmiennych, lecz raczej to, że są one osadzone w szerszym układzie pozytywnych ocen sektora OZE. W tym sensie wyniki mogą wskazywać na współwystępowanie korzystnych ocen różnych aspektów funkcjonowania sektora, a nie na całkowicie niezależne wymiary postaw.

Różnice demograficzne w akceptacji społecznej OZE (ANOVA)

W celu zbadania, czy zmienne demograficzne różnicują poziom akceptacji społecznej OZE, przeprowadzono jednoczynnikowe analizy wariancji (ANOVA). Analizowano cztery zmienne niezależne: płeć, wiek, wykształcenie i miejsce zamieszkania. Zmienną zależną we wszystkich analizach był konstrukt K5 – Akceptacja społeczna OZE (tab. 74).

Tabela 74. Wyniki jednoczynnikowych analiz wariancji (ANOVA) dla K5 – Akceptacja społeczna OZE [N = 600]

Zmienna demograficzna	F	df	p	η^2	Wniosek
Płeć	$F(1, 597) = 0,29$	1, 597	$p > 0,05$	—	Brak istotnych różnic
Wiek	$F(5, 594) = 0,33$	5, 594	$p > 0,05$	—	Brak istotnych różnic
Wykształcenie	$F(3, 596) = 4,04$	3, 596	$p < 0,05$	0,020	Istotne różnice*
Miejsce zamieszkania	$F(3, 596) = 4,41$	3, 596	$p < 0,05$	0,022	Istotne różnice*

Uwaga. Dla płci pominięto 1 osobę z odpowiedzią „Nie chcę podawać”, dlatego analiza obejmuje kobiety i mężczyzn. W obu istotnych przypadkach wielkość efektu była mała

Źródło: opracowanie własne

Poziom akceptacji społecznej OZE nie był istotnie zróżnicowany ze względu na płeć respondentów. Analiza wariancji nie wykazała również istotnych różnic między sześcioma grupami wiekowymi. Stwierdzono istotne zróżnicowanie poziomu akceptacji OZE ze względu na wykształcenie: $F(3, 596) = 4,04$; $p < 0,05$; $\eta^2 = 0,020$. Wielkość efektu była jednak mała, co oznacza, że znaczenie tej zmiennej, choć istotne statystycznie, pozostawało ograniczone (tab. 75).

Tabela 75. Średnie akceptacji społecznej OZE (K5) według wykształcenia z wynikami testów post-hoc (Bonferroni) [N = 600]

Grupa wykształcenia	n	M	SD	Różnice istotne (Bonferroni)
Podstawowe	10	3,76	0,59	Brak (mała liczebność)
Zawodowe	34	3,40	0,78	Brak
Średnie	237	3,51	0,61	Niżej niż wyższe*
Wyższe	319	3,67	0,64	Wyżej niż średnie*

Uwaga. * $p < 0,05$ po korekcie Bonferroniego

Źródło: opracowanie własne

Jedyna istotna różnica po korekcie Bonferroniego wystąpiła między osobami z wykształceniem wyższym ($M = 3,67$; $SD = 0,64$; $n = 319$) a osobami z wykształceniem średnim ($M = 3,51$; $SD = 0,61$; $n = 237$): $t = -2,93$; $p < 0,05$. Grupy z wykształceniem podstawowym i zawodowym nie różniły się istotnie od pozostałych, jednak ich niewielka liczebność ogranicza siłę wnioskowania. Wynik ten można interpretować ostrożnie jako przejaw nieco wyższej akceptacji OZE wśród osób lepiej wykształconych.

Stwierdzono również istotne różnice w poziomie akceptacji OZE ze względu na miejsce zamieszkania: $F(3, 596) = 4,41$; $p < 0,05$; $\eta^2 = 0,022$. Także w tym przypadku wielkość efektu była mała (tab. 76).

Tabela 76. Średnie akceptacji społecznej OZE (K5) według miejsca zamieszkania z wynikami testów post-hoc (Bonferroni) [N = 600]

Miejsce zamieszkania	n	M	SD	Różnice istotne (Bonferroni)
Wieś	133	3,45	0,58	Niżej niż miasta 51–200 tys.* i >200 tys.*
Miasto do 50 tys.	148	3,54	0,66	Brak istotnych różnic
Miasto 51–200 tys.	164	3,67	0,62	Wyżej niż wieś*
Miasto > 200 tys.	155	3,67	0,68	Wyżej niż wieś*

Uwaga. * $p < 0,05$ po korekcie Bonferroniego

Źródło: opracowanie własne

Mieszkańcy wsi ($M = 3,45$; $SD = 0,58$; $n = 133$) wykazywali istotnie niższy poziom akceptacji OZE niż mieszkańcy miast średnich 51–200 tys. mieszkańców ($M = 3,67$; $SD = 0,62$; $n = 164$) oraz miast dużych powyżej 200 tys. mieszkańców ($M = 3,67$; $SD = 0,68$; $n = 155$). Nie stwierdzono natomiast istotnych różnic między wsią a małymi miastami do 50 tys. mieszkańców ($M = 3,54$; $SD = 0,66$; $n = 148$) ani pomiędzy poszczególnymi kategoriami miast.

Choć wykształcenie i miejsce zamieszkania różnicowały poziom akceptacji OZE w sposób istotny statystycznie, wielkości efektu były małe (η^2 odpowiednio 0,020 i 0,022), co wskazuje na ich ograniczone znaczenie wyjaśniające. Wynik ten może być interpretowany jako zgodny z mechanizmem opisywanym w literaturze jako NIMBY, zgodnie z którym akceptacja dla inwestycji maleje, gdy są one postrzegane jako bliskie przestrzennie i potencjalnie uciążliwe. Należy jednak podkreślić, że na podstawie niniejszego badania nie można tego mechanizmu bezpośrednio potwierdzić; można jedynie wskazać, że niższa akceptacja mieszkańców wsi jest z nim spójna interpretacyjnie.

Przeprowadzone analizy korelacyjne, regresyjne i wariacyjne składają się na spójny obraz uwarunkowań społecznej akceptacji OZE w województwie kujawsko-pomorskim. Model regresji wyjaśniał 56,9% wariancji akceptacji, co oznacza, że przyjęty zestaw zmiennych w dużym stopniu tłumaczył zróżnicowanie postaw w badanej próbie. Spośród analizowanych predyktorów najsilniejszy dodatni związek z akceptacją wykazywały postrzegane korzyści z OZE, natomiast postrzegane koszty społeczne pełniły rolę najważniejszego czynnika ograniczającego poziom akceptacji. Działania kompensacyjne oraz zaufanie do firm OZE również wносиły istotny wkład do modelu, ale ich znaczenie było wyraźnie mniejsze. Wśród zmiennych demograficznych istotne różnice odnotowano jedynie dla wykształcenia i miejsca zamieszkania, przy czym w obu przypadkach wielkości efektu były małe. Czynniki demograficzne miały znaczenie drugorzędne wobec zmiennych

poznawczych, takich jak percepcja korzyści, kosztów, działań kompensacyjnych oraz zaufania do przedsiębiorstw OZE.

Interpretacja modelu społecznej akceptacji OZE w ujęciu PLS-SEM

W celu pogłębionej analizy zależności między konstruktami latentnymi zastosowano modelowanie PLS-SEM. Uzyskane wyniki wskazują, że model w umiarkowanym stopniu wyjaśniał zmienność konstruktów zaufania i oceny działań przedsiębiorstw OZE (Z) ($R^2 = 0,447$; R^2 skorygowane = 0,446), natomiast w wysokim stopniu wyjaśniał zmienność konstruktów akceptacji społecznej OZE (AKC) ($R^2 = 0,871$; R^2 skorygowane = 0,871). Przyjęty układ zależności stosunkowo dobrze tłumaczył poziom zaufania do przedsiębiorstw OZE i ocenę działań przedsiębiorstw, a jednocześnie bardzo dobrze wyjaśniał poziom społecznej akceptacji inwestycji w odnawialne źródła energii.

Analiza ścieżek strukturalnych wykazała, że wszystkie główne relacje ujęte w modelu były istotne statystycznie. Działania kompensacyjne (KOMP) dodatnio wpływały na zaufanie do przedsiębiorstw OZE i ocenę działań tychże (Z) ($\beta = 0,671$; $p < 0,001$), a odpowiadająca tej relacji wielkość efektu była wysoka ($f^2 = 0,807$). Wynik ten wskazuje, że wyższa ocena działań kompensacyjnych wiązała się z wyższym poziomem zaufania do przedsiębiorstw sektora OZE i wyższą oceną ich działań.

W przypadku konstruktów akceptacji społecznej OZE (AKC) najsilniejszym predyktorem okazały się korzyści OZE (B), których wpływ był dodatni i istotny statystycznie ($\beta = 0,613$; $p < 0,001$). Wielkość efektu dla tej relacji była bardzo wysoka ($f^2 = 1,931$), co oznacza, że spośród analizowanych predyktorów to właśnie postrzegane korzyści OZE były najsilniej związane z poziomem akceptacji społecznej.

Jednocześnie koszty społeczne OZE (C) wpływały na akceptację społeczną ujemnie i istotnie statystycznie ($\beta = -0,200$; $p < 0,001$), przy umiarkowanej wielkości efektu ($f^2 = 0,266$). Oznacza to, że wzrost postrzeganych negatywnych skutków społecznych związanych z rozwojem OZE wiązał się ze spadkiem poziomu ich akceptacji. Siła tej zależności była jednak wyraźnie mniejsza niż w przypadku postrzeganych korzyści.

Istotny wpływ na akceptację społeczną miało także zaufanie i ocena działań przedsiębiorstw OZE (Z). Relacja $Z \rightarrow AKC$ była dodatnia i istotna ($\beta = 0,354$; $p < 0,001$), a jej wielkość efektu wyniosła $f^2 = 0,570$. Wynik ten wskazuje, że wyższy poziom zaufania do przedsiębiorstw OZE i wyższe oceny ich działań były związane z wyższym poziomem społecznej akceptacji inwestycji.

W modelu nie uwzględniono bezpośredniej ścieżki między działaniami kompensacyjnymi a akceptacją społeczną, natomiast oszacowany efekt całkowity dla relacji $KOMP \rightarrow AKC$ wyniósł $\beta = 0,237$; $p < 0,001$, przy przedziale ufności 0,143–0,334. Ponieważ w modelu nie uwzględniono bezpośredniej ścieżki $KOMP \rightarrow AKC$, oszacowany efekt całkowity należy interpretować jako wpływ pośredni realizowany za pośrednictwem zaufania. Oznacza to, że działania kompensacyjne były związane ze wzrostem akceptacji społecznej przede wszystkim dlatego, że wzmacniały zaufanie do przedsiębiorstw OZE.

Ocena współliniowości predyktorów nie wskazuje na występowanie istotnego problemu metodologicznego. Wartości VIF dla predyktorów konstruktów akceptacji społecznej mieściły się w przedziale od 1,137 do 1,675, co oznacza, że zmienne objaśniające nie były nadmiernie współzależne i wносиły do modelu względnie odrębną informację.

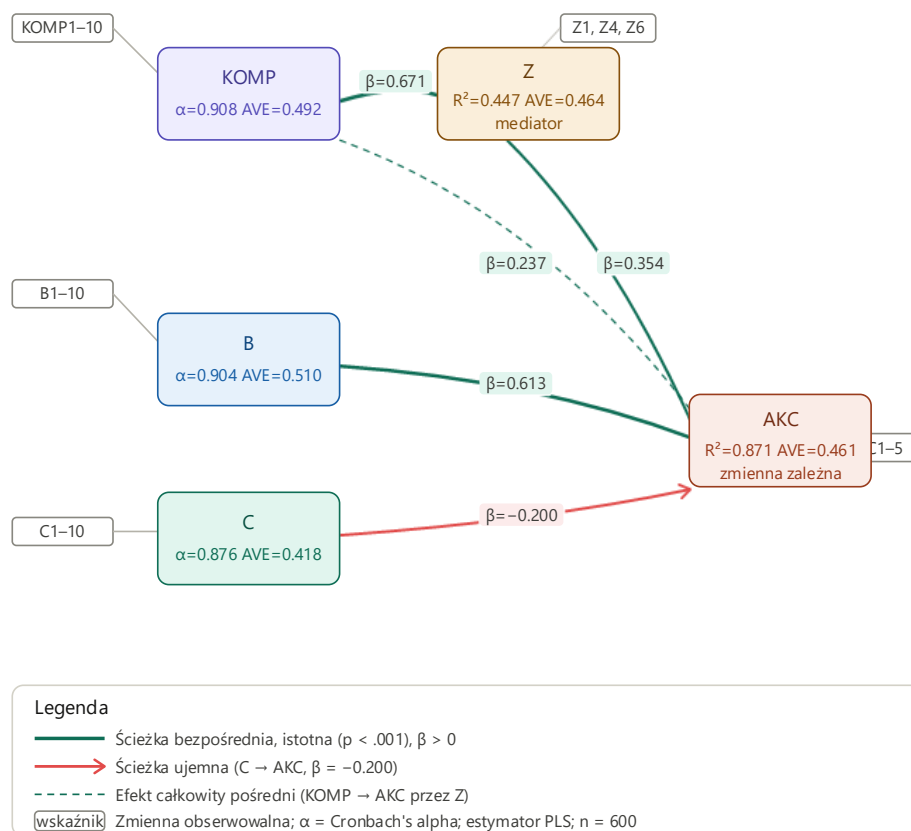
W odniesieniu do modelu pomiarowego należy stwierdzić, że jego jakość była zróżnicowana. Najwyższe wskaźniki rzetelności uzyskano dla konstruktów działań kompensacyjnych ($\alpha = 0,908$; $\rho = 0,905$; $\rho_A = 0,910$) oraz korzyści OZE ($\alpha = 0,904$; $\rho = 0,900$; $\rho_A = 0,913$). Dobre właściwości rzetelnościowe uzyskano także dla konstruktów kosztów społecznych OZE ($\alpha = 0,876$; $\rho = 0,847$; $\rho_A = 0,888$) oraz akceptacji społecznej ($\alpha = 0,796$; $\rho = 0,796$; $\rho_A = 0,809$). Relatywnie niższe wartości wskaźników odnotowano dla konstruktów zaufania i oceny działań przedsiębiorstw ($\alpha = 0,681$; $\rho = 0,679$; $\rho_A = 0,718$), co wskazuje, że na tle pozostałych konstruktów charakteryzował się on niższą rzetelnością, pozostającą jednak na poziomie dopuszczalnym w analizie eksploracyjnej.

Wartości AVE były zróżnicowane. Klasyczny próg 0,50 przekroczył jedynie konstrukt korzyści OZE (AVE = 0,510), natomiast dla pozostałych konstruktów uzyskano wartości niższe: KOMP = 0,492, Z = 0,464, AKC = 0,461 oraz C = 0,418, co wskazuje na zróżnicowany poziom trafności zbieżnej między konstruktami.

Analiza ładunków zewnętrznych wskazuje, że najlepiej pod względem spójności wskaźników wypadały konstrukty korzyści OZE oraz działań kompensacyjnych. Większe zróżnicowanie jakości wskaźników odnotowano w konstrukcie kosztów społecznych OZE oraz w konstrukcie zaufania. Szczególnie słabo wypadła pozycja C7, która nie osiągnęła istotności statystycznej ($p = 0,094$), a także kilka pozycji o niskich ładunkach w obrębie kosztów społecznych i zaufania, oceny działań. W przypadku akceptacji społecznej wartości ładunków miały na ogół umiarkowany poziom.

Wyniki modelu PLS-SEM wskazują, że społeczna akceptacja OZE była najsilniej związana z postrzeganymi korzyściami, w dalszej kolejności z zaufaniem do przedsiębiorstw OZE i oceną ich działań, a ujemnie z postrzeganymi kosztami społecznymi. Działania kompensacyjne nie oddziaływały na akceptację bezpośrednio, lecz pośrednio — poprzez wzmacnianie zaufania i wyższe oceny działań przedsiębiorstw. Model można uznać za interpretacyjnie użyteczny, przy czym część pomiarowa nie była jednakowo silna dla wszystkich konstruktów, szczególnie w obszarze kosztów społecznych i zaufania.

Na rys. 61 przedstawiono graficzną ilustrację oszacowanego modelu strukturalnego metodą częściowych najmniejszych kwadratów (PLS-SEM). Strzałki jednokierunkowe reprezentują hipotetyczne zależności przyczynowo-skutkowe. Przy każdej ścieżce strukturalnej podano standaryzowany współczynnik regresji β .



Rys. 61. Schemat ścieżek modelu PLS-SEM
Źródło: opracowanie własne

Interpretując uzyskane wyniki, należy mieć na uwadze kilka ograniczeń metodycznych związanych bezpośrednio z oszacowanym modelem. Wartości średniej wariancji wyodrębnionej (AVE) dla konstruktyw kosztów społecznych OZE ($C = 0,418$) oraz zaufania do przedsiębiorstw OZE i oceny ich działań ($Z = 0,464$) nieznacznie nie osiągają konwencjonalnego progu 0,5 postulowanego przez Fornella i Larckera (1981), co może sygnalizować pewne ograniczenia trafności zbieżnej zastosowanych skal. Należy jednak podkreślić, że wszystkie współczynniki rzetelności kompozytowej oraz Dijkstra-Henseler's ρ_A dla obu konstruktyw przekraczają próg 0,70, co świadczy o zadowalającej rzetelności wewnętrznej. Dodatkowo wskaźnik Z6 charakteryzował się najniższym ładunkiem czynnikowym spośród wskaźników konstruktyw zaufania ($\lambda = 0,440-0,497$), co sugeruje potrzebę rewizji lub rozbudowy operacjonalizacji tej zmiennej w kolejnych badaniach. Ponadto przekrojowy charakter zebranych danych uniemożliwia jednoznaczne wnioskowanie o kierunku przyczynowości wykrytych zależności – zidentyfikowane relacje strukturalne należy traktować jako statystyczne

współwystępowanie, nie zaś jako udowodniony związek przyczynowo-skutkowy. Szczegółowe omówienie ograniczeń badania oraz wynikających z nich kierunków przyszłych eksploracji zostało przedstawione w zakończeniu pracy.

ZAKOŃCZENIE

Pojęcie kosztów społecznych związanych z rozwojem odnawialnych źródeł energii należy rozpatrywać w szerokim ujęciu, wykraczającym poza bezpośrednie nakłady finansowe związane z realizacją projektów inwestycyjnych. Obejmuje ono również oddziaływanie na gospodarkę, środowisko naturalne oraz strukturę społeczną. Uwzględnienie tych wielowymiarowych konsekwencji pozwala na pełniejszą ocenę rzeczywistych kosztów i korzyści transformacji energetycznej. Analiza społecznych kosztów energii odnawialnej ma kluczowe znaczenie dla formułowania polityki publicznej, która powinna równoważyć cele ekonomiczne i klimatyczne z potrzebą minimalizowania ewentualnych obciążeń ponoszonych przez lokalne społeczności. Podejście to umożliwia także identyfikację potencjalnych kompromisów i barier, które mogą pojawić się w procesie wdrażania OZE, a jednocześnie wskazuje na konieczność projektowania rozwiązań sprzyjających akceptacji społecznej oraz długoterminowej stabilności systemu energetycznego.

Rozwój odnawialnych źródeł energii w województwie kujawsko-pomorskim, mimo widocznych postępów w zakresie mocy zainstalowanej i liczby przedsięwzięć inwestycyjnych, wiązał się z wielowymiarowymi wyzwaniami społecznymi. Region ten należy do krajowych liderów pod względem udziału energii odnawialnej w bilansie elektroenergetycznym, a jednocześnie charakteryzuje się dużą różnorodnością struktur osadniczych i przestrzennych. Występują tu zarówno silnie zurbanizowane obszary przemysłowe (Bydgoszcz, Toruń, Włocławek), jak i rozległe tereny rolnicze (*„Geodezyjna powierzchnia użytków rolnych w regionie obejmuje 1 164,9 tys. ha, co stanowi 64,8% obszaru województwa.”*⁵⁸⁴) oraz obszary przyrodniczo cenne⁵⁸⁵, co czyni proces lokalizacji inwestycji OZE szczególnie wrażliwym społecznie. Wyzwania te dotyczyły nie tylko fizycznego oddziaływania instalacji na krajobraz i środowisko, lecz także sposobu, w jaki lokalne społeczności postrzegały obecność przedsiębiorstw OZE w swoim otoczeniu.

Zarządzanie kosztami społecznymi w sektorze OZE wymagało uwzględnienia złożonej sieci zależności między interesami inwestorów, potrzebami społeczności lokalnych oraz wymogami zrównoważonego rozwoju. Szczególnego znaczenia w analizie kosztów społecznych nabrał lokalny kontekst województwa kujawsko-pomorskiego, który łączy cechy regionu rolniczego i przemysłowego. W miarę wzrostu liczby instalacji i zwiększania skali inwestycji, coraz wyraźniej mogą ujawniać się konflikty przestrzenne, problemy komunikacyjne i różnice w percepcji korzyści oraz zagrożeń wynikających z eksploatacji odnawialnych źródeł energii.

W miejscowościach o charakterze rolniczym rozwój energetyki odnawialnej wiązał się często z koniecznością zmiany dotychczasowego sposobu użytkowania gruntów. Instalacje fotowoltaiczne i farmy wiatrowe zajmowały tereny, które

⁵⁸⁴ Kujawsko-Pomorski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Minikowie, *Diagnoza sytuacji społeczno-gospodarczej rolnictwa, obszarów wiejskich i przetwórstwa województwa kujawsko-pomorskiego z określeniem analizy SWOT*, (2019).

⁵⁸⁵ M. Bujewski, *Obszary chronionego krajobrazu*, „Nadleśnictwo Runowo” (2023), <https://runowo.torun.lasy.gov.pl/obszary-chronionego-krajobrazu>; <https://parki.kujawsko-pomorskie.pl/>, *Nadgoplański Park Tysiąclecia*.

wcześniej pełniły funkcje produkcyjne lub krajobrazowe, co rodziło lokalne napięcia. Dla części społeczności mogło to oznaczać ograniczenie dostępu do ziemi rolnej, dla innych – szansę na dodatkowe dochody z dzierżawy. W efekcie ten sam proces gospodarczy może być postrzegany jednocześnie jako szansa i jako zagrożenie.

Z kolei w gminach o tradycjach przemysłowych i poprzemysłowych (np. okolice Bydgoszczy, Włocławka, Inowrocławia) dominowały wyzwania o innym charakterze – dotyczące reintegracji społecznej i przestrzennej terenów zdegradowanych. W takich miejscach inwestycje OZE często spotykały się z większą akceptacją, ponieważ wpisywały się w proces rewitalizacji gospodarczej i poprawy wizerunku regionu. Jednak również tam mogły pojawić się problemy z komunikacją społeczną i rozbieżnością między obietnicami inwestorów a faktycznymi korzyściami odczuwanymi przez mieszkańców.

Znaczenie lokalnego kontekstu polegało zatem nie tylko na odmiennych uwarunkowaniach ekonomicznych, ale również na różnicach w strukturze społecznej i poziomie kapitału społecznego. W mniejszych miejscowościach relacje między mieszkańcami a inwestorami miały często bezpośredni charakter – konflikt lub zaufanie może tu kształtować się szybciej i mieć trwalsze skutki. Wysoka widoczność zmian w krajobrazie oraz silne przywiązanie do przestrzeni lokalnej powodowały, że decyzje inwestycyjne w zakresie OZE niosły ze sobą nie tylko skutki ekonomiczne, lecz także emocjonalne i kulturowe.

Zarządzanie kosztami społecznymi w regionie rolniczo-przemysłowym wymagało więc bardziej partycypacyjnego podejścia – opartego na dialogu, włączaniu mieszkańców w proces planowania oraz transparentności działań przedsiębiorstw. W przeciwnym razie nawet ekonomicznie uzasadnione inwestycje mogły napotykać na silny opór społeczny, co wydłużało proces realizacji i obniżało efektywność całego sektora.

Koszty społeczne w tym kontekście nie odnosiły się wyłącznie do bezpośrednich skutków ekonomicznych czy środowiskowych, ale obejmowały także elementy niematerialne – takie jak poczucie współuczestnictwa, zaufanie do inwestora, dostęp do informacji i przejrzystość procesów decyzyjnych. Niezarządzane w sposób systemowy, czynniki te mogły prowadzić do obniżenia poziomu akceptacji społecznej, co w konsekwencji wpływało na tempo i efektywność rozwoju sektora OZE.

Z perspektywy nauk o zarządzaniu kluczowym problemem stało się zatem nie tylko samo identyfikowanie kosztów społecznych działalności przedsiębiorstw OZE, lecz przede wszystkim sposób ich rozpoznawania, pomiaru i włączania do procesów decyzyjnych. Praktyka regionalna pokazała, że mimo rosnącej liczby instalacji odnawialnych źródeł energii, zarządzanie ich skutkami społecznymi wciąż odbywało się w sposób fragmentaryczny – bez spójnych standardów raportowania, oceny ryzyka społecznego czy jednolitych procedur kompensacyjnych. Brak takiego podejścia skutkował różnicami w poziomie akceptacji inwestycji i utrudniał budowę trwałych relacji pomiędzy przedsiębiorstwami a społecznościami lokalnymi.

Kluczowe było również zintegrowanie wydatków na badania i rozwój (B+R) ze strategiami w zakresie energii odnawialnej. Inwestycje w B+R mogły zwiększyć

innowacyjność i efektywność w sektorze energii odnawialnej, promując dalszą redukcję kosztów społecznych poprzez ulepszone technologie i infrastrukturę⁵⁸⁶.

Wskazane wyzwania nie stanowiły jedynie problemu natury społecznej, ale w coraz większym stopniu przekładały się na stabilność otoczenia instytucjonalnego oraz reputację całego sektora OZE. Dlatego badania w niniejszej pracy skoncentrowano na identyfikacji czynników determinujących poszczególne kategorie kosztów społecznych – ekonomicznych, środowiskowych i zdrowotnych – oraz na sposobach zarządzania nimi w kontekście przedsiębiorstw działających w województwie kujawsko-pomorskim.

Kontrowersje wokół odnawialnych źródeł energii w województwie kujawsko-pomorskim, w tym protesty społeczne przeciwko inwestycjom takim jak farmy wiatrowe, biogazownie czy biometanownie, odnotowywane były już od 2010 roku, kiedy to przetoczyła się fala sprzeciwów mieszkańców wobec budowy wiatraków, motywowanych obawami o zdrowie, degradację krajobrazu i spadek wartości nieruchomości, co opóźniało lub blokowało projekty w regionie⁵⁸⁷. Te problemy utrzymały się w kolejnych latach, na co wskazano w raporcie Najwyższej Izby Kontroli z 2014 roku, zawierającym analizę protestów w latach 2009–2013, w których konsultacje społeczne były często ignorowane⁵⁸⁸. Podobnie w kolejnej dekadzie, np. w 2024 roku w Ciechocinku przeciwko rozbudowie oczyszczalni z biogazownią czy w 2025 roku w Tłuchowie przeciwko biometanowni, mieszkańcy nadal wyrażali obawy o środowisko, hałas, odór i jakość życia, co prowadziło do petycji, wstrzymywania inwestycji oraz konfliktów z władzami lokalnymi i inwestorami. Przypadki te dobrze ilustrowały, że koszty społeczne transformacji energetycznej były realnym i rosnącym wyzwaniem, którego nie można pomijać w ocenie zrównoważonego rozwoju regionu. Ostatnie przypadki protestów zostały szerzej omówione w następnych akapitach.

W gminie Dąbrowa Biskupia (powiat inowrocławski) w czerwcu 2025 roku doszło do lokalnych protestów przeciwko inwestycjom w odnawialne źródła energii. Mieszkańcy sprzeciwili się planom budowy farmy wiatrowej, argumentując, że nie zostali należycie poinformowani o zamiarach inwestora przed przyjęciem przez Radę Gminy uchwały intencyjnej. Obawy społeczności dotyczyły przede wszystkim hałasu i infradźwięków generowanych przez turbiny, pogorszenia walorów krajobrazowych, a także spadku wartości nieruchomości w ich sąsiedztwie. W wypowiedziach mieszkańców często pojawiała się też poczucie braku transparentności

⁵⁸⁶ B. Huseynli, N. Huseynli, *The Dynamics of R&D Expenditure, Renewable Electricity Production, and Economic Growth: A Comparative Analysis of Norway and Brazil*, „Journal of Sustainability for Energy” t. 3 nr 2 (2024), DOI: 10.56578/jse030202, https://www.acadlore.com/article/JSE/2024_3_2/jse030202; R. Wiser, G. Barbose, E. Holt, *Supporting Solar Power in Renewables Portfolio Standards: Experience from the United States*, 1 października 2010 r., <http://www.osti.gov/servlets/purl/991963-1Jwfh/>.

⁵⁸⁷ J. Krzemiński, *Lawina protestów przeciwko wiatrakom*, „Chrońmy Klimat” (2010), http://old.chronmyklimat.pl/projekty/wiadomosci/transport/437/lawina_protestow_przeciwk_o_wiatrakom.

⁵⁸⁸ Najwyższa Izba Kontroli, *NIK o elektrowniach wiatrowych*, (2014), <https://www.nik.gov.pl/najnowsze-informacje-o-wynikach-kontroli/nik-o-elektrowniach-wiatrowych.html>.

i niedostatecznego dialogu ze strony władz samorządowych, co wzmocniło emocje wokół projektu. W rezultacie, po serii spotkań i konsultacji, wójt gminy zadeklarował, że inwestycja zostanie zrealizowana w zgodzie z oczekiwaniami społeczeństwa, a Rada Gminy ostatecznie podjęła uchwały intencyjne dotyczące przygotowania planu zagospodarowania pod farmę wiatrową⁵⁸⁹.

Przypadek gminy Dąbrowa Biskupia pokazał, że sprzeciw wobec inwestycji przedsiębiorstw w odnawialne źródła energii często nie wynika wyłącznie z samego charakteru technologii, lecz z braku odpowiedniej komunikacji i dialogu na wczesnym etapie planowania. Gdyby rozmowy z mieszkańcami i spotkania informacyjne zostały przeprowadzone przed podjęciem uchwał intencyjnych, społeczność lokalna mogłaby poczuć się współuczestnikiem procesu, a nie jego biernym adresatem. Taka partycypacja, połączona z rzetelnym przekazem wiedzy o rzeczywistych oddziaływaniach i korzyściach inwestycji, mogłaby znacząco zmniejszyć poczucie zagrożenia i zwiększyć gotowość mieszkańców do akceptacji zmian przestrzennych.

W 2025 roku miały miejsce również protesty w gminie Tłuchowo (powiat lipnowski). Były jednymi z najbardziej nagłośnionych konfliktów społecznych dotyczących inwestycji w odnawialne źródła energii w regionie. Przedmiotem sporu była planowana budowa biometanowni, określanej w mediach jako pierwszej tego typu instalacji w kraju. Jej planowana lokalizacja – w odległości zaledwie 180–200 metrów od zabudowań mieszkalnych – wywołała zdecydowany sprzeciw lokalnej społeczności. Wójt gminy Krzysztof Dąbkowski, w oficjalnym oświadczeniu opublikowanym na stronie urzędu, potwierdził, że złożony przez inwestora wniosek o wydanie decyzji środowiskowej wzbudził znaczne emocje społeczne. Mieszkańcy wyrażali obawy dotyczące możliwych uciążliwości zapachowych, hałasu, wzmożonego transportu ciężarowego, a także ryzyka pojawienia się gryzoni i insektów w otoczeniu planowanej inwestycji⁵⁹⁰. W odpowiedzi na skalę sprzeciwu wójt zapowiedział powołanie Zespołu Roboczego, w którego skład mieli wejść przedstawiciele mieszkańców, inwestora i władz samorządowych, w celu prowadzenia dialogu i poszukiwania kompromisowych rozwiązań. Równolegle w prasie ogólnopolskiej (m.in. *TVN24*, *Interia*) pojawiły się liczne relacje opisujące protesty społeczne, w których mieszkańcy podkreślali, że inwestycja stanowiła dla nich zagrożenie w kontekście jakości życia i przyszłości miejscowości. Wskazywano na brak wcześniejszych konsultacji społecznych, niedostateczną transparentność procesu planistycznego oraz potencjalne negatywne skutki środowiskowe i przestrzenne, w tym zwiększony ruch transportowy (szacowany nawet na 80 pojazdów ciężarowych dziennie) i obniżenie walorów

⁵⁸⁹ M. Jasik, *W Dąbrowie Biskupiej powiedzieli "nie" wiatrakom*, „ino.online” (2025), <https://ino.online/post/32102/w-dabrowie-biskupiej-powiedzieli-nie-wiatrakom.html>; M. Kocoń, *Są przeciw wiatrakom w gminie Dąbrowa Biskupia. Skarżą się, że nie wiedzieli o tych planach*, „PIK Polskie Radio” (2025), <https://www.radiopik.pl/2%2C130368%2Csa-przeciw-wiatrakom-w-gminie-dabrowa-biskupia-skarza-sie-ze-nie-wiedzieli-o-tych-planach>.
⁵⁹⁰ K. Dąbkowski, *Wyjaśnienia Wójta w sprawie budzących kontrowersje inwestycji*, „Gmina Tłuchowo” (2025), <https://tluchowo.com.pl/aktualnosci/wyjasnienia-wojta-w-sprawie-budzaczych-kontrowersje-inwestycji.html>.

krajobrazowych regionu⁵⁹¹. Z kolei inwestor, spółka ROMGOS BIO ENERGIA Sp. z o.o., w oficjalnym stanowisku podkreślił, że projekt znajdował się na etapie uzyskiwania decyzji administracyjnych i środowiskowych, a równocześnie prowadzone były analizy możliwości przeniesienia inwestycji na inny teren. Alternatywną lokalizację zaproponowano podczas posiedzenia Zespołu Roboczego w maju 2025 r., a spółka zadeklarowała otwartość na uwagi mieszkańców oraz gotowość do aktualizacji raportu oddziaływania na środowisko i przedstawienia wyników analizy nowych lokalizacji w ciągu 60 dni od wezwania przez organ środowiskowy. Jednocześnie podkreślono, że choć społeczny sprzeciw był zrozumiały, nie mógł on stanowić samodzielnej przesłanki do zablokowania inwestycji, która wpisywała się w krajowe cele transformacji energetycznej⁵⁹².

Przypadek Tłuchowa stanowi istotny przykład społecznego wymiaru kosztów środowiskowych transformacji energetycznej. Pokazuje, że nawet projekty o charakterze niskoemisyjnym mogą generować konflikty społeczne, jeśli proces ich przygotowania nie zapewnia odpowiedniego poziomu partycypacji, komunikacji i edukacji ekologicznej. Wskazuje to na potrzebę włączenia aspektów społecznych i planistycznych do oceny środowiskowych skutków inwestycji w OZE, zwłaszcza na poziomie lokalnym.

Również w Ciechocinku, jednym z najważniejszych ośrodków uzdrowiskowych województwa kujawsko-pomorskiego, doszło do protestu społecznego przeciwko planowanej budowie instalacji biometanowej (2024 r.). Społeczność lokalna wyraziła sprzeciw wobec przedsięwzięcia, wskazując na potencjalne zagrożenia dla jakości powietrza, walorów krajobrazowych oraz klimatu zdrowotnego miasta. Mieszkańcy obawiali się, że uciążliwości zapachowe objęłyby znaczną część uzdrowiska, co mogło podważyć jego funkcję leczniczą i rekreacyjną. Zgłaszano również zastrzeżenia dotyczące braku transparentności procesu inwestycyjnego oraz niewystarczającego poziomu konsultacji społecznych. Władze miasta, w tym burmistrz Ciechocinka, zadeklarowały wsparcie dla mieszkańców oraz zapowiedziały analizę podobnych instalacji w innych miastach w celu rzetelnej oceny ich wpływu na środowisko i jakość życia⁵⁹³.

Analiza przypadków lokalnych protestów wobec inwestycji OZE w województwie kujawsko-pomorskim pokazała, że brak dialogu społecznego i niedostateczna partycypacja mieszkańców stanowiły główne źródła kosztów społecznych transformacji energetycznej. Coraz wyraźniej widoczne stało się więc, że dla powodzenia procesu niezbędne było nie tylko ograniczanie konfliktów, lecz także aktywne włączanie społeczności lokalnych w proces wytwarzania i dystrybucji energii. W tym kontekście szczególnego znaczenia nabierał rozwój spółdzielczości

⁵⁹¹ M. Malinowski, *Inwestycja, która wzbudza ogromne kontrowersje. Boją się smrodu i hałasu. „To dla nas być albo nie być”*, „tvn24.pl” (2025), <https://tvn24.pl/kujawsko-pomorskie/tluchowo-ta-inwestycja-wzbudza-ogromne-obawy-mieszkancow-to-dla-nas-byc-albo-nie-byc-st8551610>.

⁵⁹² A. Korpalski, *Co dalej z biogazownią w Tłuchowie? Mamy odpowiedź inwestora*, „Lipno-cli.pl” (2025), <https://lipno-cli.pl/artikul/co-dalej-z-biogazownia-n1717080?>

⁵⁹³ A. Wynarska, *Wielkie protesty w Ciechocinku. „Odór będzie na całe uzdrowisko”*, „TokFM” (2024), <https://www.tokfm.pl/polska/kujawsko-pomorskie/tokfm-7-189652-31209459-mieszkancy-ciechocinka-protestuja-odor-bedzie-na-cale-uzdrowisko>.

energetycznej, która stanowi alternatywny, bardziej partycypacyjny model zarządzania transformacją – oparty na współwłasności, lokalnym kapitale społecznym i równym dostępie do korzyści płynących z energetyki odnawialnej.

Rosnące znaczenie spółdzielczości energetycznej w krajowej polityce klimatycznej znalazło swój wyraz w powołaniu Krajowego Związku Rewizyjnego Spółdzielni Energetycznych, którego inauguracja miała miejsce 4 lipca 2025 roku w Minikowie pod Bydgoszczą. Inicjatywa ta, skupiająca czternaście działających w kraju spółdzielni, stanowiła ważny krok w kierunku instytucjonalizacji energetyki obywatelskiej w Polsce. W niedługim czasie po inauguracji działalności Związek opublikował stanowisko, w którym przedstawiciele ruchu spółdzielczego wezwali do włączenia energetyki wspólnotowej w główny nurt transformacji energetycznej, pod hasłem „Nie będzie transformacji bez nas”. Spółdzielnie energetyczne podkreślały, że dotychczasowy model rozwoju OZE w Polsce był zdominowany przez duże podmioty korporacyjne i państwowe, co ograniczało potencjał rozwoju energetyki rozproszonej oraz udział społeczności lokalnych w korzyściach płynących z transformacji. Wskazano na liczne bariery utrudniające funkcjonowanie tego sektora, w tym częste zmiany przepisów prawa energetycznego, problemy z przyłączaniem instalacji do sieci, brak stabilnych mechanizmów finansowania oraz niejednolite interpretacje regulacyjne. Jednocześnie zwrócono uwagę, że spółdzielczość energetyczna może stanowić efektywny model demokratyzacji i dekoncentracji systemu energetycznego, łącząc cele gospodarcze z lokalną akceptacją społeczną oraz redystrybucją korzyści ekonomicznych w obrębie wspólnot. Powstanie Krajowego Związku Rewizyjnego Spółdzielni Energetycznych można zatem uznać za istotny etap w rozwoju energetyki obywatelskiej, wzmacniający zdolność lokalnych inicjatyw do uczestnictwa w krajowej transformacji energetycznej i ograniczania jej kosztów społecznych⁵⁹⁴.

Podczas badania przeprowadzonego przez autorkę pracy pośród menadżerów i właścicieli małych elektrowni wodnych w województwie kujawsko-pomorskim zidentyfikowano szereg dobrych praktyk zarządczych oraz barier i perspektyw rozwoju. Ponadto podczas wywiadów z menadżerami poruszono kwestię konfliktów społecznych. Wyniki badań wskazały, że część barier często przywoływanych w dyskusjach o rozwoju odnawialnych źródeł energii, takich jak sprzeciw społeczny czy brak wykwalifikowanej kadry, nie została przez respondentów uznana za istotne w kontekście małej energetyki wodnej. Żaden z ankietowanych nie wskazał tych czynników jako poważnie ograniczających działalność. Można zatem wnioskować, że społeczności lokalne w otoczeniu funkcjonujących elektrowni wodnych wykazywały postawę neutralną lub akceptującą, szczególnie gdy obiekty były obecne w krajobrazie od wielu lat. Również kwestie kadrowe nie stanowiły poważnego problemu – obsługa MEW była w dużym stopniu zautomatyzowana, a dostęp do specjalistów technicznych pozostawał wystarczający. Jednocześnie w odpowiedziach otwartych pojawiły się sygnały o sporach z najbliższymi sąsiadami instalacji, które w niektórych przypadkach prowadziły do wieloletnich postępowań

⁵⁹⁴ P. Pomian, *Spółdzielnie energetyczne nie chcą dłużej milczeć. „Nie będzie transformacji bez nas”*, „Odpowiedzialny Inwestor” (2025), <https://odpowiedzialny-inwestor.pl/2025/07/18/spoldzielnie-energetyczne-nie-chca-dluzej-milczec-nie-bedzie-transformacji-bez-nas>.

administracyjnych blokujących modernizację lub rozbudowę obiektów. Choć sprzeciw społeczny jako zjawisko ogólne nie został uznany za kluczową barierę, to lokalne konflikty jednostkowe mogły w praktyce całkowicie wstrzymać rozwój konkretnych inwestycji. Respondenci wskazywali przy tym na potrzebę zmian w przepisach i usprawnienia mechanizmów mediacji, tak aby zrównoważyć ochronę interesu publicznego z prawami obywateli oraz ograniczyć przewlekłość postępowań⁵⁹⁵.

W niniejszym podsumowaniu kluczowe wyzwania w zakresie kosztów społecznych rozwoju OZE w przedsiębiorstwach województwa kujawsko-pomorskiego zostały ujęte w cztery powiązane ze sobą grupy problemów. Odzwierciedlały one zarówno specyfikę struktury przestrzennej i gospodarczej regionu, jak i mechanizmy opisane wcześniej na poziomie ogólnoteoretycznym: konflikty przestrzenne i krajobrazowe, nierówną dystrybucję korzyści i kosztów, napięcia wokół akceptacji społecznej oraz ryzyka dla spójności społecznej i zaufania do instytucji.

Pierwszą grupę stanowiły konflikty przestrzenne i krajobrazowe, wynikające z nakładania się intensywnego rozwoju OZE na silnie rolniczy charakter województwa, obecność cennych przyrodniczo obszarów chronionych oraz mozaikowy układ osadnictwa. Lokalizacja farm wiatrowych i fotowoltaicznych w sąsiedztwie gruntów o wysokiej jakości rolniczej, terenów rekreacyjnych czy korytarzy ekologicznych generowała napięcia między różnymi sposobami użytkowania przestrzeni i rodziła pytania o długofalowe konsekwencje przekształceń krajobrazowych dla lokalnych społeczności.

Drugą grupą wyzwań była nierówna dystrybucja korzyści i kosztów transformacji energetycznej. W praktyce oznaczało to sytuacje, w których obciążenia związane z uciążliwościami (hałas, ingerencja wizualna, ograniczenia w zagospodarowaniu terenu) koncentrowały się na wąskich grupach mieszkańców lub konkretnych sołectwach, podczas gdy korzyści finansowe i rozwojowe (podatki, czynsze dzierżawne, przychody z inwestycji) przypadały innym aktorom – często podmiotom ponadlokalnym. Tego typu asymetrie sprzyjały poczuciu niesprawiedliwości i wzmacniały postrzeganie OZE jako narzuconych z zewnątrz projektów, a nie wspólnego zasobu rozwojowego.

Trzecia grupa wyzwań dotyczyła napięć wokół akceptacji społecznej, w tym zjawisk określanых skrótnie jako NIMBY. W regionie o dużym zróżnicowaniu typów gmin (miejskie, wiejsko-miejskie, wiejskie) szczególnie widoczne stały się problemy związane z jakością konsultacji społecznych, przejrzystością procedur planistycznych i dostępem do informacji. Brak wczesnego, realnego włączenia mieszkańców w proces decyzyjny, niedostateczna komunikacja ryzyk i korzyści oraz ignorowanie lokalnych uwarunkowań krajobrazowych przekładały się na opór wobec konkretnych inwestycji, niezależnie od deklarowanego poparcia dla OZE na poziomie ogólnym.

Czwartą, przekrojową grupę stanowiły ryzyka dla spójności społecznej i zaufania do instytucji. Konflikty wokół lokalizacji i sposobu wdrażania projektów

⁵⁹⁵ P. Sieg, *Barriers and management practices for small hydropower: The case of the Kujawsko-Pomorskie Region in Poland's green energy transition...*

OZE mogły pogłębiać podziały między mieszkańcami (np. właścicielami gruntów czerpiącymi bezpośrednie korzyści a pozostałymi użytkownikami przestrzeni), a także między społecznościami lokalnymi, samorządami i inwestorami. Długotrwałe spory, brak czytelnych zasad kompensacji czy niespójne sygnały płynące z polityki publicznej osłabiały zaufanie do instytucji odpowiedzialnych za transformację energetyczną i utrudniały budowanie długofalowego konsensusu co do kierunku rozwoju regionu.

Zgromadzona literatura oraz analiza sytuacji w województwie kujawsko-pomorskim pokazały, że koszty społeczne rozwoju OZE były rezultatem jednoczesnego oddziaływania czynników ekonomicznych, środowiskowych oraz społeczno-zdrowotnych. W regionie o dużym, lecz zróżnicowanym rozwoju OZE szczególnego znaczenia nabiera pytanie, w jaki sposób przedsiębiorstwa sektora odnawialnych źródeł energii powinny zarządzać kosztami, aby ograniczać społeczne i środowiskowe obciążenia transformacji oraz na ile działania te są zbieżne z percepcją i doświadczeniami społeczności lokalnych.

Przeprowadzone analizy pozwoliły na realizację przyjętych celów badawczych oraz udzielenie odpowiedzi na sformułowane problemy badawcze. W części teoretycznej określono podstawy zarządzania kosztami społecznymi w sektorze OZE oraz scharakteryzowano ekonomiczno-organizacyjne, środowiskowe i społeczno-zdrowotne uwarunkowania tego procesu. W części empirycznej dokonano natomiast oceny zależności między analizowanymi wymiarami kosztów społecznych a poziomem zaawansowania zarządzania. Uzyskane wyniki umożliwiły weryfikację przyjętych hipotez oraz wskazanie obszarów mających największe znaczenie dla kształtowania zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE.

Hipotezę 1 zakładającą, że kierunek rozwoju OZE w województwie kujawsko-pomorskim jest zgodny z priorytetami polityki energetycznej UE i Polski, można uznać za potwierdzoną. Potwierdzenie to wynika zarówno z analizy dokumentów strategicznych, jak i z obrazu empirycznego rynku regionalnego. Na poziomie UE rozwój OZE stanowi jedno z kluczowych narzędzi dekarbonizacji, wzmacniania bezpieczeństwa energetycznego i ograniczania zależności od paliw kopalnych, a zrewidowana dyrektywa RED III podniosła wiążący cel udziału OZE w miksie energetycznym UE do co najmniej 42,5% do 2030 r., przy aspiracji osiągnięcia 45%. Na poziomie krajowym PEP2040 wskazuje rozwój odnawialnych źródeł energii jako jeden z głównych kierunków polityki energetycznej, natomiast KPEiK ujmuje rozwój OZE jako element realizacji celów klimatyczno-energetycznych, bezpieczeństwa energetycznego oraz modernizacji infrastruktury. Z kolei na poziomie regionalnym strategia rozwoju województwa kujawsko-pomorskiego do 2030 r. oraz powiązane z nią dokumenty operacyjne wpisują się w logikę transformacji energetycznej i gospodarki niskoemisyjnej, a program Fundusze Europejskie dla Kujaw i Pomorza 2021–2027 przewiduje odrębny priorytet dla czystej energii, w tym dla OZE. Oznacza to, że na poziomie dokumentów unijnych, krajowych i regionalnych kierunek rozwoju został określony spójnie: jako wzrost znaczenia OZE, transformacja niskoemisyjna oraz rozwój infrastrukturalno-inwestycyjny wspierający ten proces.

Wyniki badania przedsiębiorstw pokazują ponadto, że w regionie dominowały technologie będące rdzeniem współczesnej transformacji energetycznej, tj. fotowoltaika (50,7%) i energetyka wiatrowa (42,7%), a ponad połowa badanych podmiotów działa w branży OZE dłużej niż 10 lat (52,7%), co wskazuje na utrwaloną obecność tego kierunku rozwoju w strukturze badanych przedsiębiorstw regionu. Jednocześnie należy zaznaczyć, że zgodność ta dotyczy przede wszystkim warstwy kierunkowej i technologiczno-inwestycyjnej. Nie oznacza to jeszcze, że wszystkie wymiary transformacji były równie silnie rozwinięte na poziomie praktyki przedsiębiorstw. Wyniki badania sugerują raczej, że obok wyraźnie zaznaczonego kierunku rozwoju część rozwiązań społecznych, zdrowotnych, organizacyjnych i instytucjonalnych pozostawała nadal w fazie dojrzwania. Nie podważa to potwierdzenia hipotezy, lecz wskazuje, że praktyczna realizacja tego kierunku ma nadal charakter zróżnicowany i może być w przyszłości bardziej kompleksowo uzupełniana.

Przeprowadzone badanie wskazało, że w przedsiębiorstwach sektora OZE w województwie kujawsko-pomorskim zarządzanie kosztami społecznymi miało nadal w dużej mierze charakter ograniczony, niesystemowy i selektywny. Znaczna część badanych podmiotów nie podejmowała działań mających na celu minimalizację kosztów społecznych, nie uwzględniała ich przy planowaniu inwestycji, nie prowadziła analiz w tym zakresie ani nie finansowała takich działań. Jednocześnie wyniki modelu korelacyjnego i regresyjnego pokazały, że w ramach tej ogólnie niskiej aktywności występowało istotne zróżnicowanie wewnętrzne.

W części badania dotyczącej przedsiębiorstw sektora OZE uzyskano wyraźny, lecz niejednorodny obraz zależności między poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi a pozostałymi wymiarami modelu. Analiza korelacji Spearmana wykazała, że wszystkie badane zależności były istotne statystycznie, jednak ich kierunek nie był jednolity. Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi pozostawał w silnym dodatnim związku z monitoringiem wskaźników środowiskowych ($\rho = 0,84$; $p < 0,001$), a jednocześnie w związkach ujemnych z działaniami społecznymi, edukacyjnymi, komunikacyjnymi i kompensacyjnymi ($\rho = -0,50$; $p < 0,001$), działaniami na rzecz środowiska ($\rho = -0,75$; $p < 0,001$), finansowaniem i kosztami rekompensat ($\rho = -0,82$; $p < 0,001$) oraz ryzykami zdrowotno-przestrzennymi ($\rho = -0,71$; $p < 0,001$).

Najbardziej jednoznacznym empirycznie ustaleniem jest więc to, że wyższy poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi współwystępował przede wszystkim z bardziej rozwiniętym monitoringiem środowiskowym, a nie z prostym wzrostem wszystkich pozostałych aktywności organizacyjnych. Wynik ten sugeruje, że w badanej próbie poziom zaawansowania był bliższy systemowemu, uporządkowanemu i opartemu na danych podejściu do zarządzania niż szerokiemu mnożeniu działań deklaracyjnych lub kompensacyjnych. Taka interpretacja pozostaje spójna także z budową empirycznych wymiarów modelu, w której monitoring środowiskowy tworzyły konkretne wskaźniki odnoszące się m.in. do śladu wodnego, jakości powietrza, gospodarki odpadami, zużycia surowców i bioróżnorodności.

Na osobną uwagę zasługuje ujemny związek zaawansowania z działaniami społecznymi, edukacyjnymi, komunikacyjnymi i kompensacyjnymi. Sam fakt

istotności tej relacji został potwierdzony empirycznie, jednak jej kierunek okazał się przeciwny do intuicyjnego oczekiwania prostego dodatniego powiązania. W świetle całego układu korelacji można to ostrożnie interpretować w ten sposób, że działania te w badanej próbie miały częściej charakter reaktywny niż zaawansowany: rosły bowiem równolegle z finansowaniem i kosztami rekompensat ($\rho = 0,82$; $p < 0,001$), ryzykami zdrowotno-przestrzennymi ($\rho = 0,88$; $p < 0,001$) oraz działaniami na rzecz środowiska ($\rho = 0,91$; $p < 0,001$), a zarazem malały wraz ze wzrostem zaawansowania i monitoringu. Nie jest to wniosek przyczynowy, lecz ostrożna interpretacja wzorca współwystępowania zmiennych. Dodatkowej uwagi wymaga fakt, że w czynniku tym znalazła się również pozycja odnosząca się do braku podejmowania działań, co osłabia możliwość jego całkowicie jednoznacznego odczytania jako „czysto pozytywnego” wymiaru aktywności organizacyjnej.

Wyniki regresji wielorakiej pogłębiły ten obraz. W modelu końcowym pozostawiono wyłącznie predyktory o najniższym poziomie współliniowości, ponieważ szersze konfiguracje zmiennych prowadziły do podwyższonych wartości VIF i utrudniały stabilną interpretację współczynników. Ostatecznie model obejmujący monitoring wskaźników środowiskowych oraz działania społeczne, edukacyjne, komunikacyjne i kompensacyjne wyjaśniał około 51% zmienności zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi ($R^2 = 0,51$; skorygowane $R^2 = 0,50$), a oba predyktory okazały się istotne: monitoring działań dodatnio ($\beta = 0,56$), natomiast działania społeczne, edukacyjne, komunikacyjne i kompensacyjne ujemnie ($\beta = -0,39$). Jednocześnie wartości VIF dla obu predyktorów wyniosły 1,01, co nie wskazywało na problem współliniowości w modelu końcowym, mimo że rozkłady zmiennych odbiegały od normalności w testach KS i SW.

Z punktu widzenia głównego problemu badawczego oznacza to, że poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE rzeczywiście pozostawał istotnie związany z obszarem ekonomiczno-organizacyjnym, środowiskowym oraz społeczno-zdrowotnym, jednak związki te nie miały jednolitego charakteru. Najsilniejsze wsparcie uzyskała relacja między zaawansowaniem a monitoringiem środowiskowym, natomiast część pozostałych obszarów ujawniła zależności odwrotne, co wskazuje, że nie każdy przejaw aktywności organizacyjnej można utożsamiać z wyższym poziomem zaawansowania. W badanej próbie bardziej dojrzałe organizacyjnie przedsiębiorstwa wydają się raczej wcześniej identyfikować i porządkować problemy niż reagować na nie poprzez nasilenie działań kompensacyjnych, komunikacyjnych i rekompensacyjnych. Taka interpretacja pozostaje jednak hipotezą wyjaśniającą, a nie bezpośrednio dowiedzionym mechanizmem.

W konsekwencji hipotezę główną należy uznać za potwierdzoną. Wyniki badań wykazały, że poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE pozostawał istotnie związany z poziomem zaawansowania praktyk w obszarze ekonomiczno-organizacyjnym, środowiskowym oraz społeczno-zdrowotnym. Charakter tych zależności okazał się jednak zróżnicowany. Poziom zaawansowania zarządzania był dodatnio powiązany przede wszystkim z monitoringiem wskaźników środowiskowych oraz systemowym uwzględnianiem kosztów społecznych i zdrowotnych, natomiast ujemne związki występowały w odniesieniu do tych form aktywności, które mogły mieć charakter

reakcji na ujawnione ryzyka, napięcia i koszty społeczne. Oznacza to, że poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi nie polegał wyłącznie na intensyfikacji wszystkich działań wobec otoczenia, lecz przede wszystkim na ich systemowym, prewencyjnym i uporządkowanym charakterze.

Hipoteza H2, zgodnie z którą obszar finansowy, obejmujący finansowanie działań kompensacyjnych i koszty rekompensat, pozostawał istotnie związany z poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE, została potwierdzona. Przeprowadzona analiza korelacji wykazała istotne statystycznie zależności między finansowaniem i kosztami rekompensat a poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi. Stwierdzono, że wzrost finansowania i kosztów rekompensat wiązał się ze spadkiem poziomu zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi, a zależność ta miała silny charakter i była istotna statystycznie.

Jednocześnie wzrost finansowania i kosztów rekompensat wiązał się ze wzrostem nasilenia działań społecznych, edukacyjnych, komunikacyjnych i kompensacyjnych. Relacja ta również była silna i istotna statystycznie, co wskazuje, że obszar finansowy pozostawał powiązany z działaniami podejmowanymi przez przedsiębiorstwa wobec otoczenia społecznego.

Uzyskane wyniki wskazują, że finansowanie działań kompensacyjnych i koszty rekompensat były ważnym elementem diagnozy zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi. Nie należy ich jednak automatycznie traktować jako przejawu wyższego zaawansowania. W badanej próbie wyższe nakłady na rekompensaty mogły raczej sugerować większe nasilenie sytuacji wymagających reakcji ze strony przedsiębiorstwa, a więc bardziej reaktywny niż prewencyjny charakter części podejmowanych działań. Tym samym hipoteza H2 została potwierdzona, przy czym związek obszaru finansowego z zaawansowaniem zarządzaniem kosztami społecznymi miał charakter ujemny.

Hipoteza H3, zgodnie z którą obszar środowiskowy stanowił istotny komponent zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE, została potwierdzona. Przeprowadzone analizy wykazały, że elementy odnoszące się do obszaru środowiskowego pozostały istotnie związane z poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi. Szczególne znaczenie w tym zakresie miał monitoring wskaźników środowiskowych, który w przyjętej operacjonalizacji stanowił jeden z kluczowych przejawów zaawansowania działań środowiskowych przedsiębiorstw. Analiza korelacji wykazała, że wzrost poziomu monitoringu wskaźników środowiskowych wiązał się ze wzrostem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi. Zależność ta miała silny charakter i była istotna statystycznie.

Znaczenie obszaru środowiskowego potwierdziły również wyniki wielozmiennowej analizy regresji. Monitoring wskaźników środowiskowych był w analizowanym modelu zmienną najsilniej dodatnio powiązaną z poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi, przy standaryzowanym współczynniku regresji wynoszącym około 0,56. Model wyjaśniał około połowę zróżnicowania poziomu zaawansowania zarządzania, co świadczy o jego istotnej wartości interpretacyjnej.

Uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić, że obszar środowiskowy, reprezentowany w badaniu przede wszystkim przez monitoring wskaźników środowiskowych, stanowił ważny komponent zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE. Nie oznacza to, że każdy aspekt zarządzania środowiskowego został w równym stopniu zweryfikowany, lecz że w zakresie objętym badaniem środowiskowy wymiar działań przedsiębiorstw okazał się istotnie powiązany z poziomem zaawansowania zarządzania. Tym samym hipoteza H3 została potwierdzona.

Hipoteza H4, zgodnie z którą obszar społeczno-zdrowotny stanowił istotny komponent zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE, została potwierdzona. Przeprowadzone analizy wykazały, że zmienne odnoszące się do obszaru społeczno-zdrowotnego pozostawały istotnie związane z poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi. W szczególności stwierdzono, że wyższe nasilenie ryzyk zdrowotno-przestrzennych wiązało się ze spadkiem poziomu zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi. Zależność ta miała silny charakter i była istotna statystycznie. Oznacza to, że w badanej próbie niższy poziom ryzyk zdrowotno-przestrzennych współwystępował z wyższym poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi. Dodatkowo wykazano, że wyższe ryzyka zdrowotno-przestrzenne wiązały się ze spadkiem poziomu monitoringu wskaźników środowiskowych oraz ze wzrostem finansowania i kosztów rekompensat. Obie zależności były istotne statystycznie, przy czym związek ryzyk z kosztami rekompensat miał silny charakter. Wyniki te wskazują, że obszar społeczno-zdrowotny nie funkcjonował w oderwaniu od pozostałych wymiarów zarządzania kosztami społecznymi, lecz pozostawał powiązany zarówno z obszarem środowiskowym, jak i finansowym.

Istotne znaczenie miała również zmienna odnosząca się do uwzględniania potencjalnych kosztów społecznych na etapie planowania inwestycji. Jej wzrost wiązał się ze wzrostem poziomu zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi, a zależność ta była silna i istotna statystycznie. Jednocześnie wyższy poziom uwzględniania tych kosztów wiązał się ze spadkiem nasilenia ryzyk zdrowotno-przestrzennych, przy umiarkowanej sile związku.

Uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić, że obszar społeczno-zdrowotny, obejmujący przede wszystkim ryzyka zdrowotno-przestrzenne oraz uwzględnianie potencjalnych kosztów społecznych i zdrowotnych w procesie planowania inwestycji, stanowił istotny komponent zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi. Nie był to komponent wyłącznie opisowy, lecz obszar istotnie powiązany z poziomem zaawansowania zarządzania w przedsiębiorstwach sektora OZE. Tym samym hipoteza H4 została potwierdzona.

Problem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE wymaga dalszych pogłębionych analiz. W szczególności zasadne wydaje się przeprowadzenie badań na większej i bardziej zróżnicowanej próbie, obejmującej przedsiębiorstwa z różnych regionów oraz reprezentujące poszczególne technologie OZE w bardziej wyrównanych liczebnie grupach. Pozwoliłoby to na sprawdzenie czy zaobserwowany układ zależności ma charakter trwały, czy też częściowo wynika ze specyfiki badanej próby.

Istotnym kierunkiem dalszych badań powinno być także doprecyzowanie operacjonalizacji poszczególnych wymiarów modelu, zwłaszcza tych, w których ujawniły się zależności nieintuicyjne lub interpretacyjnie złożone. Dotyczy to przede wszystkim działań społecznych, edukacyjnych, komunikacyjnych i kompensacyjnych, które w badanej próbie okazały się ujemnie związane z poziomem zaawansowania. W kolejnych badaniach warto wyraźniej oddzielić działania o charakterze proaktywnym i systemowym od działań uruchamianych reaktywnie, w odpowiedzi na pojawiające się konflikty, ryzyka i koszty rekompensat.

Pożądane byłoby również zastosowanie badań podłużnych, które umożliwiłyby ocenę zmian poziomu zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w czasie oraz czy rozwój monitoringu środowiskowego rzeczywiście wyprzedza ograniczanie ryzyk zdrowotno-przestrzennych i potrzeb działań kompensacyjnych. Obecne analizy pokazały istotne współzależności, ale nie pozwoliły rozstrzygnąć kierunku zależności w sensie czasowym.

Kolejnym kierunkiem badań może być rozszerzenie modelu o zmienne organizacyjne i instytucjonalne, takie jak formalizacja strategii zrównoważonego rozwoju, poziom integracji ESG z procesami decyzyjnymi, struktura własnościowa przedsiębiorstwa, doświadczenie kadry zarządzającej czy stopień profesjonalizacji funkcji odpowiedzialnych za zrównoważony rozwój. Pozwoliłoby to lepiej wyjaśnić, dlaczego w części przedsiębiorstw wyższy poziom zaawansowania współwystępuje z monitoringiem, a nie z prostym wzrostem wszystkich form aktywności społecznej i środowiskowej.

Warto także uzupełnić podejście ilościowe badaniami jakościowymi, zwłaszcza studiami przypadków przedsiębiorstw reprezentujących odmienne profile wyników. Pozwoliłoby to lepiej zrozumieć, czy niższe nasilenie działań kompensacyjnych w przedsiębiorstwach bardziej dojrzałych wynika z wcześniejszego zapobiegania problemom, większej skuteczności procedur, czy z innych uwarunkowań organizacyjnych. Takie badania mogłyby też doprecyzować praktyczny sens pojęcia zaawansowania w obszarze zarządzania kosztami społecznymi.

Wyniki analiz wariancji wskazują, że zróżnicowanie odpowiedzi przedsiębiorstw było silniej związane z ich doświadczeniem w sektorze OZE oraz cechami organizacyjnymi niż z parametrami technicznymi instalacji. Najbardziej wyraźne różnice dotyczyły stażu działalności, natomiast moc instalacji nie różnicowała odpowiedzi w sposób istotny statystycznie. Najbardziej wyraźny wzorec dotyczył stażu - przedsiębiorstwa o najdłuższym okresie funkcjonowania w sektorze częściej uzyskiwały niższe wyniki niż podmioty działające od 2 do 10 lat.

Uzupełnieniem powyższych rozważań są wnioski wynikające bezpośrednio z przeprowadzonego badania empirycznego z wykorzystaniem modelowania PLS-SEM, którego przedmiotem były uwarunkowania społecznej akceptacji inwestycji w OZE w województwie kujawsko-pomorskim. Przeprowadzone badanie dostarcza istotnych informacji na temat uwarunkowań społecznej akceptacji inwestycji w odnawialne źródła energii, jednak jego wyniki należy interpretować z uwzględnieniem kilku ograniczeń metodologicznych i kontekstualnych. Badanie miało charakter przekrojowy, co uniemożliwia wnioskowanie o kierunku przyczynowości wykrytych zależności. Choć zastosowanie modelu PLS-SEM

pozwała na testowanie relacji strukturalnych, to bez pomiaru podłużnego nie można jednoznacznie stwierdzić, że zidentyfikowane predyktory poprzedzają w czasie zmiany poziomu akceptacji społecznej.

Wszystkie zmienne w modelu mierzone były za pomocą skal samoopisowych, co rodzi ryzyko obciążenia wynikającego z metody wspólnej (common method bias). Konkretnym mechanizmem może być w tym przypadku efekt halo – respondenci z ogólnie pozytywnym nastawieniem wobec odnawialnych źródeł energii mogli systematycznie zawyżać oceny na wszystkich skalach pomiarowych jednocześnie, co prowadziłoby do sztucznego wzmocnienia korelacji między konstruktami i przecenienia siły zidentyfikowanych zależności strukturalnych. Choć zastosowany estymator DWLS w części confirmacyjnej oraz PLS w części strukturalnej częściowo ograniczają ten problem, nie eliminują go całkowicie. Przeciwdziałać efektowi halo można poprzez rozdzielenie pomiaru zmiennych niezależnych i zależnej w czasie, zastosowanie triangulacji metodologicznej lub włączenie do badania obiektywnych miar zaangażowania społeczności w procesy konsultacyjne dotyczące inwestycji OZE.

Konstrukt zaufania i oceny działań przedsiębiorstw (Z) mierzony był jedynie trzema wskaźnikami (Z1, Z4, Z6), przy czym Z6 charakteryzował się stosunkowo niskim ładunkiem czynnikowym (0,440–0,497) oraz najwyższą wariancją resztkową spośród wskaźników tego konstrukt. Sugeruje to, że operacjonalizacja zaufania wymaga rozbudowania i weryfikacji w kolejnych badaniach.

Model nie uwzględniał potencjalnych zmiennych moderujących, takich jak wcześniejsze doświadczenia z inwestycjami OZE, poziom wiedzy ekologicznej respondentów czy ich miejsce zamieszkania względem planowanych lub istniejących instalacji. Pominięcie tych czynników może prowadzić do niepełnego obrazu mechanizmów kształtujących akceptację społeczną.

Wartości AVE dla konstruktów kosztów społecznych OZE ($C = 0,418$) oraz zaufania do przedsiębiorstw OZE ($Z = 0,464$) nieznacznie nie osiągają konwencjonalnego progu 0,5 postulowanego przez Fornella i Larckera (1981), co może sugerować pewne ograniczenia trafności zbieżnej tych skal. Choć wysokie wartości rzetelności kompozytowej ($CR > 0,84$) i Dijkstra-Henseler's ρA wskazują na zadowalającą rzetelność, kwestia ta powinna zostać podjęta w przyszłych badaniach poprzez rewizję lub rozbudowę pozycji testowych.

Zidentyfikowane ograniczenia wyznaczają jednocześnie obiecujące obszary dla dalszej eksploracji naukowej. Najbardziej pożądanym rozszerzeniem byłoby przeprowadzenie badania podłużnego, które pozwoliłoby prześledzić dynamikę zmian akceptacji społecznej w kolejnych etapach cyklu życia inwestycji OZE – od fazy planowania, przez budowę, aż po eksploatację. Badania panelowe umożliwiłyby weryfikację czy zaufanie do przedsiębiorstw OZE rzeczywiście poprzedza wzrost akceptacji, czy też relacja ta ma charakter wzajemny lub odwrotny.

Istotnym kierunkiem przyszłych badań powinna być także weryfikacja alternatywnych specyfikacji modelu strukturalnego, uwzględniających ścieżki zależności nieujęte w prezentowanym badaniu. Na szczególną uwagę zasługują dwa potencjalne mechanizmy. Po pierwsze, warte zbadania jest, czy działania kompensacyjne przedsiębiorstw OZE pełnią funkcję moderatora łagodzącego negatywny wpływ postrzeganych kosztów społecznych na akceptację – innymi słowy,

czy wyższy poziom kompensacji osłabia ujemną relację $KOSZTY \rightarrow AKCEPTACJA$ zidentyfikowaną w prezentowanym modelu. Taka zależność byłaby spójna z logiką modeli kompensacyjnych obecnych w literaturze dotyczącej akceptacji ryzyka i zjawiska NIMBY, a jej potwierdzenie miałoby istotne implikacje praktyczne dla projektowania strategii komunikacyjnych przedsiębiorstw energetycznych. Po drugie, możliwe jest, że postrzegane korzyści OZE oddziałują na akceptację społeczną nie tylko bezpośrednio, lecz również pośrednio – przez wzmacnianie skłonności do podejmowania działań kompensacyjnych i budowanie zaufania do inwestorów. Testowanie tak rozbudowanego łańcucha mediacyjnego ($B \rightarrow KOMP \rightarrow Z \rightarrow AKC$) wymagałoby jednak zgromadzenia danych dla większej próby oraz zastosowania zaawansowanych procedur bootstrappingu dla efektów pośrednich wyższego rzędu.

Kolejnym wartościowym kierunkiem byłoby włączenie do modelu zmiennych moderujących. Szczególnie interesujące wydaje się zbadanie czy siła relacji między działaniami kompensacyjnymi a zaufaniem ($KOMP \rightarrow Z$) różni się w zależności od odległości respondenta od instalacji OZE, jego poziomu wykształcenia energetycznego lub wcześniejszych doświadczeń z podobnymi inwestycjami w okolicy zamieszkania. Analiza moderowanej mediacji pozwoliłaby na precyzyjniejsze określenie warunków, w których działania kompensacyjne są najskuteczniejszym narzędziem budowania społecznego przyzwolenia.

Warte zbadania byłoby również rozszerzenie modelu o konstrukty dotychczas pomijane, takie jak poczucie sprawczości lokalnej społeczności (ang. sense of agency), tożsamość miejsca (ang. place identity) czy postrzegana sprawiedliwość proceduralna procesów decyzyjnych. Wyniki dotychczasowych badań jakościowych sugerują, że te czynniki mogą istotnie pośredniczyć lub moderować relacje zidentyfikowane w prezentowanym modelu.

Przyszłe badania powinny również podjąć próbę porównania wyników między różnymi technologiami OZE. Mechanizmy kształtowania akceptacji mogą się różnić w zależności od rodzaju instalacji – farmy wiatrowe, fotowoltaika wielkoskalowa i biogazownie generują odmienne reakcje społeczne, a uogólnianie wyników uzyskanych dla jednego typu technologii na pozostałe może prowadzić do błędnych wniosków aplikacyjnych.

Wreszcie, replikacja modelu w innych krajach europejskich – szczególnie w państwach o odmiennej kulturze energetycznej i różnym stopniu zaawansowania transformacji energetycznej – pozwoliłaby ocenić zewnętrzną trafność ekologiczną uzyskanych wyników i wskazać, które ze zidentyfikowanych mechanizmów mają charakter uniwersalny, a które są specyficzne dla polskiego kontekstu społeczno-institutionalnego.

W odniesieniu do wyników uzyskanych w modelu społecznym przeprowadzono weryfikację H5 odnoszącej się do mechanizmów kształtujących poziom społecznej akceptacji inwestycji OZE wśród mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego. Hipoteza H5 zgodnie, z którą akceptacja społeczna inwestycji OZE jest związana z oceną kosztów i korzyści społecznych, działań przedsiębiorstw oraz poziomem zaufania do firm sektora OZE, znalazła potwierdzenie w wynikach modelu PLS-SEM, a wyniki analiz klasycznych pozostały z tą interpretacją spójne.

Spośród analizowanych predyktorów akceptacji społecznej najsilniejsze znaczenie miały postrzegane korzyści OZE. Ich związek z akceptacją był dodatni

i istotny statystycznie ($\beta = 0,613$; $p < 0,001$), a bardzo wysoka wielkość efektu ($f^2 = 1,931$) wskazuje, że był to kluczowy czynnik wzmacniający społeczne przyzwolenie na inwestycje OZE.

W analizie korelacji stwierdzono dodatni związek między działaniami kompensacyjnymi (K3) a akceptacją społeczną OZE (K5) na poziomie $r = 0,553$; $p < 0,001$, co oznacza, że wyższa ocena działań kompensacyjnych współwystępowała z wyższą akceptacją inwestycji OZE. Jednocześnie działania kompensacyjne były dodatnio związane z zaufaniem do firm OZE i oceną ich działań (K4_opt) ($r = 0,464$; $p < 0,001$), a zaufanie również pozostawało dodatnio związane z akceptacją społeczną ($r = 0,476$; $p < 0,001$). Układ tych zależności wskazuje więc, że działania kompensacyjne były ważne nie tylko same w sobie, ale także dlatego, że współwystępowały z wyższym poziomem zaufania do przedsiębiorstw OZE.

Wyniki regresji wielorakiej potwierdziły, że zarówno działania kompensacyjne, jak i zaufanie do firm OZE pozostawały istotnie związane z akceptacją również po uwzględnieniu pozostałych predyktorów w modelu. Dla K3 uzyskano $\beta = 0,168$; $t = 4,70$; $p < 0,001$, a dla K4_opt $\beta = 0,162$; $t = 5,17$; $p < 0,001$. Oznacza to, że oba czynniki zachowywały własne znaczenie w wyjaśnianiu poziomu akceptacji społecznej, choć ich siła była niższa niż w przypadku postrzeganych korzyści OZE. Porównanie korelacji prostych i wyników regresji sugeruje zarazem, że część związku działań kompensacyjnych z akceptacją była współdzielona z innymi pozytywnie ocenianymi aspektami sektora OZE, w tym z zaufaniem.

Najpełniejsze potwierdzenie hipotezy przyniósł jednak model PLS-SEM. Wykazano w nim istotny dodatni związek między działaniami kompensacyjnymi a zaufaniem ($KOMP \rightarrow Z = 0,671$; $p < 0,001$) oraz między zaufaniem a akceptacją społeczną ($Z \rightarrow AKC = 0,354$; $p < 0,001$). Ponadto oszacowany efekt całkowity relacji $KOMP \rightarrow AKC$ wyniósł $0,237$; $p < 0,001$, przy przedziale ufności $0,143\text{--}0,334$. Ponieważ w modelu nie uwzględniono bezpośredniej ścieżki między działaniami kompensacyjnymi a akceptacją, wynik ten należy interpretować jako wpływ pośredni realizowany za pośrednictwem zaufania. Oznacza to, że działania kompensacyjne były dodatnio związane z akceptacją społeczną zarówno na poziomie korelacyjnym, jak i pośrednio – poprzez zaufanie do przedsiębiorstw OZE w modelu PLS-SEM.

Merytorycznie wyniki te wskazują, że działania kompensacyjne stanowiły istotny element budowania społecznej akceptacji OZE. Ich znaczenie ujawniło się dwójako z jednej strony były one same w sobie pozytywnie związane z akceptacją inwestycji, z drugiej zaś pozostały powiązane ze wzrostem zaufania do firm OZE, które dodatkowo wzmacniał poziom akceptacji.

Analiza korelacji wykazała również istotny ujemny związek między postrzeganymi kosztami społecznymi OZE (K2) a akceptacją społeczną OZE (K5) na poziomie $r = -0,302$; $p < 0,001$. Oznacza to, że wyższa percepcja kosztów społecznych współwystępowała z niższym poziomem akceptacji inwestycji OZE. Wynik ten został następnie potwierdzony w analizie regresji wielorakiej. Po uwzględnieniu pozostałych predyktorów postrzegane koszty społeczne pozostały istotnym ujemnym predyktorem akceptacji społecznej ($\beta = -0,217$; $t = -7,89$; $p < 0,001$). Wskazuje to, że ich znaczenie nie było wyłącznie pochodną

współzależności z innymi zmiennymi, lecz zachowywało własny, istotny statystycznie związek z poziomem akceptacji.

Spójny rezultat uzyskano również w modelu PLS-SEM, w którym relacja $C \rightarrow AKC$ była ujemna i istotna statystycznie ($\beta = -0,200$; $p < 0,001$). Oznacza to, że także w modelu strukturalnym wyższa ocena kosztów społecznych była związana z niższym poziomem akceptacji społecznej inwestycji OZE. Zbieżność wyników korelacji, regresji klasycznej i PLS-SEM wzmacnia wiarygodność tego wniosku.

Uzyskane wyniki wskazują, że akceptacja społeczna inwestycji OZE zależała nie tylko od ogólnego stosunku mieszkańców do odnawialnych źródeł energii, lecz także od bilansu postrzeganych kosztów i korzyści, oceny działań podejmowanych przez przedsiębiorstwa oraz poziomu zaufania do firm sektora OZE. Postrzegane koszty społeczne obniżały poziom akceptacji, natomiast postrzegane korzyści, pozytywna ocena działań kompensacyjnych oraz wyższe zaufanie do przedsiębiorstw występowały z wyższą akceptacją społeczną. Tym samym hipoteza H5 została potwierdzona.

Istotnym rezultatem rozprawy jest opracowanie także modelu poziomów zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE. Model ten porządkuje wyniki badań empirycznych i ujmuje zarządzanie kosztami społecznymi jako proces przechodzenia od działań reaktywnych do podejścia monitorowanego, zintegrowanego i strategicznego. Uwzględnia on trzy zasadnicze obszary: ekonomiczno-organizacyjny, środowiskowy oraz społeczno-zdrowotny, wskazując, że wyższy poziom zaawansowania nie polega wyłącznie na podejmowaniu działań kompensacyjnych, lecz przede wszystkim na systemowym rozpoznawaniu, monitorowaniu i ograniczaniu kosztów społecznych. Zaproponowany model ma charakter diagnostyczno-aplikacyjny i może służyć przedsiębiorstwom sektora OZE jako narzędzie samooceny, a administracji publicznej i instytucjom regionalnym jako pomocnicze narzędzie oceny jakości zarządzania skutkami rozwoju odnawialnych źródeł energii.

Przeprowadzone badania pozwoliły na potwierdzenie hipotezy głównej pracy, zgodnie z którą poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE wykazywał istotne związki z poziomem zaawansowania praktyk w obszarze ekonomiczno-organizacyjnym, środowiskowym oraz społeczno-zdrowotnym. Uzyskane wyniki wskazują, że poziom zaawansowania nie był prostą sumą podejmowanych działań, lecz efektem sposobu ich organizacji, systematyzacji i powiązania z procesami decyzyjnymi przedsiębiorstwa. Szczególne znaczenie miały działania o charakterze systemowym i prewencyjnym, zwłaszcza monitoring wskaźników środowiskowych oraz uwzględnianie kosztów społecznych i zdrowotnych na etapie planowania inwestycji. Jednocześnie wyniki pokazały, że część działań kompensacyjnych i finansowych może mieć charakter reaktywny, związany z odpowiedzią na ujawnione ryzyka lub napięcia społeczne. Zarządzanie kosztami społecznymi w sektorze OZE powinno być traktowane jako istotny element zaawansowania organizacyjnego przedsiębiorstw oraz warunków trwałego, odpowiedzialnego i społecznie akceptowanego rozwoju odnawialnych źródeł energii.

LITERATURA

- Abdi H., *Bonferroni and Šidák corrections for multiple comparisons* [w:] *Encyclopedia of Measurement and Statistics*, 2007.
- Achuo E.D., Ojong N., *Energy transition and pollution emissions in developing countries: are renewable energies guilty?*, „International Journal of Development Issues” t. 22 nr 3 (2023), DOI: 10.1108/IJDI-05-2023-0114, <http://www.emerald.com/ijdi/article/22/3/361-382/130413>.
- Adamczewski T., Wójcik J., *Zrozumieć cele OZE*, 2023 r.
- Adebayo G.O., *Counter-radicalization policies and policing in education: making a case for human security in Europe*, „Heliyon” t. 7 nr 2 (2021), DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e05721, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844020325640>.
- Aderinto E., *Energy Consumption, Environmental Quality and Health Nexus in West African Countries: Implications for Sustainable Development*, 10 lipca 2023 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-3057950/v1>.
- Adiwibowo P.H., Soeryanto S., Kurniawan W.D., Arsana I.M., *Crossflow Hydro Turbine with the Interference Blade Improve Turbine Performance* [w:] *Proceedings of the International Joint Conference on Science and Engineering 2022 (IJCSE 2022)*, Dordrecht 2022.
- Agaton C.B., *Use coal or invest in renewables: a real options analysis of energy investments in the Philippines*, „Renewables: Wind, Water, and Solar” t. 5 nr 1 (2018), DOI: 10.1186/s40807-018-0047-2, <https://jrenewables.springeropen.com/articles/10.1186/s40807-018-0047-2>.
- Aguirre M., Ibikunle G., *Determinants of renewable energy growth: A global sample analysis*, „Energy Policy” t. 69 (2014), DOI: 10.1016/j.enpol.2014.02.036, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421514001451>.
- Ahmed S., Ali A., D’Angola A., *A Review of Renewable Energy Communities: Concepts, Scope, Progress, Challenges, and Recommendations*, „Sustainability” t. 16 nr 5 (2024), DOI: 10.3390/su16051749, <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/5/1749>.
- Ahmedhamdi R.T., Shneen S.W., *Using position control to improve the efficiency of wind turbine*, „TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)” t. 18 nr 6 (2020), DOI: 10.12928/telkomnika.v18i6.16171, <http://telkomnika.uad.ac.id/index.php/TELKOMNIKA/article/view/16171>.
- Akçay E.C., *Risk assessment of solar energy investments*, „Journal of Construction Engineering, Management & Innovation” t. 1 nr 4 (2018), DOI: 10.31462/jcemi.2018.04171177, http://www.goldenlightpublish.com/dosyalar/baski/JCEMI_2019_64.pdf.

- Akhlisah Z.N., Ong H.C., Lee H.V., Tan Y.H., *Environmental impacts of biomass energy: A life cycle assessment perspective for circular economy*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” t. 226 (2026), DOI: 10.1016/j.rser.2025.116363, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032125010366>.
- Akinwale Omowumi Ishola, Olusegun Gbenga Odunaiya, Oluwatobi Timothy Soyombo, *Stakeholder communication framework for successful implementation of community-based renewable energy projects*, „International Journal of Frontiers in Engineering and Technology Research” t. 7 nr 2 (2024), DOI: 10.53294/ijfstr.2024.7.2.0047, <https://frontiersrj.com/journals/ijfetr/node/244>.
- Al-Marri R., Abdalla G., Mahdi E., *Project management maturity in project-based organizations: frameworks, drivers, and the role of sustainability*, „Future Business Journal” t. 11 nr 1 (2025), DOI: 10.1186/s43093-025-00670-z, <https://fbj.springeropen.com/articles/10.1186/s43093-025-00670-z>.
- Al-Oun S., AlMaaitah M.F., Al-Azamat A.-M., *Sustainable Energy Transition in Jordan: The Interplay of Regulatory Frameworks and Infrastructure*, „Energies” t. 18 nr 5 (2025), DOI: 10.3390/en18051220, <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/5/1220>.
- Al-Shammari Z.W., Hadi Algeboory A., Hadi Al-Jebory S., i in., *Optimal sizing of hybrid system through particle swarm optimization for rural areas in Iraq*, „Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science” t. 28 nr 2 (2022), DOI: 10.11591/ijeecs.v28.i2.pp636-643, <https://ijeecs.iaescore.com/index.php/IJECS/article/view/28203>.
- Alberini A., Bigano A., Ščasný M., Zvěřinová I., *Preferences for Energy Efficiency vs. Renewables: What Is the Willingness to Pay to Reduce CO2 Emissions?*, „Ecological Economics” t. 144 (2018), DOI: 10.1016/j.ecolecon.2017.08.009, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921800916312472>.
- Alberizzi J.C., Renzi M., Righetti M., i in., *Speed and Pressure Controls of Pumps-as-Turbines Installed in Branch of Water-Distribution Network Subjected to Highly Variable Flow Rates*, „Energies” t. 12 nr 24 (2019), DOI: 10.3390/en12244738, <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/24/4738>.
- Alex Olanrewaju Adekanmbi, Nwakamma Ninduwezuor-Ehiobu, Uchenna Izuka, i in., *Assessing the environmental health and safety risks of solar energy production*, „World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences” t. 17 nr 2 (2024), DOI: 10.30574/wjbphs.2024.17.2.0080, <https://wjbphs.com/content/assessing-environmental-health-and-safety-risks-solar-energy-production>.
- Allenby B.R., *Environmental Security: Concept and Implementation*, „International Political Science Review” t. 21 nr 1 (2000), DOI: 10.1177/0192512100211001, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0192512100211001>.

- Altieri K., 2030 Global Renewable Target Tracker, „Ember-Energy” (2025), <https://ember-energy.org/data/2030-global-renewable-target-tracker/>.
- Amaducci S., Facciotto G., Bergante S., i in., *Biomass production and energy balance of herbaceous and woody crops on marginal soils in the Po Valley*, „GCB Bioenergy” t. 9 nr 1 (2017), DOI: 10.1111/gcbb.12341, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcbb.12341>.
- Andersen P.H., Ali M., Anvari-Moghaddam A., i in., *Re-purposing Wind Turbine Blades*, „Proceedings of the 6th Product Lifetimes and the Environment Conference (PLATE2025)” nr 6 (2025), DOI: 10.54337/plate2025-10269, <https://journals.aau.dk/index.php/plate2025/article/view/10269>.
- Annibaldi V., Condemi A., Cucchiella F., i in., *Renewable Energy Policies: Bibliometric Review and Policy Implications*, „Environmental and Climate Technologies” t. 24 nr 3 (2020), DOI: 10.2478/rtuct-2020-0112, <https://www.sciendo.com/article/10.2478/rtuct-2020-0112>.
- Apergis N., Payne J.E., *The renewable energy consumption–growth nexus in Central America*, „Applied Energy” t. 88 nr 1 (2011), DOI: 10.1016/j.apenergy.2010.07.013, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261910002825>.
- Argüelles Díaz K.M., Velarde-Suárez S., Fernández Oro J.M., González Pérez J., *Simplified Assessment on the Wind Farm Noise Impact of the E2O Experimental Offshore Station in the Asturian Coast*, „Energies” t. 13 nr 21 (2020), DOI: 10.3390/en13215788, <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/21/5788>.
- Armeanu D., Vintilă G., Gherghina Ș., *Does Renewable Energy Drive Sustainable Economic Growth? Multivariate Panel Data Evidence for EU-28 Countries*, „Energies” t. 10 nr 3 (2017), DOI: 10.3390/en10030381, <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/3/381>.
- Armstrong A., Waldron S., Whitaker J., Ostle N.J., *Wind farm and solar park effects on plant-soil carbon cycling: uncertain impacts of changes in ground-level microclimate*, „Global Change Biology” t. 20 nr 6 (2014), DOI: 10.1111/gcb.12437, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.12437>.
- Arslan Ü., Yıldız T., *Does the transition to renewable energy increase inflation in European countries?*, 29 marca 2022 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-1408222/v1>.
- Arthur J.L., Kodiah A.N., Arthur S.D., *Energy Storage and Renewable Integration in Ghana: Socio-Technical Drivers, Barriers, and Policy Implications for Sustainability*, 27 maja 2025 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-6422986/v1>.
- Asa’a S., Reher T., Rongé J., i in., *A multidisciplinary view on agrivoltaics: Future of energy and agriculture*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” t. 200 (2024), DOI: 10.1016/j.rser.2024.114515,

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032124002387>.

- Ashraf M.A., Amescua García C.M., Chowdhury A.J.K., *INTRODUCTION ENVIRONMENT, DEVELOPMENT AND SUSTAINABILITY*, „Revista Internacional de Contaminación Ambiental” t. 35 nr esp01 (2019), DOI: 10.20937/RICA.2019.35.esp01.01, <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2019.35.esp01.01/46866>.
- Assan S., *Understanding the EU's Methane Regulation for coal*, „Ember-Energy” (2024), <https://ember-energy.org/latest-insights/eumethane-reg-explained/>.
- Avila S., *Environmental justice and the expanding geography of wind power conflicts*, „Sustainability Science” t. 13 nr 3 (2018), DOI: 10.1007/s11625-018-0547-4, <http://link.springer.com/10.1007/s11625-018-0547-4>.
- Avramenko A.A., Mujumdar A.A., *Exploring relationship between oil prices and renewable energy investments*, „Market economy problems” nr 1 (2020), DOI: 10.33051/2500-2325-2020-1-116-125, <http://www.market-economy.ru/archive/2020-01/2020-01-116-125-avramenko-mudzhumdar.pdf>.
- Awang A.H., Abdulrazik A., Dahawi Y., Nafsun A.I., *Integration Analysis of Torrefied Empty Fruit Bunch as Feedstock to Biomass-Based Power Generation Plants*, „Chemical Engineering & Technology” t. 46 nr 12 (2023), DOI: 10.1002/ceat.202200609, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ceat.202200609>.
- Aydos M., Toledano P., Dietrich Brauch M., i in., *Scaling investment in renewable energy generation to achieve sustainable development goals 7 (affordable and clean energy) and 13 (climate action) and the Paris agreement: Roadblocks and drivers*, „Columbia Center on Sustainable Investment and Columbia University” (2022).
- Aytac A., *Environmental and socio-economic impact comparison of solar and hydroelectric systems: A case of a real investment*, 27 czerwiec 2024 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-4559710/v1>.
- Azarova E., Jun H., *Investigating Determinants of International Clean Energy Investments in Emerging Markets*, „Sustainability” t. 13 nr 21 (2021), DOI: 10.3390/su132111843, <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/21/11843>.
- Azarova V., Cohen J., Friedl C., Reichl J., *Designing local renewable energy communities to increase social acceptance: Evidence from a choice experiment in Austria, Germany, Italy, and Switzerland*, „Energy Policy” t. 132 (2019), DOI: 10.1016/j.enpol.2019.06.067, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421519304379>.
- Badreddine A., Larbi Cherif H., *Public health improvement by reducing air pollution: A strategy for the transition to renewable energy*, „Health Economics and Management Review” t. 5 nr 1 (2024), DOI: 10.61093/hem.2024.1-01,

<https://armgpublishing.com/journals/hem/volume-5-issue-1/article-1/>.

- Baka J., *Making Space for Energy: Wasteland Development, Enclosures, and Energy Disposessions*, „Antipode” t. 49 nr 4 (2017), DOI: 10.1111/anti.12219, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/anti.12219>.
- Banaś M., Pająk T., Bator J., i in., *Energy Efficiency Analysis of Waste-to-Energy Plants in Poland*, „Energies” t. 17 nr 10 (2024), DOI: 10.3390/en17102390, <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/10/2390>.
- Banja M., Sikkema R., Jégard M., i in., *Biomass for energy in the EU – The support framework*, „Energy Policy” t. 131 (2019), DOI: 10.1016/j.enpol.2019.04.038, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421519302873>.
- Barakat C., Yousufzai S., *Green space and mental health for vulnerable populations: A conceptual review of the evidence*, „Journal of Military, Veteran and Family Health” t. 6 nr S3 (2020), DOI: 10.3138/jmvfh-2019-0040, <https://utppublishing.com/doi/10.3138/jmvfh-2019-0040>.
- Barron-Gafford G.A., Minor R.L., Allen N.A., i in., *The Photovoltaic Heat Island Effect: Larger solar power plants increase local temperatures*, „Scientific Reports” t. 6 nr 1 (2016), DOI: 10.1038/srep35070, <https://www.nature.com/articles/srep35070>.
- Bartlett M.S., *Tests of significance in factor analysis*, „British Journal of Statistical Psychology” t. 3 nr 2 (1950), DOI: 10.1111/j.2044-8317.1950.tb00285.x, <https://bpspsychub.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.2044-8317.1950.tb00285.x>.
- Beauson J., Abrahamsen A.B., Villadsen I.B.V., i in., *Glass Fibers Produced With Recovered Glass Fibers From Wind Turbine Blades—Recycling Value Chain and Properties of Glass Fibers and Composites*, „Polymer Composites” (2025), DOI: 10.1002/pc.70006, <https://4spepublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pc.70006>.
- Behringer K., Szegedi K., *The Role Of CSR In Achieving Sustainable Development – Theoretical Approach*, „European Scientific Journal, ESJ” t. 12 nr 22 (2016), DOI: 10.19044/esj.2016.v12n22p10, <http://eujournal.org/index.php/esj/article/view/7936>.
- Beiter P., Musial W., Duffy P., i in., *The Cost of Floating Offshore Wind Energy in California Between 2019 and 2032*, 1 października 2020 r., <https://www.osti.gov/servlets/purl/1710181/>.
- Beswick R.R., Oliveira A.M., Yan Y., *Does the Green Hydrogen Economy Have a Water Problem?*, „ACS Energy Letters” t. 6 nr 9 (2021), DOI: 10.1021/acsenerylett.1c01375, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsenerylett.1c01375>.
- Bezpalova O.I., Onopriienko S., Tarasov S., i in., *STATE ENVIRONMENTAL*

- SECURITY IN NATIONAL AND GLOBALIZATION ASPECTS*, „Journal of Security and Sustainability Issues” t. 9 nr 3 (2020), DOI: 10.9770/jssi.2020.9.3(6), https://jssidoi.org/jssi/uploads/papers/36/Bezpalova_State_environmental_security_in_national_and_globalization_aspects.pdf.
- Bilan Y., Streimikiene D., Vasylieva T., i in., *Linking between Renewable Energy, CO2 Emissions, and Economic Growth: Challenges for Candidates and Potential Candidates for the EU Membership*, „Sustainability” t. 11 nr 6 (2019), DOI: 10.3390/su11061528, <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/6/1528>.
- Blanc I., Damen L., Douziech M., i in., *First version of harmonized guidelines to perform environmental assessment for geothermal systems based on LCA and non LCA impact indicators: LCA Guidelines for Geothermal Installations*, „GEOENVI” (2020).
- Błaszczuk K., *Wykorzystanie energii wodnej w Polsce: potencjał i wyzwania dla przyszłości*, „Centrumoże” (2025).
- Błaszczuk K., *Jak działa elektrownia wodna Żarnowiec - tajemnice energii szczytowo-pompowej*, „Centrumoże” (2025).
- Borkowski D., Majdak M., *Small Hydropower Plants with Variable Speed Operation—An Optimal Operation Curve Determination*, „Energies” t. 13 nr 23 (2020), DOI: 10.3390/en13236230, <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/23/6230>.
- Bošnjaković M., Stojkov M., *Environmental Impact of Geothermal Power Plants*, „Tehnicki vjesnik - Technical Gazette” t. 26 nr 5 (2019), DOI: 10.17559/TV-20180829122640, <https://hrcak.srce.hr/226053>.
- Bressane A., Silva M.B., Goulart A.P.G., Medeiros L.C. de C., *Understanding How Green Space Naturalness Impacts Public Well-Being: Prospects for Designing Healthier Cities*, „International Journal of Environmental Research and Public Health” t. 21 nr 5 (2024), DOI: 10.3390/ijerph21050585, <https://www.mdpi.com/1660-4601/21/5/585>.
- Breusch T.S., Pagan A.R., *A Simple Test for Heteroscedasticity and Random Coefficient Variation*, „Econometrica” t. 47 nr 5 (1979), DOI: 10.2307/1911963, <https://www.jstor.org/stable/1911963?origin=crossref>.
- Brock C., Roehrdanz P., Beringer T., i in., *Balancing land use for conservation, agriculture, and renewable energy*, 30 lipca 2024 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-3798412/v1>.
- Brzeziński P., Strzelecki P., *Wodociągowa wieża ciśnień w Wąbrzeźnie jako szczytowo-pompowy magazyn energii*, „BUILDER” t. 327 nr 10 (2024), DOI: 10.5604/01.3001.0054.7325, <https://builderscience.pl/gicid/01.3001.0054.7325>.

- Bujewski M., *Obszary chronionego krajobrazu*, „Nadleśnictwo Runowo” (2023), <https://runowo.torun.lasy.gov.pl/obszary-chronionego-krajobrazu>.
- Burduja M.A., Paraschiv D.M., *Economic Barriers and Incentives in the Energy Transition: A Comparative Analysis of Policy Frameworks and Market Responses* [w:] *New Trends in Sustainable Business and Consumption*, Editura ASE 2025.
- Butts K.H., *Environmental Security and Climate Change: A Link to Homeland Security*, „Journal of Homeland Security and Emergency Management” (2014), DOI: 10.1515/jhsem-2013-0098, <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/jhsem-2013-0098/html>.
- Callaghan G., Williams D., *Teddy bears and tigers: How renewable energy can revitalise local communities*, „Local Economy: The Journal of the Local Economy Policy Unit” t. 29 nr 6–7 (2014), DOI: 10.1177/0269094214551254, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0269094214551254>.
- Carroll A.B., *Corporate Social Responsibility*, „Business & Society” t. 38 nr 3 (1999), DOI: 10.1177/000765039903800303, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/000765039903800303>.
- Carroll A.B., *The pyramid of corporate social responsibility: Toward the moral management of organizational stakeholders*, „Business Horizons” t. 34 nr 4 (1991), DOI: 10.1016/0007-6813(91)90005-G, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/000768139190005G>.
- Caruso G., Colantonio E., Gattone S.A., *Relationships between Renewable Energy Consumption, Social Factors, and Health: A Panel Vector Auto Regression Analysis of a Cluster of 12 EU Countries*, „Sustainability” t. 12 nr 7 (2020), DOI: 10.3390/su12072915, <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/7/2915>.
- Castro P.H.G.R.P., Oliveira Filho D., Moraes Toledo O., i in., *Integrated analysis of photovoltaic system externalities in Brazil: public health expenditures, energy quality, architectural aspects and real estate value*, „Renewable Energy and Environmental Sustainability” t. 7 (2022), DOI: 10.1051/rees/2022002, <https://www.rees-journal.org/10.1051/rees/2022002>.
- Cemex, *Raport: RDF - alternatywa dla kopalnego paliwa*, „Cementownia Chełm” (2024).
- Centrum Informacji Rynku Energii, *Rośnie ilość biomasy leśnej spalanej w energetyce*, „Agencja Rynku Energii” (2022).
- Cha C.-W., Lee J., Jun S., i in., *A Maturity Model for Diagnosing the Capabilities of Smart Factory Solution Suppliers and Its Pilot Application*, „Systems” t. 11 nr 12 (2023), DOI: 10.3390/systems11120569, <https://www.mdpi.com/2079-8954/11/12/569>.
- Chakraborty M.R., Dawn S., Saha P.K., i in., *A Comparative Review on Energy*

- Storage Systems and Their Application in Deregulated Systems*, „Batteries” t. 8 nr 9 (2022), DOI: 10.3390/batteries8090124, <https://www.mdpi.com/2313-0105/8/9/124>.
- Chaudhry K.T., Javed A., Nazir M.A., *Humanitarian Crisis and Intervention: Securitizing Environmental Challenges in Pakistan*, „Annals of Human and Social Sciences” t. 3 nr III (2022), DOI: 10.35484/ahss.2022(3-III)02, <https://ojs.ahss.org.pk/journal/article/view/9>.
- Chen S., Feng H., Zheng J., i in., *Life Cycle Assessment and Economic Analysis of Biomass Energy Technology in China: A Brief Review*, „Processes” t. 8 nr 9 (2020), DOI: 10.3390/pr8091112, <https://www.mdpi.com/2227-9717/8/9/1112>.
- Chen W.-H., Peng J., Bi X.T., *A state-of-the-art review of biomass torrefaction, densification and applications*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” t. 44 (2015), DOI: 10.1016/j.rser.2014.12.039, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032114010910>.
- Chijioke Paul Agupugo, Abidemi Obatoyinbo Ajayi, Chinonso Nwanevu, Segun Samuel Oladipo, *Policy and regulatory framework supporting renewable energy microgrids and energy storage systems*, „Engineering Science & Technology Journal” t. 5 nr 8 (2024), DOI: 10.51594/estj.v5i8.1460, <https://fepbl.com/index.php/estj/article/view/1460>.
- Chowdhury M.S., Rahman K.S., Chowdhury T., i in., *An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling*, „Energy Strategy Reviews” t. 27 (2020), DOI: 10.1016/j.esr.2019.100431, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211467X19301245>.
- Ciszek M., *Ecological (environmental) security and ecological (environmental) security culture*, „Kultura Bezpieczeństwa” t. 5 (2016), <https://hdl.handle.net/11331/2693>.
- Cleveland T., *Health and Safety Impacts of Solar Photovoltaics*, „NC State University - NC Clean Energy Technology Center” (2017).
- Coase R., *The Problem of Social Cost*, „The Journal of Law & Economics” t. 56 nr 4 (1960).
- Cocco D., Lecis L., Micheletto D., *Life Cycle Assessment of an Integrated PV-ACAES System*, „Energies” t. 16 nr 3 (2023), DOI: 10.3390/en16031430, <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/3/1430>.
- Cohen J., *Statistical power analysis for the behavioral sciences Second Edition*, New York 1998.
- Confederation of European Waste-to-Energy Plants (CEWEP), *Waste to Energy in Europe in 2022*, <https://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2025/02/EU-Map-2022.pdf>.

- Consortium for Battery Innovation, *Advanced energy storage system: Poland's Wind Farm using the best of both worlds*, (2020), <https://batteryinnovation.org/advanced-energy-storage-system-polands-windfarm-using-the-best-of-both-worlds>.
- Correia A.M.M., Veiga C.P. da, Senff C.O., Duclós L.C., *Analysis of the Maturity Level of Business Processes for Science and Technology Parks*, „Sage Open” t. 11 nr 3 (2021), DOI: 10.1177/21582440211037303, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/21582440211037303>.
- Correia da Fonseca F.X., Amaral L., Chainho P., *A Decision Support Tool for Long-Term Planning of Marine Operations in Ocean Energy Projects*, „Journal of Marine Science and Engineering” t. 9 nr 8 (2021), DOI: 10.3390/jmse9080810, <https://www.mdpi.com/2077-1312/9/8/810>.
- Cousse J., *Still in love with solar energy? Installation size, affect, and the social acceptance of renewable energy technologies*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” t. 145 (2021), DOI: 10.1016/j.rser.2021.111107, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032121003956>.
- Couto T.B.A., Rezende R.S., Aquino P.P.U. de, i in., *Effects of small hydropower dams on macroinvertebrate and fish assemblages in southern Brazil*, „Freshwater Biology” t. 68 nr 6 (2023), DOI: 10.1111/fwb.14078, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/fwb.14078>.
- Craig M., Zhao J., Schneider G., i in., *Net revenue and downstream flow impact trade-offs for a network of small-scale hydropower facilities in California*, „Environmental Research Communications” t. 1 nr 1 (2019), DOI: 10.1088/2515-7620/aafd62, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2515-7620/aafd62>.
- Croft D.P., Lee A., Nordgren T.M., i in., *Climate Change and Respiratory Health: Opportunities to Contribute to Environmental Justice: An Official American Thoracic Society Workshop Report*, „Annals of the American Thoracic Society” t. 22 nr 5 (2025), DOI: 10.1513/AnnalsATS.202502-219ST, <https://www.atsjournals.org/doi/10.1513/AnnalsATS.202502-219ST>.
- Cronbach L.J., *Coefficient Alpha and the Internal Structure of Tests*, „Psychometrika” t. 16 nr 3 (1951), DOI: 10.1007/BF02310555, https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0033312300046494/type/journal_article.
- Cruz-Pérez N., Santamarta J.C., Gamallo-Paz I., i in., *A comparison between carbon footprint of water production facilities in the Canary Islands: groundwater resources vs. seawater desalination*, „Sustainable Water Resources Management” t. 8 nr 4 (2022), DOI: 10.1007/s40899-022-00706-0, <https://link.springer.com/10.1007/s40899-022-00706-0>.
- Cui H., Wu X., Fang T., *An Empirical Research on the Relationship Between*

- Renewable Energy Investment and Low Carbon Growth in China*, „Polish Journal of Environmental Studies” t. 30 nr 2 (2021), DOI: 10.15244/pjoes/123198, <http://www.pjoes.com/An-Empirical-Research-on-the-Relationship-between-Renewable-Energy-Investment-and-123198,0,2.html>.
- Czapla M., Wszolek T., *Analysis of Wind Turbine Acoustic Signals in Terms of Detecting Amplitude Modulation and Frequency Deviation* [w:] *Proceedings of the 10th Convention of the European Acoustics Association Forum Acusticum 2023*, Turin, Italy 2024.
- Czechowski N., *URE: tylko 55 MW nowych mocy OZE dodano w Polsce w 2018 roku*, „Świat OZE” (2019).
- Czwołek A., *Stan i perspektywy rozwoju odnawialnych źródeł energii w województwie kujawskopomorskim*, 2023 r., <https://www.copernicanum.pl/2023,02,nasza-analiza-odnawialne-zrodla-energii-w-wojewodztwie-kujawsko-pomorskim/>.
- Czyzak P., Mindekova T., *Poland generated 54% of electricity from coal in 2024, down from 70% just 2 years ago*, „Ember-Energy” (2025), <https://ember-energy.org/countries-and-regions/poland/?utm.com>.
- D’Odorico P., Davis K.F., Rosa L., i in., *The Global Food-Energy-Water Nexus*, „Reviews of Geophysics” t. 56 nr 3 (2018), DOI: 10.1029/2017RG000591, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2017RG000591>.
- Dąbkowski K., *Wyjaśnienia Wójta w sprawie budzących kontrowersje inwestycji „Gmina Tłuchowo”* (2025), <https://tluchowo.com.pl/aktualnosci/wyjasnienia-wojta-w-sprawie-budzacych-kontrowersje-inwestycji.html>.
- Dahlsrud A., *How corporate social responsibility is defined: an analysis of 37 definitions*, „Corporate Social Responsibility and Environmental Management” t. 15 nr 1 (2008), DOI: 10.1002/csr.132, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/csr.132>.
- Dallal G.E., Wilkinson L., *An analytic approximation to the distribution of Lilliefors’ test for normality*, „The American Statistician” t. 40 (1986).
- Damola Habeeb Adebayo, Joshua Adenrele Ajiboye, Ugochukwu Daniel Okwor, i in., *Optimizing energy storage for electric grids: Advances in hybrid technologies*, „World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences” t. 14 nr 2 (2025), DOI: 10.30574/wjaets.2025.14.2.0053, <https://journalwjaets.com/node/312>.
- Dangol S., Zhang X., Sun C., i in., *Impacts of Bioenergy Crop Cultivation on Regional Climate, Hydrology, and Water Quality in the U.S. Northern High Plains*, „Water Resources Research” t. 61 nr 2 (2025), DOI: 10.1029/2024WR037782, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2024WR037782>.
- Darlington Eze Ekechukwu, Peter Simpa, *A comprehensive review of innovative*

- approaches in renewable energy storage*, „International Journal of Applied Research in Social Sciences” t. 6 nr 6 (2024), DOI: 10.51594/ijarss.v6i6.1176, <https://feplb.com/index.php/ijarss/article/view/1176>.
- Dávalos N.B., Rodrigues-Filho S., Litre G., *The impacts of the construction of hydroelectrics on indigenous communities. Displacement, division and pilgrimage among The Tuxá peoples of Bahia state, Brazil*, „Sustentabilidade em Debate” t. 12 nr 1 (2021), DOI: 10.18472/SustDeb.v12n1.2021.36587, <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/36587>.
- Dębowski M.J., *Nieuczciwe praktyki prosumentów energii odnawialnej z perspektywy publicznoprawnej*, „Zeszyty Prawnicze” t. 25 nr 1 (2025), DOI: 10.21697/zp.2025.25.1.03, <https://czasopisma.uksw.edu.pl/index.php/zp/article/view/15217>.
- Dehghani F., Shafiyi M.A., *Integration of hybrid renewable energy sources with the power system considering their economic complementarity*, „IET Renewable Power Generation” t. 17 nr 15 (2023), DOI: 10.1049/rpg2.12871, <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1049/rpg2.12871>.
- Dijkstra T.K., Henseler J., *Consistent and asymptotically normal PLS estimators for linear structural equations*, „Computational Statistics & Data Analysis” t. 81 (2015), DOI: 10.1016/j.csda.2014.07.008, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167947314002126>.
- Dmytriiev I., Shevchenko I., Kudryavtsev V., i in., *Development of a System for Recycling Used Batteries and Lead-Containing Batteries: Assessment of the Economic Effect with Minimising Damage to the Environment*, „Scientific Horizons” t. 25 nr 3 (2022), DOI: 10.48077/scihor.25(3).2022.98-104, <https://sciencehorizon.com.ua/en/journals/tom-25-3-2022/rozrobka-sistemi-utilizatsiyi-vidpratsovanikh-batareyok-ta-svintsevikh-akumulyatoriv-otsinka-ekonomichnogo-efektu-z-minimizatsiyeyu-shkodi-dovkilliyu>.
- Dorbonova Ī., Sugözü Ī.H., *Analyzing the relationship between health expenditure, renewable energy and life expectancy: evidence from Asian countries*, „ESAM Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi” t. 5 nr 1 (2024), DOI: 10.53662/esamdergisi.1459607, <http://dergipark.org.tr/en/doi/10.53662/esamdergisi.1459607>.
- Dulak M., Kułakowska M., *Poland's Governmental Response to the European Green Deal: Discursive Strategies prior to the Russian Invasion of Ukraine in February 2022*, „Politics in Central Europe” t. 20 nr 1 (2024), DOI: 10.2478/pce-2024-0007, <https://www.sciendo.com/article/10.2478/pce-2024-0007>.
- Dunlap A., *Negotiating Climate Change in Crisis. 10. End the „Green” Delusions: Industrial Scale Renewable Energy is Fossil Fuel+*, Cambridge 2021.
- Dunlap A., Sovacool B.K., Novaković B., *‘A Dead Sea of Solar Panels:’ solar*

- enclosure, extractivism and the progressive degradation of the California desert*, „The Journal of Peasant Studies” t. 52 nr 3 (2025), DOI: 10.1080/03066150.2024.2388051, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03066150.2024.2388051>.
- DURMUŞ ŞENYAPAR H.N., *A bibliometric analysis on renewable energy's public health benefits*, „Journal of Energy Systems” t. 7 nr 1 (2023), DOI: 10.30521/jes.1252122, <http://dergipark.org.tr/en/doi/10.30521/jes.1252122>.
- Dz.U. 1991 nr 32 poz. 131, *Ustawa z dnia 21 marca 1991 r. o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej*, (1991).
- Dz.U. 2021 poz. 234, *Ustawa z dnia 17 grudnia 2020 r. o promowaniu wytwarzania energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych*, (2021).
- Dz.U. L 327 z 22.12.2000 pp. 1–73, *Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej*, (2000).
- Dz.U.2023.1436, *Ustawa o odnawialnych źródłach energii z dnia 20.02.2015 r., art. 184l ust. 1-2*.
- Dziennik Ustaw - rok 2018 poz. 1722, *Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. o zmianie ustawy – Prawo wodne oraz niektórych innych ustaw*, (2018).
- Eissa M., Tian B., Lobatto-Milstein *Numerical Method in Application of Uncertainty Investment of Solar Power Projects*, „Energies” t. 10 nr 1 (2017), DOI: 10.3390/en10010043, <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/1/43>.
- Eko Eddy Supriyanto, *Green and Renewable Energy Financing Policy in Indonesia* [w:] *Renewable Energy: Policy and Strategy*, Penerbit BRIN 2023.
- ElAlfy A., Palaschuk N., El-Bassiouny D., i in., *Scoping the Evolution of Corporate Social Responsibility (CSR) Research in the Sustainable Development Goals (SDGs) Era*, „Sustainability” t. 12 nr 14 (2020), DOI: 10.3390/su12145544, <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/14/5544>.
- Ellen MacArthur Foundation, *Completing the picture: How the circular economy tackles climate change*, (2019).
- Elzaki R.M., *Impact of Financial Development Shocks on Renewable Energy Consumption in Saudi Arabia*, „Sustainability” t. 15 nr 22 (2023), DOI: 10.3390/su152216004, <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/22/16004>.
- Emblemsvåg J., *Rethinking the “Levelized Cost of Energy”: A critical review and evaluation of the concept*, „Energy Research & Social Science” t. 119 (2025), DOI: 10.1016/j.erss.2024.103897, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214629624004882>.
- Enerdata, *Poland will hold its 2025 renewable auctions for 75.9 TWh in early July 2025*, „Enerdata” (2025), <https://www.enerdata.net/publications/daily-energy->

news/poland-will-hold-its-2025-renewable-auctions-759-twh-early-july-2025.html?utm.com.

Energy Regulatory Office, *2024 RES Auctions: 16 TWh of electricity worth PLN 5.1 billion. The President of URE summarised the results of the RES electricity auction*, (2024).

Enserink M., Etteger R. Van, Brink A. Van den, Stremke S., *To support or oppose renewable energy projects? A systematic literature review on the factors influencing landscape design and social acceptance*, „Energy Research & Social Science” t. 91 (2022), DOI: 10.1016/j.erss.2022.102740, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214629622002444>.

ENTSO-E Electrifying Europe, *System Flexibility Needs for the Energy Transition*, (2024), <https://www.entsoe.eu/system-flexibility/>.

ENTSO-E Electrifying Europe, *ENTSO-E publishes the final Guideline for Cost Benefit Analysis of Grid Development Projects*, (2024), <https://www.entsoe.eu/news/2024/04/09/entso-e-publishes-the-final-guideline-for-cost-benefit-analysis-of-grid-development-projects>.

Epis J.G., *Ethical Dilemmas in Renewable Energy Transition in Siargao Island: Balancing Innovation, Justice, and Environmental Responsibility*, „Ethical Dilemmas in Renewable Energy Transition in Siargao Island: Balancing Innovation, Justice, and Environmental Responsibility” t. 1 nr 1 (2025), DOI: 10.69481/IJOMAITFFA1900EPIS, <http://ijomai.virtualrealia.org/ethical-dilemmas-in-renewable-energy-transition-in-siargao-island-balancing-innovation-justice-and-environmental-responsibility/>.

Ergun S.J., Rivas M.F., *Does higher income lead to more renewable energy consumption? Evidence from emerging-Asian countries*, „Heliyon” t. 9 nr 1 (2023), DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e13049, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844023002566>.

European Commission, *Water Framework Directive (2000/60/EC)*, (2025).

European Commission, *2.P. Scientific session: Improving health impact assessment in the context of EU policy cycle*, „European Journal of Public Health” t. 34 nr Supplement_3 (2024), DOI: 10.1093/eurpub/ckae144.119, <https://academic.oup.com/eurpub/article/doi/10.1093/eurpub/ckae144.119/7843286>.

European Commission, *Renewable Energy Directive*, 2024 r., https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en.

European Commission, *Flexibility requirements and the role of storage in future European power systems*, (2023), <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC130519>.

- European Commission, *Future EU power systems: renewables' integration to require up to 7 times larger flexibility*, (2023).
- European Commission, *REPowerEU Affordable, secure and sustainable energy for Europe*, (2022), https://commission.europa.eu/topics/energy/repowereu_en.
- European Commission, *Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe*, (2020).
- European Commission, *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects for Cohesion Policy 2014-2020*, (2014), https://ec.europa.eu/regional_policy/en/information/publications/guides/2014/guide-to-cost-benefit-analysis-of-investment-projects-for-cohesion-policy-2014-2020.
- European Union, *Increasing Flexibility in the EU Energy System*, (2025), [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/ECTI_STU\(2025\)769347](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/ECTI_STU(2025)769347).
- European Union, *Directive 2023/2413 of the European Parliament and of the Council [w:] 2023*.
- European Union, *Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1542 z dnia 12 lipca 2023 r. w sprawie baterii i zużytych baterii, zmieniające dyrektywę 2008/98/WE i rozporządzenie (UE) 2019/1020 oraz uchylające dyrektywę 2006/66/WE, „PE/2/2023/REV/1”* (2023).
- European Union, *Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council [w:] 2021*.
- European Union, *Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council [w:] 2018*.
- Eurostat, *Electricity from renewable sources reaches 47% in 2024, 2025 r.*, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20250319-1>.
- Eurostat, *Renewable energy supply grew by 3.4% in 2024, 2025 r.*, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20250702-1>.
- Eurostat, *Share of renewable energy in gross final energy consumption by sector, 2025*, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/SDG_07_40_custom_4634107/bookmark/bar?lang=en&bookmarkId=56854ab7-bdb6-45e8-842f-cd2f15311c53.
- Eurostat, *Share of energy from renewable sources*, (2023), DOI: https://doi.org/10.2908/NRG_IND_REN, <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics->

explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics#Wind_and_water_provide_most_renewable_electricity.3B_solar_is_the_fastest-growing_energy_source.

- Eze V.H.U., Edozie E., Wisdom O., Uche C.K.A., *A Comparative Analysis of Renewable Energy Policies and its Impact on Economic Growth: A Review*, „International Journal of Education, Science, Technology, and Engineering (IJESTE)” t. 6 nr 2 (2023), DOI: 10.36079/lamintang.ijeste-0602.555, <https://lamintang.org/journal/index.php/ijeste/article/view/555>.
- Fakunle M.A., Adegoke J.A., Enemali J.O., *Determination of the Spread of Heavy Metal from Ori-Ile Battery Waste Dumpsite Using Electrical Resistivity Method*, „Annals of West University of Timisoara - Physics” t. 63 nr 1 (2021), DOI: 10.2478/awutp-2021-0003, <https://www.sciendo.com/article/10.2478/awutp-2021-0003>.
- Farrar D.E., Glauber R.R., *Multicollinearity in Regression Analysis: The Problem Revisited*, „The Review of Economics and Statistics” t. 49 nr 1 (1967), DOI: 10.2307/1937887, <https://www.jstor.org/stable/1937887?origin=crossref>.
- Ferdous Z., Barman S.C., *A Systematic Review of Sustainable Renewable Energy Applications, Procedures, Challenges, and Limitations*, 9 stycznia 2025 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-5740831/v1>.
- Ferrario V., Castiglioni B., *Hydropower Exploitation in the Piave River Basin (Italian Eastern Alps) [w:] Renewable Energies and European Landscapes*, Dordrecht 2015.
- Ferreira M.E., Nogueira S.H. de M., Latrubesse E.M., i in., *Dams Pose a Critical Threat to Rivers in Brazil's Cerrado Hotspot*, „Water” t. 14 nr 22 (2022), DOI: 10.3390/w14223762, <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/22/3762>.
- Figge F., Thorpe A.S., Gutberlet M., *Definitions of the circular economy: Circularity matters*, „Ecological Economics” t. 208 (2023), DOI: 10.1016/j.ecolecon.2023.107823, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921800923000861>.
- Fleten S.-E., Linnerud K., Molnár P., Tandberg Nygaard M., *Green electricity investment timing in practice: Real options or net present value?*, „Energy” t. 116 (2016), DOI: 10.1016/j.energy.2016.09.114, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S036054421631386X>.
- Fourrier J., Fontaine O., Peter M., i in., *Is it safe for honey bee colonies to locate apiaries near wind turbines?*, „Entomologia Generalis” t. 43 nr 4 (2023), DOI: 10.1127/entomologia/2023/1858, http://www.schweizerbart.de/papers/entomologia/detail/43/103150/Is_it_safe_for_honey_bee_colonies_to_locate_apiari?af=crossref.
- Freeman R.E., Phillips R., Sisodia R., *Tensions in Stakeholder Theory*, „Business & Society” t. 59 nr 2 (2020), DOI: 10.1177/0007650318773750,

<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0007650318773750>.

- Gadirli G., Pilarska A.A., Dach J., i in., *Fundamentals, Operation and Global Prospects for the Development of Biogas Plants—A Review*, „Energies” t. 17 nr 3 (2024), DOI: 10.3390/en17030568, <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/3/568>.
- Gajdzik B., Wolniak R., Nagaj R., i in., *Barriers to Renewable Energy Source (RES) Installations as Determinants of Energy Consumption in EU Countries*, „Energies” t. 16 nr 21 (2023), DOI: 10.3390/en16217364, <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/21/7364>.
- Gallagher C.L., Holloway T., *Integrating Air Quality and Public Health Benefits in U.S. Decarbonization Strategies*, „Frontiers in Public Health” t. 8 (2020), DOI: 10.3389/fpubh.2020.563358, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2020.563358/full>.
- Gallaher A., Kalies E., Grodsky S., *Sustainability trade-offs across modeled floating-solar waterscapes*, 29 lipca 2024 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-4566416/v1>.
- Gao Z., *The Coming Tide of Wind Turbine Blades Retirement: Threats and Treatment Measures*, „Highlights in Science, Engineering and Technology” t. 29 (2023), DOI: 10.54097/hset.v29i.4487, <https://drpress.org/ojs/index.php/HSET/article/view/4487>.
- Garriga E., Melé D., *Corporate Social Responsibility Theories: Mapping the Territory* [w:] *Citation Classics from the Journal of Business Ethics*, Dordrecht 2013.
- Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N.M.P., Hultink E.J., *The Circular Economy – A new sustainability paradigm?*, „Journal of Cleaner Production” t. 143 (2017), DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.048, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652616321023>.
- George D., Mallery P., *SPSS for Windows Step by Step: A Simple Guide and Reference. 11.0 Update (4th ed.)*, Boston 2003.
- Ghazarian A., León D. De, Galione P., i in., *Thermodynamic simulation of a hybrid thermo-solar externally fired gas turbine power plant fueled with biomass* [w:] 2018.
- Gheewala S.H., *Life cycle thinking in sustainability assessment of bioenergy systems*, „E3S Web of Conferences” t. 277 (2021), DOI: 10.1051/e3sconf/202127701001, <https://www.e3s-conferences.org/10.1051/e3sconf/202127701001>.
- Gigimon V.S., Darsana R.S., *Integrating Health Impact Assessment and Environmental Impact Assessment* [w:] *Advances in Medical Education, Research, and Ethics*, 2024.

- Girma Z., *Techno-Economic Feasibility of Small Scale Hydropower in Ethiopia: The Case of the Kulfo River, in Southern Ethiopia*, „Journal of Renewable Energy” t. 2016 (2016), DOI: 10.1155/2016/8037892, <http://www.hindawi.com/journals/jre/2016/8037892/>.
- Giuntoli J., Barredo J.I., Avitabile V., i in., *The quest for sustainable forest bioenergy: win-win solutions for climate and biodiversity*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” t. 159 (2022), DOI: 10.1016/j.rser.2022.112180, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032122001058>.
- Glockner W., Planinac K., Dimond K., *The Power of Place: Unleashing the Potential of Place-Based Green Energy Landscapes*, „Architecture” t. 4 nr 1 (2024), DOI: 10.3390/architecture4010010, <https://www.mdpi.com/2673-8945/4/1/10>.
- Glosser D., Russell L., Striby P., *Glass Fiber Waste from Wind Turbines: Its Chemistry, Properties, and End-of-life Uses [w:] Optical Fiber and Applications*, IntechOpen 2023.
- Główny Urząd Statystyczny, *Energia ze źródeł odnawialnych w 2023 r.*, (2024).
- Główny Urząd Statystyczny, *Ochrona środowiska 2023*, (2023).
- Główny Urząd Statystyczny [na:] <https://stat.gov.pl/>.
- Gómez-Navarro T., Ribó-Pérez D., *Assessing the obstacles to the participation of renewable energy sources in the electricity market of Colombia*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” t. 90 (2018), DOI: 10.1016/j.rser.2018.03.015, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032118301187>.
- Goodkind A.L., Tessum C.W., Coggins J.S., i in., *Fine-scale damage estimates of particulate matter air pollution reveal opportunities for location-specific mitigation of emissions*, „Proceedings of the National Academy of Sciences” t. 116 nr 18 (2019), DOI: 10.1073/pnas.1816102116, <https://pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1816102116>.
- Gordon Institute of Business Science University of Pretoria, *The role of stakeholder engagement in the energy transition towards a more inclusive energy transition*, (2024).
- Grassi S., Klein T.M., *GIS-based 3D landscape visualizations for improving social acceptance and public participation of wind farms*, „Wind Europe” (2016), https://windeurope.org/summit2016/conference/allfiles2/148_WindEurope2016presentation.pdf.
- Grey D., Garrick D., Blackmore D., i in., *Water security in one blue planet: twenty-first century policy challenges for science*, „Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences” t. 371 nr 2002 (2013), DOI: 10.1098/rsta.2012.0406, <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2012.0406>.

- Grimm M., Köppel J., *Biodiversity Offset Program Design and Implementation*, „Sustainability” t. 11 nr 24 (2019), DOI: 10.3390/su11246903, <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/24/6903>.
- Guelpa E., Mancò G., Verda V., *Optimal Integration of Renewable Sources and Latent Heat Storages for Nearly Zero-Energy Buildings [w:] The First World Energies Forum—Current and Future Energy Issues*, Basel Switzerland 2020.
- Guo Y., Zhou M., Peng L., i in., *Carbon Mitigation and Environmental Co-Benefits of a Clean Energy Transition in China's Industrial Parks*, „Environmental Science & Technology” t. 57 nr 16 (2023), DOI: 10.1021/acs.est.2c05725, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.2c05725>.
- Gurieff N., Green D., Koskinen I., i in., *Healthy Power: Reimagining Hospitals as Sustainable Energy Hubs*, „Sustainability” t. 12 nr 20 (2020), DOI: 10.3390/su12208554, <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/20/8554>.
- Haac R., Darlow R., Kaliski K., i in., *In the shadow of wind energy: Predicting community exposure and annoyance to wind turbine shadow flicker in the United States*, „Energy Research & Social Science” t. 87 (2022), DOI: 10.1016/j.erss.2021.102471, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214629621005582>.
- Hadei M., Hopke P.K., Shahsavani A., i in., *Mortality and morbidity economic burden due to PM2.5 and ozone; an AirQ+ modelling in Iran*, „Journal of Air Pollution and Health” (2020), DOI: 10.18502/japh.v5i1.2855, <https://publish.kne-publishing.com/index.php/JAPH/article/view/2855>.
- Hair J., Black W., Babin B.J., Anderson R.E., *Multivariate Data Analysis*, Cengage 2019.
- Hancher L., Hautecloucq A. de, *Strategic Autonomy, REPowerEU And The Internal Energy Market: Untying The Gordian Knot*, „Common Market Law Review” t. 61 nr Issue 1 (2024), DOI: 10.54648/COLA2024003, <https://kluwerlawonline.com/journalarticle/Common+Market+Law+Review/61.1/COLA2024003>.
- Hanke F., Guyet R., Feenstra M., *Do renewable energy communities deliver energy justice? Exploring insights from 71 European cases*, „Energy Research & Social Science” t. 80 (2021), DOI: 10.1016/j.erss.2021.102244, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214629621003376>.
- Harper G., Sommerville R., Kendrick E., i in., *Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles*, „Nature” t. 575 nr 7781 (2019), DOI: 10.1038/s41586-019-1682-5, <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1682-5>.
- Hassan Q., Algburi S., Sameen A.Z., i in., *A review of hybrid renewable energy systems: Solar and wind-powered solutions: Challenges, opportunities, and policy implications*, „Results in Engineering” t. 20 (2023), DOI:

- 10.1016/j.rineng.2023.101621,
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S259012302300748X>.
- Hayes D., Moreira M., Boavida I., i in., *Life Stage-Specific Hydropeaking Flow Rules*, „Sustainability” t. 11 nr 6 (2019), DOI: 10.3390/su11061547, <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/6/1547>.
- He Y., Huang P., *Exploring the Forms of the Economic Effects of Renewable Energy Consumption: Evidence from China*, „Sustainability” t. 14 nr 13 (2022), DOI: 10.3390/su14138212, <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/13/8212>.
- Heidari A., Watkins D., Mayer A., i in., *Spatially variable hydrologic impact and biomass production tradeoffs associated with Eucalyptus (E. grandis) cultivation for biofuel production in Entre Rios, Argentina*, „GCB Bioenergy” t. 13 nr 5 (2021), DOI: 10.1111/gcbb.12815, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcbb.12815>.
- Henseler J., *Partial least squares path modeling: Quo vadis?*, „Quality & Quantity” t. 52 nr 1 (2018), DOI: 10.1007/s11135-018-0689-6, <http://link.springer.com/10.1007/s11135-018-0689-6>.
- Hirsch Ballin E., Dijstelbloem H., Goede P. de, *The Extension of the Concept of Security* [w:] 2020.
- Hitachienergy, *The technologies adding flexibility to the future low-carbon power system*, (2023).
- Hoang A.T., Sandro Nižetić, Olcer A.I., i in., *Impacts of COVID-19 pandemic on the global energy system and the shift progress to renewable energy: Opportunities, challenges, and policy implications*, „Energy Policy” t. 154 (2021), DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112322, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421521001919>.
- Hockenos P., *Waste to Energy – Controversial power generation by incineration*, „Clean Energy Wire” (2021), <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/waste-energy-controversial-power-generation-incineration>.
- Hopwood B., Mellor M., O'Brien G., *Sustainable development: mapping different approaches*, „Sustainable Development” t. 13 nr 1 (2005), DOI: 10.1002/sd.244, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sd.244>.
- <https://parki.kujawsko-pomorskie.pl/>, *Nadgoplański Park Tysiąclecia*.
- Huang C., *Digital transformation and corporate ESG performance: Research based on a capability-motivation dual framework*, „PLOS One” t. 20 nr 6 (2025), DOI: 10.1371/journal.pone.0325295, <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0325295>.
- Huhta K., Soininen N., Vesa S., *The ecological sustainability of the energy transition*

- in EU law: pro et contra hydropower*, „Journal of Energy & Natural Resources Law” t. 43 nr 1 (2025), DOI: 10.1080/02646811.2024.2331886, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02646811.2024.2331886>.
- Hurlbert M., Osazuwa-Peters M., Rayner J., i in., *Diverse community energy futures in Saskatchewan, Canada*, „Clean Technologies and Environmental Policy” t. 22 nr 5 (2020), DOI: 10.1007/s10098-020-01859-2, <https://link.springer.com/10.1007/s10098-020-01859-2>.
- Huseynli B., Huseynli N., *The Dynamics of R&D Expenditure, Renewable Electricity Production, and Economic Growth: A Comparative Analysis of Norway and Brazil*, „Journal of Sustainability for Energy” t. 3 nr 2 (2024), DOI: 10.56578/jse030202, https://www.acadlore.com/article/JSE/2024_3_2/jse030202.
- Hussain A., Shah S.Z.A., Ayub M., *Analysis of Factors Affecting Renewable Energy Consumption Evidenced from Thailand*, „iRASD Journal of Energy & Environment” t. 2 nr 2 (2021), DOI: 10.52131/jee.2021.0202.0018, <https://journals.internationalrasd.org/index.php/jee/article/view/486>.
- Hutchinson N., Dennis M., Damgaard Grann E., i in., *Unlocking a Renewable Energy Future: How Government Action Can Drive Private Investment*, „World Resources Institute” (2021), DOI: 10.46830/wriwp.20.00077, <https://www.wri.org/research/unlocking-renewable-energy-future-how-government-action-can-drive-private-investment>.
- Hydrogen Europe, *Hydrogen for an energy resilient Europe*, (2025), https://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2025/07/2025.07_H2forEnergy-Resilience_H2EuropePaper-1.pdf.
- Hylla P., Trawiński T., Polnik B., i in., *Overview of Hybrid Energy Storage Systems Combined with RES in Poland*, „Energies” t. 16 nr 15 (2023), DOI: 10.3390/en16155792, <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/15/5792>.
- Igliński B., Kujawski W., Buczkowski R., Cichosz M., *Renewable energy in the Kujawsko-Pomorskie Voivodeship (Poland)*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” t. 14 nr 4 (2010), DOI: 10.1016/j.rser.2009.12.005, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032109002858>.
- Illicki P., Górecki K., Grzybowski M., i in., *Principles of hydromorphological surveys of Polish rivers*, „Journal of Water and Land Development” t. 14 nr 1 (2010), DOI: 10.2478/v10025-011-0001-9, <http://archive.sciendo.com/JWLD/jwld.2010.14.issue--1/v10025-011-0001-9/v10025-011-0001-9.pdf>.
- Institute for European Environmental Policy, *The socio-economic impacts of renewable energy in EU regions*, (2021), <https://www.ecologic.eu/sites/default/files/project/2021/TheSocio-EconomicImpactsofRESinEURegions.pdf>.

- Instytut Energetyki Odnawialnej, *Rynek fotowoltaiki w Polsce. Fotowoltaika na rynku energii elektrycznej i ciepła*, (2025).
- Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy (IOŚ-PIB), *Termiczne przekształcanie odpadów komunalnych w Polsce w 2022 r.*, „Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej” (2023).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change - AR6 WGIII Chapter 06*, (2022).
- International Energy Agency (IEA), *Monthly Electricity Statistics*, 2025 r., https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/monthly-electricity-statistics?utm_campaign=IEA+newsletters&utm_medium=Email&utm_source=SendGrid.
- International Energy Agency (IEA), *Flexible bioenergy policies in different countries Summary report*, „IEA Bioenergy: Task 44 Flexible Bioenergy and System Integration” (2025).
- International Energy Agency (IEA), *Sweden. Sources of electricity generation*, (2025), <https://www.iea.org/countries/sweden/electricity>.
- International Energy Agency (IEA), *Batteries and Secure Energy Transitions*, „World Energy Outlook Special Report” (2024).
- International Energy Agency (IEA), *Recycling of Critical Minerals*, „Strategies to Scale Up Recycling and Urban Mining - World Energy Outlook Special Report” (2024).
- International Energy Agency (IEA), *Renewables 2023: Global Status Report*, 2023 r.
- International Renewable Energy Agency (IRENA), *Renewable capacity statistics 2025*, (2025), <https://www.irena.org/Publications/2025/Mar/Renewable-capacity-statistics-2025>.
- International Renewable Energy Agency (IRENA), *Renewable power generation costs in 2024*, (2025), <https://www.irena.org/>.
- International Renewable Energy Agency (IRENA), *Renewable Energy and Jobs Annual Review 2024*, 2024 r., https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Oct/IRENA_Renewable_energy_and_jobs_2024.pdf.
- International Renewable Energy Agency (IRENA), *Renewable energy and jobs: Annual review 2023*, 2023 r.
- Iqbal H., Sarwar S., Kirli D., i in., *A survey of second-life batteries based on techno-economic perspective and applications-based analysis*, „Carbon Neutrality” t. 2 nr 1 (2023), DOI: 10.1007/s43979-023-00049-5, <https://link.springer.com/10.1007/s43979-023-00049-5>.

- Iqbal K.M.J., Akhtar N., Amir S., i in., *Multi-Variable Governance Index Modeling of Government's Policies, Legal and Institutional Strategies, and Management for Climate Compatible and Sustainable Agriculture Development*, „Sustainability” t. 14 nr 18 (2022), DOI: 10.3390/su141811763, <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/18/11763>.
- Irlam J., Euripidou R., Phomane M., Rangunwala A., *The 'just transition' and health in South Africa*, „South African Health Review” t. 25 (2023), DOI: 10.61473/001c.75137, <https://sahr.hst.org.za/article/75137-the-just-transition-and-health-in-south-africa>.
- Islam M.R., Islam M.R., Imran H.M., *Assessing Wind Farm Site Suitability in Bangladesh: A GIS-AHP Approach*, „Sustainability” t. 14 nr 22 (2022), DOI: 10.3390/su142214819, <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/22/14819>.
- Ismayilova A., Silvius G., *Cradle-to-Cradle in Project Management*, „International Journal of Circular Economy and Waste Management” t. 1 nr 1 (2021), DOI: 10.4018/IJCEWM.20210101.oa1, <http://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/IJCEWM.20210101.oa1>.
- Iturrondobeitia M., Vallejo C., Berroci M., i in., *Environmental Impact Assessment of LiNi 1/3 Mn 1/3 Co 1/3 O 2 Hydrometallurgical Cathode Recycling from Spent Lithium-Ion Batteries*, „ACS Sustainable Chemistry & Engineering” t. 10 nr 30 (2022), DOI: 10.1021/acssuschemeng.2c01496, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.2c01496>.
- J. C., Bertok I., Borken-Kleefeld J., Heyes C., *Implications of energy trajectories from the World Energy Outlook for 2015 for India's air pollution. Final Report submitted to the International Energy Agency*, „International Institute for Applied Systems Analysis” (2015).
- Jacobson M.Z., *Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security*, „Energy Environ. Sci.” t. 2 nr 2 (2009), DOI: 10.1039/B809990C, <https://xlink.rsc.org/?DOI=B809990C>.
- Jarvis S., *The Economic Costs of NIMBYism: Evidence from Renewable Energy Projects*, „Journal of the Association of Environmental and Resource Economists” t. 12 nr 4 (2025), DOI: 10.1086/732801, <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/732801>.
- Jasik M., *W Dąbrowie Biskupiej powiezieli “nie” wiatrakom*, „ino.online” (2025), <https://ino.online/post/32102/w-dabrowie-biskupiej-powiezieli-nie-wiatrakom.html>.
- Jaworecki K., Markowicz D., *Poland submits draft law to bolster the growth of onshore wind energy sector*, „CMS Law-Now” (2025), <https://cms-lawnow.com/en/ealerts/2025/04/poland-submits-draft-law-to-bolster-the-growth-of-onshore-wind-energy-sector?>
- Johnson L.T., Yeh S., Hope C., *The social cost of carbon: implications for*

- modernizing our electricity system*, „Journal of Environmental Studies and Sciences” t. 3 nr 4 (2013), DOI: 10.1007/s13412-013-0149-5, <http://link.springer.com/10.1007/s13412-013-0149-5>.
- Jones I.L., Bull J.W., *Major dams and the challenge of achieving “No Net Loss” of biodiversity in the tropics*, „Sustainable Development” t. 28 nr 2 (2020), DOI: 10.1002/sd.1997, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sd.1997>.
- Joshi A., *Poland awards 16 TWh of renewable energy capacity in latest auctions*, „Mercom” (2025), <https://www.mercomindia.com/poland-16-twh-renewable-energy-latest-auctions?.com>.
- Kaczmarczyk M., Sowizdzał A., *Environmental and Social Dimensions of Energy Transformation Using Geothermal Energy*, „Energies” t. 18 nr 13 (2025), DOI: 10.3390/en18133565, <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/13/3565>.
- Kadenic M.D., Ballantyne A.G., Olsen T.B., i in., *Proactive understanding of the multi-level stakeholder acceptance of a novel renewable energy technology: Chemical storage of solar energy*, „Energy Research & Social Science” t. 108 (2024), DOI: 10.1016/j.erss.2023.103370, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214629623004309>.
- Kaiser H.F., Rice J., *Little Jiffy, Mark Iv*, „Educational and Psychological Measurement” t. 34 nr 1 (1974), DOI: 10.1177/001316447403400115, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/001316447403400115>.
- Kamp I. van, Berg F. van den, *Health Effects Related to Wind Turbine Sound: An Update*, „International Journal of Environmental Research and Public Health” t. 18 nr 17 (2021), DOI: 10.3390/ijerph18179133, <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/17/9133>.
- Kang H.-Y., Hung M.-C., Pearn W.L., i in., *An Integrated Multi-Criteria Decision Making Model for Evaluating Wind Farm Performance*, „Energies” t. 4 nr 11 (2011), DOI: 10.3390/en4112002, <https://www.mdpi.com/1996-1073/4/11/2002>.
- Kapuria B., Sami Hamadeh R., Mazloum F., i in., *Achieving sustainable, environmentally viable, solarized vaccine cold chain system and vaccination program—an effort to move towards clean and green energy-driven primary healthcare in Lebanon*, „Frontiers in Health Services” t. 4 (2024), DOI: 10.3389/frhs.2024.1386432, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frhs.2024.1386432/full>.
- Karasmanaki E., Tsantopoulos G., *Factors affecting citizens’ decision to invest in renewable energy*, „E3S Web of Conferences” t. 436 (2023), DOI: 10.1051/e3sconf/202343606008, <https://www.e3s-conferences.org/10.1051/e3sconf/202343606008>.
- Karimi K., Karimi A.F., *The Economic Impacts of Renewable Energy Adoption: A Comparative Analysis of Developed and Developing Nations*, „Join: Journal of

- Social Science” t. 2 nr 1 (2024), DOI: 10.59613/xfwkz407, <https://ejournal.mellbaou.com/index.php/join/article/view/151>.
- Kazak J.K., Foryś I., Głogowski A., i in., *Renewable Energy Policy Planning for Low-Carbon Economy* [w:] *Advances in Transdisciplinary Engineering Volume 45: New Energy and Future Energy Systems*, 2023.
- Kelvin Edem Bassey, Jesse Opoku-Boateng, Bernard Owusu Antwi, Afari Ntiakoh, *Economic impact of digital twins on renewable energy investments*, „Engineering Science & Technology Journal” t. 5 nr 7 (2024), DOI: 10.51594/estj.v5i7.1318, <https://fepbl.com/index.php/estj/article/view/1318>.
- Khai H.V., Tran H.L.T., Ngan N. Van, Duyen T.T.T., *Choice modeling approach to evaluate the economic value of renewable energy development*, „Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal” t. 10 nr 1 (2024), DOI: 10.51599/are.2024.10.01.12, <https://are-journal.com/are/article/view/811>.
- Kibler K.M., Tullos D.D., *Cumulative biophysical impact of small and large hydropower development in Nu River, China*, „Water Resources Research” t. 49 nr 6 (2013), DOI: 10.1002/wrcr.20243, <http://doi.wiley.com/10.1002/wrcr.20243>.
- Kichonge B., Mkilaha I.S.N., John G.R., Hameer S., *The Economics of Renewable Energy Sources into Electricity Generation in Tanzania*, „Journal of Energy” t. 2016 (2016), DOI: 10.1155/2016/5837154, <http://www.hindawi.com/journals/jen/2016/5837154/>.
- Kirchherr J., Reike D., Hekkert M., *Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions*, „Resources, Conservation and Recycling” t. 127 (2017), DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344917302835>.
- Kirikaleli D., Adebayo T.S., *Do renewable energy consumption and financial development matter for environmental sustainability? New global evidence*, „Sustainable Development” t. 29 nr 4 (2021), DOI: 10.1002/sd.2159, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sd.2159>.
- Kittel M., Roth A., Schill W.-P., *Coping with the Dunkelflaute: Power system implications of variable renewable energy droughts in Europe*, 20 stycznia 2025 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-5760653/v1>.
- Kittel M., Schill W.-P., *Quantifying the Dunkelflaute: An analysis of variable renewable energy droughts in Europe*, 22 lipca 2025 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-7106203/v1>.
- Kleinschmidt P., *Geotermia – stabilny grunt w ciepłownictwie. Rola geotermii w transformacji sektora ciepła*, „Forum Energii” (2024).
- Klepacki B., Kusto B., Bórawski P., i in., *Investments in Renewable Energy Sources in Basic Units of Local Government in Rural Areas*, „Energies” t. 14 nr 11

- (2021), DOI: 10.3390/en14113170, <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/11/3170>.
- Knief U., Forstmeier W., *Violating the normality assumption may be the lesser of two evils*, „Behavior Research Methods” t. 53 nr 6 (2021), DOI: 10.3758/s13428-021-01587-5, <https://link.springer.com/10.3758/s13428-021-01587-5>.
- Kocoń M., *Są przeciw wiatrakom w gminie Dąbrowa Biskupia. Skarżą się, że nie wiedzieli o tych planach*, „PIK Polskie Radio” (2025), <https://www.radiopik.pl/2%2C130368%2Csa-przeciw-wiatrakom-w-gminie-dabrowa-biskupia-skarza-sie-ze-nie-wiedzieli-o-tych-planach>.
- Kocór M., Worek B., Micek D., i in., *Spółeczny wymiar rozwoju energetyki rozproszonej w Polsce – kluczowe czynniki i wyzwania*, „Energetyka Rozproszona” nr 5–6 (2021), DOI: 10.7494/er.2021.5-6.105, <https://journals.agh.edu.pl/er/article/view/4748>.
- Koolen D., Bunn D., Ketter W., *Renewable Energy Technologies and Electricity Forward Market Risks*, „The Energy Journal” t. 42 nr 4 (2021), DOI: 10.5547/01956574.42.4.dkoo, <https://journals.sagepub.com/doi/10.5547/01956574.42.4.dkoo>.
- Korpalski A., *Co dalej z biogazownią w Thuchowie? Mamy odpowiedź inwestora*, „Lipno-cli.pl” (2025), <https://lipno-cli.pl/artykul/co-dalej-z-biogazownia-n1717080?>
- Kou G., Dinçer H., Yüksel S., *Pattern recognition of financial innovation life cycle for renewable energy investments with integer code series and multiple technology S-curves based on Q-ROF DEMATEL*, „Financial Innovation” t. 10 nr 1 (2024), DOI: 10.1186/s40854-024-00616-4, <https://jfin-swufe.springeropen.com/articles/10.1186/s40854-024-00616-4>.
- Kroner D., Lundgren U., Augusto A., Bollen M., *Radiated Electromagnetic Emission from Photovoltaic Systems—Measurement Results: Inverters and Modules*, „Energies” t. 17 nr 8 (2024), DOI: 10.3390/en17081893, <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/8/1893>.
- Krug M., Nucci M.R. Di, Schwarz L., i in., *Implementing European Union Provisions and Enabling Frameworks for Renewable Energy Communities in Nine Countries: Progress, Delays, and Gaps*, „Sustainability” t. 15 nr 11 (2023), DOI: 10.3390/su15118861, <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/11/8861>.
- Krzemiński J., *Lawina protestów przeciwko wiatrakom*, „Chrońmy Klimat” (2010), http://old.chronmyklimat.pl/projekty/wiadomosci/transport/437/lawina_protestow_przeciwko_wiatrakom.
- Kujawsko-Pomorski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Minikowie, *Diagnoza sytuacji społeczno-gospodarczej rolnictwa, obszarów wiejskich i przetwórstwa województwa kujawsko-pomorskiego z określeniem analizy SWOT*, (2019).

- Kujawsko-Pomorskie Biuro Planowania Przestrzennego i Regionalnego we Włocławku, *Województwo Kujawsko-Pomorskie. Zasoby i możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii*.
- Kulka G.S., *Renewable Energy and Financial Performance: A Panel Data Analysis of Indian Maharatna Firms*, 17 lutego 2025 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-6023102/v1>.
- Kumar M., *Social, Economic, and Environmental Impacts of Renewable Energy Resources [w:] Wind Solar Hybrid Renewable Energy System*, IntechOpen 2020.
- Kungwalrut P., Kongratana V., Trisuwannawat T., i in., *Improving the Efficiency of Water Management System in Biomass Power Plant Using Cyber-Physical Cloud Computing*, „International Journal of Intelligent Engineering and Systems” t. 11 nr 4 (2018), DOI: 10.22266/ijies2018.0831.19, <http://www.inass.org/2018/2018083119.pdf>.
- Kurnia A., Shaura A., Raharjo S.T., Resnawaty R., *SUSTAINABLE DEVELOPMENT DAN CSR*, „Prosiding Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat” t. 6 nr 3 (2020), DOI: 10.24198/jppm.v6i3.26211, <http://jurnal.unpad.ac.id/prosiding/article/view/26211>.
- Kwidziński K., Dusiło M., *Transformacja energetyczna w Polsce. Edycja 2025*, „Forum Energii” (2025), <https://www.forum-energii.eu/transformacja-energetyczna-polski-edycja-2025>.
- Lagodiyenko O., Uzhva A., Khakhaliev D., *Fiscal Aspects of ESG Business Development Concepts*, „Baltic Journal of Economic Studies” t. 10 nr 3 (2024), DOI: 10.30525/2256-0742/2024-10-3-200-206, <http://www.baltijapublishing.lv/index.php/issue/article/view/2498>.
- Lam V., *Change Management In the Energy Sector In Guyana: A Shift From Fossil To Renewable Energy Mix*, „Texila International Journal of Management” t. 10 nr 1 (2024), DOI: 10.21522/TIJMG.2015.10.01.Art006, <https://www.texilajournal.com/management/article/2462-change-management-in>.
- Lamhamedi B.E.H., Vries W.T. de, *An Exploration of the Land–(Renewable) Energy Nexus*, „Land” t. 11 nr 6 (2022), DOI: 10.3390/land11060767, <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/6/767>.
- Le N.P., *Flood inundation analysis in downstream of small hydropower plant: a case study in Lang Son Province, Vietnam*, „International Journal of GEOMATE” t. 27 nr 123 (2024), DOI: 10.21660/2024.123.4617, <https://geomatejournal.com/geomate/article/view/4617/3512>.
- Lee J., Chang B., Aktas C., Gorthala R., *Economic feasibility of campus-wide photovoltaic systems in New England*, „Renewable Energy” t. 99 (2016), DOI: 10.1016/j.renene.2016.07.009, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S096014811630605X>.

- Lee T., *Financial investment for the development of renewable energy capacity*, „Energy & Environment” t. 32 nr 6 (2021), DOI: 10.1177/0958305X19882403, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0958305X19882403>.
- Leela D., Wening N., Kusrini E., Nur S.M., *Building a bioenergy system towards a circular bioeconomy in Africa*, „IOP Conference Series: Earth and Environmental Science” t. 1338 nr 1 (2024), DOI: 10.1088/1755-1315/1338/1/012059, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1338/1/012059>.
- Leiva Vilaplana J.A., Yang G., Ackom E., *From investment to net benefits: A review of guidelines and methodologies for cost–benefit analysis in the electricity sector*, „Energy Research & Social Science” t. 124 (2025), DOI: 10.1016/j.erss.2025.104052, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214629625001331>.
- Lenzen M., *Current State of Development of Electricity-Generating Technologies: A Literature Review*, „Energies” t. 3 nr 3 (2010), DOI: 10.3390/en3030462, <https://www.mdpi.com/1996-1073/3/3/462>.
- Leszczyński M., *Bezpieczeństwo ekologiczne w poszerzonej domenie bezpieczeństwa*, „Nierówności Społeczne a Wzrost Gospodarczy” nr 74 (2023), DOI: 10.15584/nsawg.2023.2.2, <https://journals.ur.edu.pl/nsawg/article/view/8569>.
- Levstek A., Pucihar A., Hovelja T., *Towards an Adaptive Strategic IT Governance Model for SMEs*, „Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research” t. 17 nr 1 (2022), DOI: 10.3390/jtaer17010012, <https://www.mdpi.com/0718-1876/17/1/12>.
- Li G., *Sustainable Development Strategies in Urban Planning*, „Advances in Economics, Management and Political Sciences” t. 96 nr 1 (2024), DOI: 10.54254/2754-1169/96/2024MUR0118, <https://www.ewadirect.com/proceedings/aemps/article/view/13935>.
- Li G., Sun Y., He Y., i in., *Short-Term Power Generation Energy Forecasting Model for Small Hydropower Stations Using GA-SVM*, „Mathematical Problems in Engineering” t. 2014 nr 1 (2014), DOI: 10.1155/2014/381387, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2014/381387>.
- Li W., *Energy Finance and Carbon Finance: Key Roles of the Financial Community in Addressing Climate Change*, „International Journal of Social Sciences and Public Administration” t. 2 nr 2 (2024), DOI: 10.62051/ijsspa.v2n2.43, <https://wepub.org/index.php/IJSSPA/article/view/762>.
- Li Z., Ciais P., Wright J.S., i in., *Increased precipitation over land due to climate feedback of large-scale bioenergy cultivation*, „Nature Communications” t. 14 nr 1 (2023), DOI: 10.1038/s41467-023-39803-9, <https://www.nature.com/articles/s41467-023-39803-9>.
- Lichtarski J.M., Nowosielski K., *Metodyka pomiaru stanu zaawansowania*

controllingu w małych i średnich przedsiębiorstwach, „Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu” t. 1101 (2006).

Lin B., Wang S., *Mechanism analysis of the influence of oil price uncertainty on strategic investment of renewable energy enterprises*, „International Journal of Finance & Economics” t. 28 nr 4 (2023), DOI: 10.1002/ijfe.2641, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ijfe.2641>.

Lintott P.R., Richardson S.M., Hosken D.J., i in., *Ecological impact assessments fail to reduce risk of bat casualties at wind farms*, „Current Biology” t. 26 nr 21 (2016), DOI: 10.1016/j.cub.2016.10.003, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960982216311885>.

Lisiecka D., *Ile ITPO potrzeba, żeby zagospodarować odpady 2 milionów Polaków?*, „Magazyn Biomasa” (2024), <https://magazynbiomasa.pl/ile-itpo-potrzeba-zeby-zagospodarowac-odpady-2-milionow-polakow/>.

Litke G., *Geotermia w Polsce*, „Bank Ochrony Środowiska” (2024).

Ljubičić I., *Tax Instruments as a Key Driver of the Green Transition: The Role of Fiscal Policy in Sustainable Development*, „Journal of Agronomy, Technology and Engineering Management (JATEM)” t. 8 nr 1 (2025), DOI: 10.55817/GZOG5027, [https://www.fimek.edu.rs/downloads/casopisi/jatem/issue/v8_1/5_\(5\)_J_Agron_Technol_Eng_Manag_2025_8\(1\)_1347-1354_httpsdoi.org10.55817GZOG5027.pdf](https://www.fimek.edu.rs/downloads/casopisi/jatem/issue/v8_1/5_(5)_J_Agron_Technol_Eng_Manag_2025_8(1)_1347-1354_httpsdoi.org10.55817GZOG5027.pdf).

Lo S., *Performance evaluation for sustainable business: a profitability and marketability framework*, „Corporate Social Responsibility and Environmental Management” t. 17 nr 6 (2010), DOI: 10.1002/csr.214, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/csr.214>.

Lonergan S., *Human Security, Environmental Security and Sustainable Development* [w:] *Environment and Security*, London 2000.

Loth E., Qin C., Simpson J.G., Dykes K., *Why we must move beyond LCOE for renewable energy design*, „Advances in Applied Energy” t. 8 (2022), DOI: 10.1016/j.adapen.2022.100112, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2666792422000300>.

Lucas H., Carbajo R., Machiba T., i in., *Improving Public Attitude towards Renewable Energy*, „Energies” t. 14 nr 15 (2021), DOI: 10.3390/en14154521, <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/15/4521>.

Lukashevych Y., Evdokimov V., Polukhin A., i in., *Innovation In The Energy Sector: The Transition To Renewable Sources As A Strategic Step Towards Sustainable Development*, „AFRICAN JOURNAL OF APPLIED RESEARCH” t. 10 nr 1 (2024), DOI: 10.26437/ajar.v10i1.665, <https://ajaronline.com/index.php/AJAR/article/view/665>.

- Łukomska A., Witaszek K., Dach J., *Current State of Development of Demand-Driven Biogas Plants in Poland*, „Processes” t. 13 nr 8 (2025), DOI: 10.3390/pr13082369, <https://www.mdpi.com/2227-9717/13/8/2369>.
- Lunag M.N., Tandoc R.E., Camat R.K.S., i in., *Life cycle analysis of a solar photovoltaic system in a Philippine university*, „IOP Conference Series: Earth and Environmental Science” t. 1419 nr 1 (2024), DOI: 10.1088/1755-1315/1419/1/012044, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1419/1/012044>.
- Luong D.L., Nguyen Q.T., Pham A.D., i in., *Building a Decision-Making Support Framework for Installing Solar Panels on Vertical Glazing Façades of the Building Based on the Life Cycle Assessment and Environmental Benefit Analysis*, „Energies” t. 13 nr 9 (2020), DOI: 10.3390/en13092376, <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/9/2376>.
- Maccarrone P., Contri A.M., *Integrating Corporate Social Responsibility into Corporate Strategy: The Role of Formal Tools*, „Sustainability” t. 13 nr 22 (2021), DOI: 10.3390/su132212551, <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/22/12551>.
- Machín A., Cotto M.C., Díaz F., i in., *Environmental Aspects and Recycling of Solid-State Batteries: A Comprehensive Review*, „Batteries” t. 10 nr 7 (2024), DOI: 10.3390/batteries10070255, <https://www.mdpi.com/2313-0105/10/7/255>.
- Macknick J., Newmark R., Heath G., Hallett K., *Review of Operational Water Consumption and Withdrawal Factors for Electricity Generating Technologies*, 1 marca 2011 r., <https://www.osti.gov/servlets/purl/1009674/>.
- Maisch M., *Polish grid operator switches off gigawatts of PV*, „pv-magazine” (2024), <https://www.pv-magazine.com/2024/03/27/polish-grid-operator-switches-off-gigawatts-of-pv>.
- Majeed M.T., Hussain Z., *Financial sector development and renewable energy consumption nexus: Evidence from global dynamic panel threshold analysis*, „Natural Resources Forum” t. 49 nr 3 (2025), DOI: 10.1111/1477-8947.12469, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1477-8947.12469>.
- Malinowski M., *Inwestycja, która wzbudza ogromne kontrowersje. Boją się smrodu i hałasu. „To dla nas być albo nie być”*, „tvn24.pl” (2025), <https://tvn24.pl/kujawsko-pomorskie/tluchowo-ta-inwestycja-wzbudza-ogromne-obawy-mieszkancow-to-dla-nas-byc-albo-nie-byc-st8551610>.
- Mao Y., Cai Z., Wan K., Long D., *Bargaining-based energy sharing framework for multiple CCHP systems with a shared energy storage provider*, „Energy Science & Engineering” t. 12 nr 4 (2024), DOI: 10.1002/ese3.1665, <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ese3.1665>.
- Marona M., *Mój prąd 6.0: ponad 97 tys. złożonych wniosków*, „solaredge” (2025), <https://www.solaredge.com/pl/blog-solaredge/moj-prad-6.0>.

- Martínez M., Barrueto Y., Jimenez Y.P., i in., *Technological Advancement in Solar Photovoltaic Recycling: A Review*, „Minerals” t. 14 nr 7 (2024), DOI: 10.3390/min14070638, <https://www.mdpi.com/2075-163X/14/7/638>.
- Martini R., Xydis G., *Repurposing and recycling wind turbine blades in the United States*, „Environmental Progress & Sustainable Energy” t. 42 nr 1 (2023), DOI: 10.1002/ep.13932, <https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ep.13932>.
- Mayer A., Tavakoli H., Fessel Doan C., i in., *Modeling water-energy tradeoffs for cultivating algae for biofuels in a semi-arid region with fresh and brackish water supplies*, „Biofuels, Bioproducts and Biorefining” t. 14 nr 6 (2020), DOI: 10.1002/bbb.2137, <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bbb.2137>.
- McClung M.R., Moran M.D., *Minimizing Impacts of Future Renewable Energy Development on the World's Desert Ecosystems*, „Frontiers in Sustainability” t. 3 (2022), DOI: 10.3389/frsus.2022.900468, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frsus.2022.900468/full>.
- McKenna R., Weinand J.M., Mulalic I., i in., *Scenicness assessment of onshore wind sites with geotagged photographs and impacts on approval and cost-efficiency*, „Nature Energy” t. 6 nr 6 (2021), DOI: 10.1038/s41560-021-00842-5, <https://www.nature.com/articles/s41560-021-00842-5>.
- Md. Qamruzzaman, *Nexus between foreign direct investment, gross capital formation, financial development and renewable energy consumption: evidence from panel data estimation*, „GSC Advanced Research and Reviews” t. 18 nr 1 (2024), DOI: 10.30574/gscarr.2024.18.1.0011, <https://gsconlinepress.com/journals/gscarr/content/nexus-between-foreign-direct-investment-gross-capital-formation-financial-development-and>.
- Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens III W., *The Limits to Growth*, Universe Books 1972.
- Meegoda J., Charbel G., Watts D., *Sustainable Management of Rechargeable Batteries Used in Electric Vehicles*, „Batteries” t. 10 nr 5 (2024), DOI: 10.3390/batteries10050167, <https://www.mdpi.com/2313-0105/10/5/167>.
- Mekonnen M.M., Gerbens-Leenes W., *The Water Footprint of Global Food Production*, „Water” t. 12 nr 10 (2020), DOI: 10.3390/w12102696, <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/10/2696>.
- Melo G. de A., Maçaira P.M., Cyrino Oliveira F.L., Pereira G.A. de A., *Socioeconomic Impacts of Renewable Energy Plants Through the Lens of the Triple Bottom Line*, „Sustainability” t. 17 nr 11 (2025), DOI: 10.3390/su17114864, <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/11/4864>.
- Menéndez J., Loredó J., *An economic assessment of lignocellulosic biomass power plants*, „E3S Web of Conferences” t. 191 (2020), DOI: 10.1051/e3sconf/202019102003, <https://www.e3s->

conferences.org/10.1051/e3sconf/202019102003.

- Mensah J., *Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review*, „Cogent Social Sciences” t. 5 nr 1 (2019), DOI: 10.1080/23311886.2019.1653531, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311886.2019.1653531>.
- Mercer N., Hudson A., Martin D., Parker P., *“That’s Our Traditional Way as Indigenous Peoples”: Towards a Conceptual Framework for Understanding Community Support of Sustainable Energies in NunatuKavut, Labrador, „Sustainability”* t. 12 nr 15 (2020), DOI: 10.3390/su12156050, <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/15/6050>.
- Milani A., Dessi F., Bonaiuto M., *A meta-analysis on the drivers and barriers to the social acceptance of renewable and sustainable energy technologies*, „Energy Research & Social Science” t. 114 (2024), DOI: 10.1016/j.erss.2024.103624, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214629624002159>.
- Ministerstwo Aktywów Państwowych, *Program „Mój Prąd” – założenia szczegółowe*, 2019 r., <https://www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/program-moj-prad-zalozenia-szczegolowe>.
- Ministerstwo Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej (MGMiŻŚ), *System Informacji Przestrzennej Administracji Morskiej (SIPAM)*, (2021), <https://sipam.gov.pl/mapy/geoportal-sipam/>.
- Ministerstwo Klimatu i Środowiska, *Załącznik I. do aKPEiK Scenariusz aktywnej transformacji (ang. with additional measures, WAM)*, (2025).
- Ministerstwo Klimatu i Środowiska, *Raport syntetyczny: "Krajowy bilans emisji SO₂, NO_x, CO, NH₃, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 1990 - 2020*, (2022).
- Ministerstwo Klimatu i Środowiska, *Polityka energetyczna Polski do 2040 r.* [w:] 2021.
- Ministerstwo Klimatu i Środowiska, *Plan zagospodarowania przestrzennego polskich obszarów morskich*, (2021), <https://www.gov.pl/web/morska-energetyka-wiatrowa/plan-zagospodarowania-przestrzennego-polskich-obszarow-morskich>.
- Ministry of Climate and Environment, *Energy Policy of Poland until 2040 – 2023 update*, 2023 r.
- Mogrovejo-Narvaez M., Barragán-Escandón A., Zalamea-León E., Serrano-Guerrero X., *Barriers to the Implementation of On-Grid Photovoltaic Systems in Ecuador*, „Sustainability” t. 16 nr 21 (2024), DOI: 10.3390/su16219466, <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/21/9466>.
- Mohammadi N., Khabbazan M.M., *The Influential Mechanisms of Power Actor*

- Groups on Policy Mix Adoption: Lessons Learned from Feed-In Tariffs in the Renewable Energy Transition in Iran and Germany*, „Sustainability” t. 14 nr 7 (2022), DOI: 10.3390/su14073973, <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/7/3973>.
- Molenda P., *Modernizacja elektrowni Porąbka-Żar – 1 mld zł na podziemny gigant energetyczny w Polsce*, „top-oze” (2024).
- Montesdeoca-Martínez F., Velázquez-Medina S., *Integration of a Geothermal Plant in a System with High Renewable Energy Penetration for Desalination Plant Self-Consumption*, „Journal of Marine Science and Engineering” t. 11 nr 2 (2023), DOI: 10.3390/jmse11020353, <https://www.mdpi.com/2077-1312/11/2/353>.
- Moon J., *The contribution of corporate social responsibility to sustainable development*, „Sustainable Development” t. 15 nr 5 (2007), DOI: 10.1002/sd.346, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sd.346>.
- Moore C., *Renewable Energy Adoption and Its Effect on Rural Development in United States*, „Journal of Developing Country Studies” t. 8 nr 2 (2024), DOI: 10.47604/jdcs.2674, <https://www.iprjb.org/journals/index.php/JDCS/article/view/2674>.
- Morone P., Yilan G., *A paradigm shift in sustainability: from lines to circles*, „Acta Innovations” nr 36 (2020), DOI: 10.32933/ActaInnovations.36.1, <http://www.proakademia.eu/en/acta-innovations/find-issueskw/all-articles2020-36/a-paradigm-shift-in-sustainability-from-lines-to-circles/>.
- Moser P., Simon M.F., Medeiros M.B. de, i in., *Interaction between extreme weather events and mega-dams increases tree mortality and alters functional status of Amazonian forests*, „Journal of Applied Ecology” t. 56 nr 12 (2019), DOI: 10.1111/1365-2664.13498, <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2664.13498>.
- Mostafaei H., Chamasemani N.F., Mashayekhi M., i in., *Sustainability Enhancement and Evaluation of a Concrete Dam Using Recycling*, „Applied Sciences” t. 15 nr 5 (2025), DOI: 10.3390/app15052479, <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/5/2479>.
- Moya D., Aldás C., Kaparaju P., *Geothermal energy: Power plant technology and direct heat applications*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” t. 94 (2018), DOI: 10.1016/j.rser.2018.06.047, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032118304830>.
- Mroua M., Bouattour H., Naifar N., *Dynamic links between renewable energy, commodities, and financial stock markets: Implications for portfolio diversification*, „International Journal of Financial Engineering” t. 09 nr 01 (2022), DOI: 10.1142/S2424786321500237, <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S2424786321500237>.

- Munday M., Bristow G., Cowell R., *Wind farms in rural areas: How far do community benefits from wind farms represent a local economic development opportunity?*, „Journal of Rural Studies” t. 27 nr 1 (2011), DOI: 10.1016/j.jrurstud.2010.08.003, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0743016710000549>.
- Muñoz A.R., Farfán M.Á., *European free-tailed bat fatalities at wind farms in southern Spain*, „Animal Biodiversity and Conservation” (2020), DOI: 10.32800/abc.2020.43.0037, <http://abc.museocienciasjournals.cat/volume-43-1-2020-en/european-free-tailed-bat-fatalities-at-wind-farms-in-southern-spain/?lang=en>.
- Murawska A., Sieg P., Stereńczak S., *Environmental Safety and Self-Perceived Quality of Life and Health: The Example of the European Union*, „Sustainability” t. 17 nr 18 (2025), DOI: 10.3390/su17188412, <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/18/8412>.
- Murawska A., Sieg P., Stereńczak S., *Environmental Safety and Self-Perceived Quality of Life and Health: The Example of the European Union*, „Sustainability” t. 17 nr 18 (2025), DOI: 10.3390/su17188412.
- Murgatroyd M., Bouten W., Amar A., *A predictive model for improving placement of wind turbines to minimise collision risk potential for a large soaring raptor*, „Journal of Applied Ecology” t. 58 nr 4 (2021), DOI: 10.1111/1365-2664.13799, <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2664.13799>.
- Muteri V., Cellura M., Curto D., i in., *Review on Life Cycle Assessment of Solar Photovoltaic Panels*, „Energies” t. 13 nr 1 (2020), DOI: 10.3390/en13010252, <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/1/252>.
- Najwyższa Izba Kontroli, *NIK o elektrowniach wiatrowych*, (2014), <https://www.nik.gov.pl/najnowsze-informacje-o-wynikach-kontroli/nik-o-elektrowniach-wiatrowych.html>.
- Nakatani M., Osawa T., *Assessment of suitability for photovoltaic power generation in periurban seminatural grasslands: toward the coexistence of seminatural grasslands and photovoltaic power generation*, „Discover Sustainability” t. 5 nr 1 (2024), DOI: 10.1007/s43621-024-00346-8, <https://link.springer.com/10.1007/s43621-024-00346-8>.
- Nakatani M., Osawa T., *Assessment of suitability for photovoltaic power generation in periurban seminatural grasslands: toward the coexistence of seminatural grasslands and photovoltaic power generation*, „Discover Sustainability” t. 5 nr 1 (2024), DOI: 10.1007/s43621-024-00346-8.
- Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, *Budżet programu Mój Prąd 6.0 wykorzystany w 95 procentach, 2025 r.*, <https://www.gov.pl/web/nfosi/gw/budzet-programu-moj-prad-60-wykorzystany-w-95-procentach>.

- Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, *Program priorytetowy Mój Prąd*, 2024 r., <https://mojprad.gov.pl/o-programie/>.
- National Renewable Energy Laboratory (NREL), *Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Electricity Generation: Update*, (2021).
- Neary D.G., *Impacts of Bio-Based Energy Generation Fuels on Water and Soil Resources* [w:] *Energy Systems and Environment*, InTech 2018.
- Nepal R., *Roles and potentials of renewable energy in less-developed economies: The case of Nepal*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” t. 16 nr 4 (2012), DOI: 10.1016/j.rser.2012.01.047, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032112000482>.
- NFOŚiGW, *Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko 2014-2020: Priorytetowa oś – Energia odnawialna i efektywność energetyczna (Aktualizacja 2023 r.)*, 2023 r.
- Ngcobo R., Wet M.C. De, *The Impact of Financial Development and Economic Growth on Renewable Energy Supply in South Africa*, „Sustainability” t. 16 nr 6 (2024), DOI: 10.3390/su16062533, <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/6/2533>.
- Nie Y., Wang Y., Li L., Liao H., *Literature Review on Power Battery Echelon Reuse and Recycling from a Circular Economy Perspective*, „International Journal of Environmental Research and Public Health” t. 20 nr 5 (2023), DOI: 10.3390/ijerph20054346, <https://www.mdpi.com/1660-4601/20/5/4346>.
- Niestępska M., *Spoločności energetyczne w Polsce. Od teorii do praktyki*, „Kierunek Energetyka” t. 5 nr 6 (2024).
- Niestępska M., *Klastry energii w Polsce. Doświadczenia Ciechanowskiego Klastra Energii pierwszego zarejestrowanego przez Prezesa URE*, „Nowa Energia” t. 4 nr 95 (2024).
- Nishi Y., Inagaki T., Li Y., Hatano K., *Study on an Undershot Cross-Flow Water Turbine with Straight Blades*, „International Journal of Rotating Machinery” t. 2015 (2015), DOI: 10.1155/2015/817926, <https://www.hindawi.com/journals/ijrm/2015/817926/>.
- Njideka Ihuoma Okeke, Oluwaseun Adeola Bakare, Godwin Ozoemenam Achumie, *Integrating policy incentives and risk management for effective green finance in emerging markets*, „International Journal of Frontiers in Science and Technology Research” t. 7 nr 1 (2024), DOI: 10.53294/ijfstr.2024.7.1.0050, <https://frontiersrj.com/journals/ijfstr/node/263>.
- Numata M., Sugiyama M., Swe W., Barrio Alvarez D. del, *Willingness to Pay for Renewable Energy in Myanmar: Energy Source Preference*, „Energies” t. 14 nr 5 (2021), DOI: 10.3390/en14051505, <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/5/1505>.

- Nunnally J.C., *Psychometric Theory (2nd ed.)*, New York 1978.
- Nur A.I.N., Sasongko N.A., Boedoyo M.S., *Environmental Impact and Life Cycle Costs of Large-Scale Hydroelectric Power Plants*, „JETISH: Journal of Education Technology Information Social Sciences and Health” t. 3 nr 1 (2024), DOI: 10.57235/jetish.v3i1.1242, <https://rayyanjournal.com/index.php/jetish/article/view/1242>.
- Nyika J., Dinka M., Adediran A.A., *Recycling Plant Biomass and Life Cycle Assessment in Circular Economy Systems [w:] Plant Biomass Derived Materials*, Wiley 2024.
- Nyoh I., *Communicating climate change and energy in rural Africa: A case analysis to explain how participatory communication can support transition to renewables and adoption of solar technologies in rural Africa*, „Ciências e Políticas Públicas / Public Sciences & Policies” (2021), DOI: 10.33167/2184-0644.CPP2021.VVIIN2/pp.183-200, <https://cpp.iscsp.ulisboa.pt/index.php/cpp/article/view/110>.
- Odunayo Adewunmi Adelekan, Bamidele Segun Ilugbusi, Olawale Adisa, i in., *ENERGY TRANSITION POLICIES: A GLOBAL REVIEW OF SHIFTS TOWARDS RENEWABLE SOURCES*, „Engineering Science & Technology Journal” t. 5 nr 2 (2024), DOI: 10.51594/estj.v5i2.752, <https://fepbl.com/index.php/estj/article/view/752>.
- OECD, *Frameworks to Measure Sustainable Development*, 2000 r.
- Olaniyi C.O., Al-Faryan M.A.S., Ogbaro E.O., *Do institutional quality and its threshold matter in the sensitivity of the renewable energy transition to financial development? New empirical perspectives*, „International Journal of Finance & Economics” t. 30 nr 1 (2025), DOI: 10.1002/ijfe.2900, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ijfe.2900>.
- Olba-Zięty E., Zięty J.J., Stolarski M.J., *External Environmental Costs of Solid Biomass Production against the Legal and Political Background in Europe*, „Energies” t. 16 nr 10 (2023), DOI: 10.3390/en16104200, <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/10/4200>.
- Oluwadayomi Akinsooto, Olorunshogo Benjamin Ogundipe, Samuel Ikemba, *Strategic policy initiatives for optimizing hydrogen production and storage in sustainable energy systems*, „International Journal of Frontline Research and Reviews” t. 2 nr 2 (2024), DOI: 10.56355/ijfr.2024.2.2.0022, <https://frontlinejournals.com/ijfr/node/104>.
- Operacz A., *Wstępna ocena wpływu odprowadzania zużytych wód termalnych z kompleksu „Chocholowskie Termy” na jakość wód Czarnego Dunajca*, „GAZ, WODA I TECHNIKA SANITARNA” t. 1 nr 11 (2018), DOI: 10.15199/17.2018.11.4, <http://sigma-not.pl/publikacja-117146-2018-11.html>.
- Orhan M.F., Dincer I., Rosen M.A., *Investigation of an integrated hydrogen*

production system based on nuclear and renewable energy sources: a new approach for sustainable hydrogen production via copper-chlorine thermochemical cycles, „International Journal of Energy Research” t. 36 nr 15 (2012), DOI: 10.1002/er.1926, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/er.1926>.

Osei J., Brown K., Nejati M., *Understanding the factors affecting social acceptance of Solar Energy Technologies*, „Energy Strategy Reviews” t. 61 (2025), DOI: 10.1016/j.esr.2025.101861, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211467X2500224X>.

Ostrom E., *Nested externalities and polycentric institutions: must we wait for global solutions to climate change before taking actions at other scales?*, „Economic Theory” t. 49 nr 2 (2012), DOI: 10.1007/s00199-010-0558-6, <http://link.springer.com/10.1007/s00199-010-0558-6>.

Ostrom E., *Beyond Markets and States: Polycentric Governance of Complex Economic Systems*, „American Economic Review” t. 100 nr 3 (2010), DOI: 10.1257/aer.100.3.641, <https://pubs.aeaweb.org/doi/10.1257/aer.100.3.641>.

Ostrowska-Bućko A., *Zagospodarowanie energii wiatru przy użyciu małych turbin wiatrowych o pionowej osi obrotu*, „Civil And Environmental Engineering Reports” t. 5 (2014).

Ozcelik M., *Environmental and Social Impacts of the Increasing Number of Geothermal Power Plants (Büyük Menderes Graben - Turkey)*, 16 maja 2021 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-427548/v1>.

Pająk L., Tomaszewska B., Bujakowski W., i in., *Review of the Low-Enthalpy Lower Cretaceous Geothermal Energy Resources in Poland as an Environmentally Friendly Source of Heat for Urban District Heating Systems*, „Energies” t. 13 nr 6 (2020), DOI: 10.3390/en13061302, <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/6/1302>.

Pakhira S., Kumar V., Ghosh S., *Revealing the Superior Electrocatalytic Performance of 2D Monolayer WSe₂ Transition Metal Dichalcogenide for Efficient H₂ Evolution Reaction*, „Advanced Materials Interfaces” t. 10 nr 8 (2023), DOI: 10.1002/admi.202202075, <https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/admi.202202075>.

Pan X., Zhou H., Baimbetov D., i in., *Development Status and Future Prospects of Hydrogen Energy Technology: Production, Storage, and Cost Analysis*, „Advanced Energy and Sustainability Research” t. 6 nr 10 (2025), DOI: 10.1002/aesr.202400451, <https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/aesr.202400451>.

Paniagua P., *Anatomy of Externalities*, „Centre for the Study of Governance & Society. King's College London” (2023), <https://csgs.kcl.ac.uk/anatomy-of-externalities/>.

- Papakonstantinou A., Kontos T., Christodoulou E., Soulakellis N., *3D Geovisualisation of Noise and Visual impact of a proposed wind farm development using a GIS based visual-acoustic 3D simulation*, „International Cartographic Association” (2013), https://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2013/_extendedAbstract/246_proceeding.pdf.
- Park J.-H., Song G.-S., Kim J.S., i in., *Mechano-Noncatalytic Wet Treatment Method for Extracting Ash from Biomass at Room Temperature and Its Effect on Ash Behaviors*, „ACS Sustainable Chemistry & Engineering” t. 11 nr 40 (2023), DOI: 10.1021/acssuschemeng.3c01913, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.3c01913>.
- Parlament Europejski, *Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1787 z dnia 13 czerwca 2024 r.* [w:] 2024.
- Pascaris A.S., Schelly C., Rouleau M., Pearce J.M., *Do agrivoltaics improve public support for solar? A survey on perceptions, preferences, and priorities*, „Green Technology, Resilience, and Sustainability” t. 2 nr 1 (2022), DOI: 10.1007/s44173-022-00007-x, <https://link.springer.com/10.1007/s44173-022-00007-x>.
- Paszynski J., *Stawką nowelizacji ustawy wiatrakowej jest ponad 10 GW w lądowej energetyce wiatrowej*, „Ecoekonomia” (2025), <https://ecoekonomia.pl/2025/06/05/bezpieczenstwo-energetyczne-i-gospodarcze-polski-nie-moze-zejsc-z-listy-priorytetow/>.
- Pavlovna Spitsyna T., Rizvanulayevich Tagirov R., *Influence of river flow regulation in the Angara-Yenisei region on the hydrochemical regime of the cascade of hydroelectric power plant reservoirs and their downstream sections*, „E3S Web of Conferences” t. 417 (2023), DOI: 10.1051/e3sconf/202341702014, <https://www.e3s-conferences.org/10.1051/e3sconf/202341702014>.
- Peplow M., *Solar Panels Face Recycling Challenge*, „ACS Central Science” nr 8 (2022).
- Petrovich B., Fox H., *Making clean power flexy*, „Ember-Energy” (2024), <https://ember-energy.org/latest-insights/making-clean-power-flexy/>.
- Peyravi B., Peleckis K., Limba T., Peleckienė V., *The Circular Economy Practices in the European Union: Eco-Innovation and Sustainable Development*, „Sustainability” t. 16 nr 13 (2024), DOI: 10.3390/su16135473, <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/13/5473>.
- Piasecki A., *European Green Deal + Poland + hydroelectric plants = Future?*, „Hungarian Geographical Bulletin” t. 72 nr 4 (2024), DOI: 10.15201/hungeobull.72.4.5, <https://ojs3.mtak.hu/index.php/hungeobull/article/view/12115>.
- Pietrzak M., Wojcieszekiewicz M., *Poziom zaawansowania zarządzania*

- strategicznego a wielkość organizacji w świetle badań absolwentów SP PRE-MBA MiTM przy Wydziale Nauk Ekonomicznych SGGW*, „Zeszyty Naukowe SGGW - Ekonomika i Organizacja Gospodarki Żywnościowej” nr 75 (2009), DOI: 10.22630/EIOGZ.2009.75.37, <https://eiogz.sggw.edu.pl/article/view/8050>.
- Pigou A.C., *The Economics of Welfare*, „Macmillan - The Online Library of Liberty” (1932), <https://oll.libertyfund.org/titles/pigou-the-economics-of-welfare>.
- Pisani J.A. Du, *Sustainable development – historical roots of the concept*, „Environmental Sciences” t. 3 nr 2 (2006), DOI: 10.1080/15693430600688831, <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15693430600688831>.
- Piowar A., Dzikuć M., *Water Energy in Poland in the Context of Sustainable Development*, „Energies” t. 15 nr 21 (2022), DOI: 10.3390/en15217840, <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/21/7840>.
- Pleizier N.K., Algera D., Cooke S.J., Brauner C.J., *A meta-analysis of gas bubble trauma in fish*, „Fish and Fisheries” t. 21 nr 6 (2020), DOI: 10.1111/faf.12496, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/faf.12496>.
- Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej, *Offshore wind Poland*, (2025), <https://www.psew.pl/przyszlosc-offshore-dzieje-sie-teraz-w-polsce-najwazniejsze-wydarzenie-sektora-offshore-wind-poland-2025/>.
- Polyakova E., Gorina L., *Environmental security and sustainable development of large urban centres*, „E3S Web of Conferences” t. 250 (2021), DOI: 10.1051/e3sconf/202125001003, <https://www.e3s-conferences.org/10.1051/e3sconf/202125001003>.
- Pomian P., *Spółdzielnie energetyczne nie chcą dłużej milczeć. „Nie będzie transformacji bez nas”*, „Odpowiedzialny Inwestor” (2025), <https://odpowiedzialny-inwestor.pl/2025/07/18/spoldzielnie-energetyczne-nie-chca-dluzej-milczec-nie-bedzie-transformacji-bez-nas>.
- Poprawska-Borowiec K., *Polska fotowoltaika w europejskiej czołówce*, „Gramwzielone” (2025), <https://www.gramwzielone.pl/energia-sloneczna/20322198/polska-fotowoltaika-w-europejskiej-czolowce-dynamiczny-rozwoj-i-nowe-wyzwania>.
- Pražanová A., Knap V., Stroe D.-I., *Literature Review, Recycling of Lithium-Ion Batteries from Electric Vehicles, Part II: Environmental and Economic Perspective*, „Energies” t. 15 nr 19 (2022), DOI: 10.3390/en15197356, <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/19/7356>.
- Prieto-Sandoval V., Jaca C., Santos J., i in., *Key strategies, resources, and capabilities for implementing circular economy in industrial small and medium enterprises*, „Corporate Social Responsibility and Environmental Management” t. 26 nr 6 (2019), DOI: 10.1002/csr.1761, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/csr.1761>.

- Proença D., Borbinha J., *Maturity Models for Information Systems - A State of the Art*, „Procedia Computer Science” t. 100 (2016), DOI: 10.1016/j.procs.2016.09.279, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877050916324486>.
- Purkus A., Gawel E., Szarka N., i in., *Contributions of flexible power generation from biomass to a secure and cost-effective electricity supply—a review of potentials, incentives and obstacles in Germany*, „Energy, Sustainability and Society” t. 8 nr 1 (2018), DOI: 10.1186/s13705-018-0157-0, <https://energysustainsoc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13705-018-0157-0>.
- Purvis B., Mao Y., Robinson D., *Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins*, „Sustainability Science” t. 14 nr 3 (2019), DOI: 10.1007/s11625-018-0627-5, <http://link.springer.com/10.1007/s11625-018-0627-5>.
- Qing Ran W., *Research on Energy Storage Development Adapting to Large-scale Access to renewable Energy*, „Journal of Physics: Conference Series” t. 1871 nr 1 (2021), DOI: 10.1088/1742-6596/1871/1/012039, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1871/1/012039>.
- Qu F., Tsuchiya A., *Perceptions of Wind Turbine Noise and Self-Reported Health in Suburban Residential Areas*, „Frontiers in Psychology” t. 12 (2021), DOI: 10.3389/fpsyg.2021.736231, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2021.736231/full>.
- Rachwalska K., *Offshore wind power engineering in the Polish exclusive economic zone – current legal status. New “deals” in terms of location approvals*, „Eko-konsult” (2021), <https://ekokonsult.ase.pl/en/offshore-wind-power-engineering-in-the-polish-exclusive-economic-zone-current-legal-status-new-deals-in-terms-of-location-approvals>.
- Ragosa G., Warren P., *Unpacking the determinants of cross-border private investment in renewable energy in developing countries*, „Journal of Cleaner Production” t. 235 (2019), DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.06.166, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652619321225>.
- Rakowska J., Ozimek I., *Renewable Energy Attitudes and Behaviour of Local Governments in Poland*, „Energies” t. 14 nr 10 (2021), DOI: 10.3390/en14102765, <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/10/2765>.
- Razmjoo A., Qolipour M., Shirmohammadi R., i in., *Techno-economic evaluation of standalone hybrid solar-wind systems for small residential districts in the central desert of Iran*, „Environmental Progress & Sustainable Energy” t. 36 nr 4 (2017), DOI: 10.1002/ep.12554, <https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ep.12554>.
- Rehbein J.A., Watson J.E.M., Lane J.L., i in., *Renewable energy development threatens many globally important biodiversity areas*, „Global Change Biology”

t. 26 nr 5 (2020), DOI: 10.1111/gcb.15067,
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.15067>.

Report of the World Commission on Environment and Development, *Our Common Future*, „Oxford University Press” (1987),
<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>.

Rey J., Segura F., Andújar J., *Green Hydrogen: Resources Consumption, Technological Maturity, and Regulatory Framework*, „Energies” t. 16 nr 17 (2023), DOI: 10.3390/en16176222, <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/17/6222>.

Robak S., Raczkowski R., Piekarz M., *Development of the Wind Generation Sector and Its Effect on the Grid Operation—The Case of Poland*, „Energies” t. 16 nr 19 (2023), DOI: 10.3390/en16196805, <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/19/6805>.

Robalo-Cabrera I., Filgueira-Vizoso A., Alcayde A., Castro-Santos L., *The role of social costs in enhancing the levelized cost of energy*, „Energy Research & Social Science” t. 127 (2025), DOI: 10.1016/j.erss.2025.104268, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214629625003494>.

Robescu L.D., Bondrea D.A., *The water footprint from hydroelectricity: a case study for a hydropower plant in Romania*, „E3S Web of Conferences” t. 85 (2019), DOI: 10.1051/e3sconf/20198506012, <https://www.e3s-conferences.org/10.1051/e3sconf/20198506012>.

Rojas M.E., Lafoz M., Rodríguez-García M.M., i in., *Repurposing Coal-Fired Power Plants Integrating the Use of Second-Life Batteries, Flywheels, and High Temperature Molten Salt Storage* [w:] 2026.

Romero-Lankao P., Rosner N., Efroymson R.A., i in., *Community Engagement and Equity in Renewable Energy Projects: A Literature Review*, „National Renewable Energy Laboratory” (2023), <https://docs.nrel.gov/docs/fy23osti/871113.pdf>.

Royston J.P., *An Extension of Shapiro and Wilk's W Test for Normality to Large Samples*, „Applied Statistics” t. 31 nr 2 (1982), DOI: 10.2307/2347973, <https://www.jstor.org/stable/10.2307/2347973?origin=crossref>.

Ruocco A.M.C., Portinho J.L., Nogueira M.G., *Potential impact of small hydroelectric power plants on river biota: a case study on macroinvertebrates associated to basaltic knickzones*, „Brazilian Journal of Biology” t. 79 nr 4 (2019), DOI: 10.1590/1519-6984.191148, http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842019000400722&tlng=en.

Sætterstrøm B., Kruse M., Brønnum-Hansen H., i in., *A Method to Assess the Potential Effects of Air Pollution Mitigation on Healthcare Costs*, „Journal of

- Environmental and Public Health” t. 2012 (2012), DOI: 10.1155/2012/935825, <http://www.hindawi.com/journals/jeph/2012/935825/>.
- Šafář V., Charvát K., Mildorf T., i in., *The Role of Remote Sensing in Agriculture and Future Vision*, „Agris on-line Papers in Economics and Informatics” t. 14 nr 1 (2022), DOI: 10.7160/aol.2022.140109, <https://online.agris.cz/archive/2022/01/09>.
- Salguero M. del M., la Cruz A. De, Muñoz A.-R., Muñoz Arroyo G., *Bat mortality in wind farms of southern Europe: temporal patterns and implications in the current context of climate change*, „Biodiversity and Conservation” t. 32 nr 12 (2023), DOI: 10.1007/s10531-023-02674-z, <https://link.springer.com/10.1007/s10531-023-02674-z>.
- San Martin O., *Social acceptance “in my backyard” - What drives social acceptance of renewable energy projects?*, „Journal of Physics: Conference Series” t. 2507 nr 1 (2023), DOI: 10.1088/1742-6596/2507/1/012004, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2507/1/012004>.
- Santos J., *Cost-benefit analysis: just a step in the HIA process*, „European Journal of Public Health” t. 34 nr Supplement_3 (2024), DOI: 10.1093/eurpub/ckae144.405, <https://academic.oup.com/eurpub/article/doi/10.1093/eurpub/ckae144.405/7844164>.
- Santos R.E., Pinto-Coelho R.M., Drumond M.A., i in., *Damming Amazon Rivers: Environmental impacts of hydroelectric dams on Brazil's Madeira River according to local fishers' perception*, „Ambio” t. 49 nr 10 (2020), DOI: 10.1007/s13280-020-01316-w, <http://link.springer.com/10.1007/s13280-020-01316-w>.
- Sanyal S., Wuebbles D.J., *The Potential Impact of a Clean Energy Society on Air Quality*, „Earth's Future” t. 10 nr 6 (2022), DOI: 10.1029/2021EF002558, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2021EF002558>.
- Saputri P.L., Mutamimah M., Shabihah K., i in., *Green Fintech Adoption and Renewable Energy Investments on Green Investment Commitments in Indonesia*, „IOP Conference Series: Earth and Environmental Science” t. 1524 nr 1 (2025), DOI: 10.1088/1755-1315/1524/1/012013, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1524/1/012013>.
- Sarfo C., Zhang J.A., O’Kane P., O’Kane C., *Crowdfunding's impact on small business performance through exploitative and exploratory search strategies: An entrepreneurial resourcefulness perspective*, „Strategic Change” t. 33 nr 5 (2024), DOI: 10.1002/jsc.2584, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsc.2584>.
- Sawyer H., Korfanta N.M., Kauffman M.J., i in., *Trade-offs between utility-scale solar development and ungulates on western rangelands*, „Frontiers in Ecology

- and the Environment” t. 20 nr 6 (2022), DOI: 10.1002/fee.2498, <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fee.2498>.
- Sawyer H., Korfanta N.M., Kauffman M.J., i in., *Trade-offs between utility-scale solar development and ungulates on western rangelands*, „Frontiers in Ecology and the Environment” t. 20 nr 6 (2022), DOI: 10.1002/fee.2498.
- Schauppenlehner T., Bittner K., Baumgartinger-Seiringer M., *Large-Scale Agrivoltaics Visualisations for Assessing Landscape Impacts and Social Acceptance*, „AgriVoltaics Conference Proceedings” t. 1 (2024), DOI: 10.52825/agripv.v1i.596, <https://www.tib-op.org/ojs/index.php/agripv/article/view/596>.
- Schipfer F., Mäki E., Schmieder U., i in., *Status of and expectations for flexible bioenergy to support resource efficiency and to accelerate the energy transition*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” t. 158 (2022), DOI: 10.1016/j.rser.2022.112094, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032122000247>.
- Schischke E., Grevé A., Ehrenstein U., Doetsch C., *Overview of Energy Storage Technologies Besides Batteries* [w:] 2024.
- Schönherr N., Findler F., Martinuzzi A., *Exploring the interface of CSR and the Sustainable Development Goals*, „Transnational Corporations” t. 24 nr 3 (2017), DOI: 10.18356/cfb5b8b6-en, https://www.un-ilibrary.org/economic-and-social-development/exploring-the-interface-of-csr-and-the-sustainable-development-goals_cfb5b8b6-en.
- Schyns J.F., Hoekstra A.Y., Booij M.J., i in., *Limits to the world's green water resources for food, feed, fiber, timber, and bioenergy*, „Proceedings of the National Academy of Sciences” t. 116 nr 11 (2019), DOI: 10.1073/pnas.1817380116, <https://pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1817380116>.
- Schyns J.F., Vanham D., *The Water Footprint of Wood for Energy Consumed in the European Union*, „Water” t. 11 nr 2 (2019), DOI: 10.3390/w11020206, <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/2/206>.
- Ściubak Ł., Irslinger R., Jamrozek P., i in., *Raport Biomasa w Polsce*, „Biomass Media Group” (2023).
- Segreto M., Principe L., Desormeaux A., i in., *Trends in Social Acceptance of Renewable Energy Across Europe—A Literature Review*, „International Journal of Environmental Research and Public Health” t. 17 nr 24 (2020), DOI: 10.3390/ijerph17249161, <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/24/9161>.
- Serrano-Arévalo T.I., Ochoa-Barragán R., Ramírez-Márquez C., i in., *Energy Storage: From Fundamental Principles to Industrial Applications*, „Processes” t. 13 nr 6 (2025), DOI: 10.3390/pr13061853, <https://www.mdpi.com/2227-9717/13/6/1853>.

- Shahzad M., Qadir A., Ullah N., i in., *Optimization of On-Grid Hybrid Renewable Energy System: A Case Study on Azad Jammu and Kashmir*, „Sustainability” t. 14 nr 10 (2022), DOI: 10.3390/su14105757, <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/10/5757>.
- Shi L., Li J., Zhao Y., i in., *Comprehensive Benefit Evaluation Analysis And Application Research of Energy Storage*, „E3S Web of Conferences” t. 441 (2023), DOI: 10.1051/e3sconf/202344101014, <https://www.e3s-conferences.org/10.1051/e3sconf/202344101014>.
- Shin W., Han J., Rhee W., *AI-assistance for predictive maintenance of renewable energy systems*, „Energy” t. 221 (2021), DOI: 10.1016/j.energy.2021.119775, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544221000244>.
- Shukla K., Seppanen C., Naess B., i in., *ZIP Code-Level Estimation of Air Quality and Health Risk Due to Particulate Matter Pollution in New York City*, „Environmental Science & Technology” t. 56 nr 11 (2022), DOI: 10.1021/acs.est.1c07325, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.1c07325>.
- Sieg P., *Barriers and management practices for small hydropower: The case of the Kujawsko-Pomorskie Region in Poland's green energy transition*, „Acta Scientiarum Polonorum Administratio Locorum” t. 25 nr 1 (2026), DOI: 10.31648/aspal.11617, <https://czasopisma.uwm.edu.pl/index.php/aspal/article/view/11617>.
- Silva L., *Adoption of renewable energy innovations among hoteliers in Portugal*, „Tourism & Management Studies” t. 18 nr 4 (2022), DOI: 10.18089/tms.2022.180402, https://www.tmsstudies.net/index.php/ectms/article/view/1923/pdf_396.
- Simioni F.J., Jarenkow G.L., Silva K.F. da, i in., *Eco-efficiency in the transformation of forest biomass residues in electrical energy*, „Clean Technologies and Environmental Policy” t. 23 nr 5 (2021), DOI: 10.1007/s10098-021-02039-6, <https://link.springer.com/10.1007/s10098-021-02039-6>.
- Singal S.K., Saini R.P., Raghuvanshi C.S., *Optimization of low-head, dam-toe, small hydropower projects*, „Journal of Renewable and Sustainable Energy” t. 2 nr 4 (2010), DOI: 10.1063/1.3464755, <https://pubs.aip.org/jrse/article/2/4/043109/280184/Optimization-of-low-head-dam-toe-small-hydropower>.
- Singh N., Nyuur R., Richmond B., *Renewable Energy Development as a Driver of Economic Growth: Evidence from Multivariate Panel Data Analysis*, „Sustainability” t. 11 nr 8 (2019), DOI: 10.3390/su11082418, <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/8/2418>.
- Sinha P., Hoffman B., Sakers J., Althouse L., *Best Practices in Responsible Land Use for Improving Biodiversity at a Utility-Scale Solar Facility*, „Case Studies in the Environment” t. 2 nr 1 (2018), DOI: 10.1525/cse.2018.001123,

<https://online.ucpress.edu/cse/article/2/1/1/33870/Best-Practices-in-Responsible-Land-Use-for>.

Śledzik A., Banach M., *Pro-Environmental Solutions in Architecture—The Problem of Decommissioned Wind Blades*, „Sustainability” t. 17 nr 7 (2025), DOI: 10.3390/su17072963, <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/7/2963>.

Soares A. de C.L., Blanco C.J.C., Cruz J. da S., *Impact of climate change on hydroelectric power duration curves of small rural catchments in the Amazon*, „Engenharia Agrícola” t. 43 nr spe (2023), DOI: 10.1590/1809-4430-eng.agric.v43nepe20220144/2023, http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162023000800114&tlng=en.

Solar Power Europe, *Landmark EU Solar Strategy: SolarPower Europe Response*, (2022), <https://www.solarpowereurope.org/press-releases/landmark-eu-solar-strategy-solar-power-europe-response>.

Song Y., Lin X., *The Effects of Exercise and Social Interaction in Different Natural Environments on the Mental Health of Urban Residents*, „Sustainability” t. 14 nr 21 (2022), DOI: 10.3390/su142114095, <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/21/14095>.

Souza A.L.M. de, Fonseca R., Santos R.E., i in., *Impacts of Hydroelectric Dams on Amazonian Fisheries: Assessing Functional Attributes in the Madeira River*, „River Research and Applications” t. 41 nr 7 (2025), DOI: 10.1002/rra.4451, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/rra.4451>.

Sovacool B.K., Dworkin M.H., *Energy Justice: Conceptual Insights and Practical Applications*, „Applied Energy” t. 142 (2015), <https://ssrn.com/abstract=3447328>.

Sovacool B.K., Kim J., Yang M., *The hidden costs of energy and mobility: A global meta-analysis and research synthesis of electricity and transport externalities*, „Energy Research & Social Science” t. 72 (2021), DOI: 10.1016/j.erss.2020.101885, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214629620304606>.

Sovacool B.K., Turnheim B., Hook A., i in., *Dispossessed by decarbonisation: Reducing vulnerability, injustice, and inequality in the lived experience of low-carbon pathways*, „World Development” t. 137 (2021), DOI: 10.1016/j.worlddev.2020.105116, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0305750X20302436>.

Sowizdział A., Chmielowska A., Tomaszewska B., i in., *Could geothermal water and energy use improve living conditions? Environmental effects from Poland*, „Archives of Environmental Protection” (2023), DOI: 10.24425/aep.2019.127985, <https://journals.pan.pl/dlibra/publication/127985/edition/111664/content>.

- Spearman C., *The Proof and Measurement of Association between Two Things*, „The American Journal of Psychology” t. 15 nr 1 (1904), DOI: 10.2307/1412159, <https://www.jstor.org/stable/1412159?origin=crossref>.
- Starczewska M., Strojny M., Sowizdzał A., i in., *Life cycle assessment of enhanced geothermal systems with CO₂ as a working fluid—polish case study*, „Clean Technologies and Environmental Policy” t. 27 nr 4 (2025), DOI: 10.1007/s10098-024-03081-w, <https://link.springer.com/10.1007/s10098-024-03081-w>.
- Stefanelli R.D., Walker C., Kornelsen D., i in., *Renewable energy and energy autonomy: how Indigenous peoples in Canada are shaping an energy future*, „Environmental Reviews” t. 27 nr 1 (2019), DOI: 10.1139/er-2018-0024, <https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/er-2018-0024>.
- Stephens J.C., *Electrification: Opportunities for social justice and social innovation*, „MRS Bulletin” t. 46 nr 12 (2021), DOI: 10.1557/s43577-021-00245-7, <https://link.springer.com/10.1557/s43577-021-00245-7>.
- Stępień B., Wszolek T., Mleczko D., i in., *Modelling Low-Frequency Noise of Wind Turbines* [w:] *Proceedings of the 10th Convention of the European Acoustics Association Forum Acusticum 2023*, Turin, Italy 2024.
- Stowarzyszenie Producentów Energii z Odpadów (SPEO), *Trzy nowe instalacje będą otwarte w 2025 roku*, (2025).
- Stowarzyszenie Producentów i Importerów Urządzeń Grzewczych (SPIUG), *Raport rynek urządzeń grzewczych w Polsce 2024*, (2025), <https://www.slideshare.net/slideshow/raport-rynek-urzadzen-grzewczych-w-polsce-2024/280967742>.
- Su Z., Huang J., Wu L., *Economic Study of Wind and Solar Power Generation with Energy Storage Configuration*, „Highlights in Science, Engineering and Technology” t. 112 (2024), DOI: 10.54097/jh34fy18, <https://drpress.org/ojs/index.php/HSET/article/view/24976>.
- Suling C.F., Purnomo E.P., Hubacek K., Anand P., *The Influence of “Renewable Energy Directive II” Policy for The Sustainability of Palm Oil Industry in Indonesia*, „Journal of Governance” t. 8 nr 3 (2023), DOI: 10.31506/jog.v8i3.19930, <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jog/article/view/19930>.
- Sun Z., Zhang X., Gao Y., *The Impact of Financial Development on Renewable Energy Consumption: A Multidimensional Analysis Based on Global Panel Data*, „International Journal of Environmental Research and Public Health” t. 20 nr 4 (2023), DOI: 10.3390/ijerph20043124, <https://www.mdpi.com/1660-4601/20/4/3124>.
- Supernak B., *Produkcja energii elektrycznej wzrosła o 2,1% do 14,76 TWh w 2024, z OZE – 27,1% całości*, „Inwestycje” (2025).

- Szczubelek G., *Perspectives for energy development in Poland and in the European Union in the context of the European Green Deal: renewable energy and energy efficiency*, „Olsztyn Economic Journal” t. 17 nr 2 (2022), DOI: 10.31648/oj.8934, <https://czasopisma.uwm.edu.pl/index.php/oj/article/view/8934>.
- Szewczyk Z., *ECOLOGY SAFETY – SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ECONOMICAL ASPECT*, „Annals of the Polish Association of Agricultural and Agribusiness Economists” t. XIX nr 3 (2017), DOI: 10.5604/01.3001.0010.3266, <https://rnseria.com/gicid/01.3001.0010.3266>.
- Tabash M.I., Farooq U., Al-Rdaydeh M., i in., *Does investment in energy matter for economic growth? Evidence from BRICS countries*, „International Journal of Organizational Analysis” t. 31 nr 7 (2023), DOI: 10.1108/IJOA-03-2022-3185, <http://www.emerald.com/ijoa/article/31/7/3217-3232/314175>.
- Taiwo Idowu A., Charles Uzundu N., Alani Adio S., i in., *Hydropower Development and River Ecosystems: A Review of Environmental Impact and Mitigation Strategies*, „International Journal of Advanced Multidisciplinary Research and Studies” t. 4 nr 6 (2024), DOI: 10.62225/2583049X.2024.4.6.4016, <https://www.multiresearchjournal.com/arclist/list-2024.4.6/id-4016>.
- Takeda S., Keeley A., Sakurai S., i in., *Are Renewables as Friendly to Humans as to the Environment?: A Social Life Cycle Assessment of Renewable Electricity*, „Sustainability” t. 11 nr 5 (2019), DOI: 10.3390/su11051370, <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/5/1370>.
- Taşkın D., Vardar G., Okan B., *Does renewable energy promote green economic growth in OECD countries?*, „Sustainability Accounting, Management and Policy Journal” t. 11 nr 4 (2020), DOI: 10.1108/SAMPJ-04-2019-0192, <http://www.emerald.com/sampj/article/11/4/771-798/456646>.
- Teece D.J., *A capability theory of the firm: an economics and (Strategic) management perspective*, „New Zealand Economic Papers” t. 53 nr 1 (2019), DOI: 10.1080/00779954.2017.1371208, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00779954.2017.1371208>.
- Thapa S., Magee T., Zagana E., *Factors That Affect Hydropower Flexibility*, „Water” t. 14 nr 16 (2022), DOI: 10.3390/w14162563, <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/16/2563>.
- Thellbro C., Bjärstig T., Svensson J., i in., *Readiness and planning for more wind power: Municipalities as key actors implementing national strategies*, „Cleaner Energy Systems” t. 3 (2022), DOI: 10.1016/j.cles.2022.100040, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2772783122000383>.
- Tilahun F.B., Bhandari R., Mamo M., *Supply optimization based on society's cost of electricity and a calibrated demand model for future renewable energy transition in Niger*, „Energy, Sustainability and Society” t. 9 nr 1 (2019), DOI:

- 10.1186/s13705-019-0217-0,
<https://energysustainsoc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13705-019-0217-0>.
- Toktogulov A., *ENVIRONMENTAL SAFETY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT*, „EurasianUnionScientists” (2021), DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.86.1363, <https://psi-ped.euroasia-science.ru/index.php/Euroasia/article/view/713>.
- Tomczyk P., Willems P., Wiatkowski M., *Comparative analysis of changes in hydromorphological conditions upstream and downstream hydropower plants on selected rivers in Poland and Belgium*, „Journal of Cleaner Production” t. 328 (2021), DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129524, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652621037033>.
- Toruń G., *Geotermia Toruń* [na:] <https://geotermiatorun.pl/>.
- TPA Poland, *Wind energy in Poland*, t. 11 nr Wind Industry (2024).
- Truong D.D., *Predictors of solar water heater purchasing intention: an empirical analysis of residential behaviors in Hanoi city, Vietnam*, „Environmental Research Communications” t. 6 nr 5 (2024), DOI: 10.1088/2515-7620/ad4983, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2515-7620/ad4983>.
- Tsani T., Pelser T., Ioannidis R., i in., *Out of sight, out of mind? Cost of minimizing visibility of nationwide renewable energy systems*, 6 września 2024 r., <https://www.researchsquare.com/article/rs-5017073/v1>.
- Tsiaras E., Tampekis S., Gavrilakis C., *Public Perceptions and Social Acceptance of Renewable Energy Projects in Epirus, Greece: The Role of Education, Demographics and Visual Exposure*, „World” t. 6 nr 3 (2025), DOI: 10.3390/world6030111, <https://www.mdpi.com/2673-4060/6/3/111>.
- Tyszer M., Bujakowski W., Tomaszewska B., Bielec B., *Geothermal Water Management Using the Example of the Polish Lowland (Poland)—Key Aspects Related to Co-Management of Drinking and Geothermal Water*, „Energies” t. 13 nr 10 (2020), DOI: 10.3390/en13102412, <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/10/2412>.
- U. Karthick, *Solar Sustainability: Redefining Waste Management in Renewable Energy*, „International Research Journal on Advanced Engineering Hub (IRJAEH)” t. 2 nr 01 (2024), DOI: 10.47392/IRJAEH.2024.0006.i1, <https://irjaeh.com/index.php/journal/article/view/182>.
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), *Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Sources*, (2022).
- Urząd Marszałkowski Województwa Kujawsko-Pomorskiego [Marshal's Office of the Kuyavian-Pomeranian Voivodeship], *Raport o stanie odnawialnych źródeł*

energii w województwie kujawsko-pomorskim [Report on the state of renewable energy sources in the Kuyavian-Pomeranian Voivodeship], 2023 r.

Us Y., Pimonenko T., Lyulyov O., *Corporate Social Responsibility and Renewable Energy Development for the Green Brand within SDGs: A Meta-Analytic Review*, „Energies” t. 16 nr 5 (2023), DOI: 10.3390/en16052335, <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/5/2335>.

Uzorka A., Olatide Olaniyan A., Olubusayo V.F., *Engaging Communities In Renewable Energy Projects For Sustainable Development*, „Journal of Applied Science, Information and Computing” t. 4 nr 2 (2024), DOI: 10.59568/JASIC-2023-4-2-06, https://jasic.kiu.ac.ug/assets/articles/1707746479_engaging-communities-in-renewable-energy-projects-for-sustainable-development.pdf.

Vanclay F., *Benefit-sharing and enhancing outcomes for project-affected people* [w:] *Handbook on Social Impact Assessment*, 2024.

Vasileva E., Viljainen S., Sulamaa P., Kuleshov D., *RES support in Russia: Impact on capacity and electricity market prices*, „Renewable Energy” t. 76 (2015), DOI: 10.1016/j.renene.2014.11.003, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148114007174>.

Vasyutynska L., Kolopeniuk I., *The Role of Tax Incentives in Enhancing the Energy Efficiency of Ukraine's Economy*, „Pryazovskyi Economic Herald” nr 3(43) (2025), DOI: 10.32782/2522-4263/2025-3-10, http://pev.kpu.zp.ua/journals/2025/3_43_ukr/12.pdf.

Verma A., Maheshwari A., Srivastava A., i in., *Sustainable Transportation: Economics Driving Towards Environmental Solutions*, „Educational Administration Theory and Practices” (2024), DOI: 10.53555/kuey.v30i5.4996, <https://kuey.net/index.php/kuey/article/view/4996>.

Veronez F.A., Lima F.R.D., Tshibangu G.M., *Environmental impacts of hydropower plants in Brazil: an identification guide*, „Sustainability in Debate” t. 13 nr 1 (2022), DOI: 10.18472/SustDeb.v13n1.2022.40635, <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/40635>.

Vičmane L.K., Blumberga D., *Advancing Electricity Storage Technologies with a System Dynamics Approach*, „CONNECT. International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies” (2025), DOI: 10.7250/CONNECT.2025.021, <https://ect-journals.rtu.lv/conect/article/view/CONNECT.2025.021>.

Vimpari J., *Financing Energy Transition with Real Estate Wealth*, „Energies” t. 13 nr 17 (2020), DOI: 10.3390/en13174289, <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/17/4289>.

Virah-Sawmy D., Sturmberg B., *Socio-economic and environmental impacts of renewable energy deployments: A review*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” t. 207 (2025), DOI: 10.1016/j.rser.2024.114956,

- <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032124006828>.
- Viscusi W.K., *The devaluation of life*, „Regulation & Governance” t. 3 nr 2 (2009), DOI: 10.1111/j.1748-5991.2009.01052.x, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1748-5991.2009.01052.x>.
- Walston L.J., Hartmann H.M., Fox L., i in., *If you build it, will they come? Insect community responses to habitat establishment at solar energy facilities in Minnesota, USA*, „Environmental Research Letters” t. 19 nr 1 (2024), DOI: 10.1088/1748-9326/ad0f72, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ad0f72>.
- Walzberg J., Carpenter A., Heath G.A., *Role of the social factors in success of solar photovoltaic reuse and recycle programmes*, „Nature Energy” t. 6 nr 9 (2021), DOI: 10.1038/s41560-021-00888-5, <https://www.nature.com/articles/s41560-021-00888-5>.
- Wang D., Zhu W., Zhang C., i in., *Stakeholder Symbiosis in the Context of Corporate Social Responsibility*, „Symmetry” t. 12 nr 11 (2020), DOI: 10.3390/sym12111897, <https://www.mdpi.com/2073-8994/12/11/1897>.
- Wang F., Xue Y., *A Review of the Development of the Energy Storage Industry in China: Challenges and Opportunities*, „Energies” t. 18 nr 6 (2025), DOI: 10.3390/en18061512, <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/6/1512>.
- Wang Q., Huang R., Li R., *Renewable energy and sustainable development goals: Insights from <scp>latent dirichlet allocation</scp> thematic and bibliometric analysis*, „Sustainable Development” t. 32 nr 6 (2024), DOI: 10.1002/sd.3027, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sd.3027>.
- Wang Y., Jiang Y., Zhu Z., Wei J., *Study on energy-food water footprint and pressure on available water resources in three northeastern provinces*, „E3S Web of Conferences” t. 528 (2024), DOI: 10.1051/e3sconf/202452802020, <https://www.e3s-conferences.org/10.1051/e3sconf/202452802020>.
- Wang Y., Levin T., Kwon J., Baker E., *The value of hydropower flexibility for electricity system decarbonization*, „Energy Reports” t. 13 (2025), DOI: 10.1016/j.egyr.2025.02.019, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352484725001027>.
- Wen J., Jia R., Gao X., i in., *Competitive Equilibrium Analysis of Power Generation Transaction Subjects Considering Tradable Green Certificates*, „Processes” t. 11 nr 10 (2023), DOI: 10.3390/pr11103008, <https://www.mdpi.com/2227-9717/11/10/3008>.
- Whitaker S.H., *“The forests are dirty”: Effects of climate and social change on landscape and well-being in the Italian Alps*, „Emotion, Space and Society” t. 49 (2023), DOI: 10.1016/j.emospa.2023.100973, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1755458623000361>.

- Widuto A., *EU Solar Energy Strategy*, „European Parliament” (2025), <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/package-repowerEU-plan/file-eu-solar-strategy>.
- Wielgosński G., *Jak wygląda rynek RDF w Polsce?*, „Magazyn Biomasa” (2024).
- Wielgosński G., Namiecińska O., *Czym różni się spalarnia zmieszanych odpadów komunalnych od spalarni RDF?*, „Nowa Energia” t. 1 nr 61 (2018).
- Winberg J., Smith H.G., Ekroos J., *Bioenergy crops, biodiversity and ecosystem services in temperate agricultural landscapes—A review of synergies and trade-offs*, „GCB Bioenergy” t. 15 nr 10 (2023), DOI: 10.1111/gcbb.13092, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcbb.13092>.
- Wind Europe, *Wind energy in Europe: 2024 Statistics and the outlook for 2025-2030*, (2025), <https://windeurope.org/data/products/wind-energy-in-europe-2024-statistics-and-the-outlook-for-2025-2030/>.
- Wind Europe, *Latest wind energy data for Europe*, (2025), <https://windeurope.org/data/products/latest-wind-energy-data-for-europe-autumn-2025/>.
- Wiser R., Barbose G., Holt E., *Supporting Solar Power in Renewables Portfolio Standards: Experience from the United States*, 1 października 2010 r., <http://www.osti.gov/servlets/purl/991963-1Jwfh/>.
- Witek-Crabb A., *CSR Maturity in Polish Listed Companies: A Qualitative Diagnosis Based on a Progression Model*, „Sustainability” t. 11 nr 6 (2019), DOI: 10.3390/su11061736, <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/6/1736>.
- Wójcik-Karpacz A., *Implikacje praktyczne teorii interesariuszy: czego mniejsze firmy mogą się nauczyć od większych względem interesariuszy wewnętrznych?*, „Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach” t. 348 (2018).
- Woo J., Moon H., Lee J., Jang J., *Public attitudes toward the construction of new power plants in South Korea*, „Energy & Environment” t. 28 nr 4 (2017), DOI: 10.1177/0958305X17705948, <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0958305X17705948>.
- World Health Organization (WHO). Regional Office for Europe, *Environmental Noise Guidelines for the European Region*, 2019.
- Wu F., Pfenninger S., *Challenges and opportunities for bioenergy in Europe: National deployment, policy support, and possible future roles*, „Bioresource Technology Reports” t. 22 (2023), DOI: 10.1016/j.biteb.2023.101430, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2589014X23001019>.
- Wu G.C., Jones R.A., Leslie E., i in., *Minimizing habitat conflicts in meeting net-zero energy targets in the western United States*, „Proceedings of the National

- Academy of Sciences” t. 120 nr 4 (2023), DOI: 10.1073/pnas.2204098120, <https://pnas.org/doi/10.1073/pnas.2204098120>.
- Wu G.C., Jones R.A., Leslie E., i in., *Minimizing habitat conflicts in meeting net-zero energy targets in the western United States*, „Proceedings of the National Academy of Sciences” t. 120 nr 4 (2023), DOI: 10.1073/pnas.2204098120.
- Wu Z., Feng Y., Li X., Yuan B., *Flexibility definition and improvement of pumped hydro storage: A techno-economic analysis*, „Journal of Energy Storage” t. 93 (2024), DOI: 10.1016/j.est.2024.112078, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352152X24016645>.
- Wyligala H., *Bezpieczeństwo ekologiczne*, „Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Ignatianum w Krakowie” (2023), <https://open.icm.edu.pl/handle/123456789/23751>.
- Wynarska A., *Wielkie protesty w Ciechocinku. „Odór będzie na całe uzdrowisko”*, „TokFM” (2024), <https://www.tokfm.pl/polska/kujawsko-pomorskie/tokfm-7-189652-31209459-mieszkancy-ciechocinka-protestuja-odor-bedzie-na-cale-uzdrowisko>.
- Xiong Y.Y., Liu Y.Y., Tan H.Z., *Effect of Operational Parameters of Wet Flue Gas Desulfurization on Water Consumption*, „Advanced Materials Research” t. 726–731 (2013), DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.726-731.2026, <https://www.scientific.net/AMR.726-731.2026>.
- Yang H., *A Review of the Enterprise Theory: Formation, Essence, Boundary and Goal*, „Scientific and Social Research” t. 4 nr 1 (2022), DOI: 10.36922/ssr.v4i1.1314, <https://ojs.bbwpublisher.com/index.php/ssr/article/view/4583>.
- Yang T., Wu K., Du X., Yuan G., *Does the digital transformation of enterprises affect capital mismatch? evidence from Chinese listed firms*, „PLOS ONE” t. 20 nr 2 (2025), DOI: 10.1371/journal.pone.0313674, <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0313674>.
- Yang W., Zhao Z., Pérez-Díaz J.I., i in., *Pumped storage hydropower operation for supporting clean energy systems*, „Nature Reviews Clean Technology” t. 1 nr 7 (2025), DOI: 10.1038/s44359-025-00057-x, <https://www.nature.com/articles/s44359-025-00057-x>.
- Yang X., Yu S., Jiang X., Jiang P., *Addressing Health Inequities in Energy-Poor Households: Evidence from China’s Photovoltaic Poverty Alleviation Program*, „Energies” t. 18 nr 10 (2025), DOI: 10.3390/en18102620, <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/10/2620>.
- Yenneti K., Day R., *Procedural (in)justice in the implementation of solar energy: The case of Charanaka solar park, Gujarat, India*, „Energy Policy” t. 86 (2015), DOI: 10.1016/j.enpol.2015.08.019, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030142151530063X>.

- Yu G., Yu Z., *Research on a Coupled Total-Flow and Single-Flash (TF-SF) System for Power and Freshwater Generation from Geothermal Source*, „Applied Sciences” t. 10 nr 8 (2020), DOI: 10.3390/app10082689, <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/8/2689>.
- Yu X., Manthiram A., *Sustainable Battery Materials for Next-Generation Electrical Energy Storage*, „Advanced Energy and Sustainability Research” t. 2 nr 5 (2021), DOI: 10.1002/aesr.202000102, <https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/aesr.202000102>.
- Zapata O., *Renewable Energy and Community Development*, 22 listopada 2022 r., <https://osf.io/tk59y>.
- Zapolska K., *Bezpieczeństwo ekologiczne jako element bezpieczeństwa narodowego RP* [w:] *Współczesne oblicza bezpieczeństwa*, red. nauk. Ewa M. Guzik-Makaruk, Emil W. Pływaczewski 2015.
- Zarząd Województwa Kujawsko-Pomorskiego, *Raport o stanie województwa kujawsko-pomorskiego w 2024 r.*, 2025 r.
- Zarząd Województwa Kujawsko-Pomorskiego, *Plan realizacji ustaleń Strategii rozwoju województwa kujawsko-pomorskiego do 2030 roku – Strategia Przyspieszenia 2030+*, 2021 r., https://kujawsko-pomorskie.pl/wp-content/uploads/pliki/2022/planowanie/20221102_strategia/plan_realizacji_sr_w_2030.pdf.
- Zespół Ekspertski do spraw Budowy Elektrowni Szczytowo-Pompowych, *Rola elektrowni szczytowo-pompowych w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym: uwarunkowania i kierunki rozwoju*, (2022).
- Zhang J., Li Z., Tao J., i in., *Observed Impacts of Ground-Mounted Photovoltaic Systems on the Microclimate and Soil in an Arid Area of Gansu, China*, „Atmosphere” t. 15 nr 8 (2024), DOI: 10.3390/atmos15080936, <https://www.mdpi.com/2073-4433/15/8/936>.
- Zhang Y., Wang F., Zhang W., i in., *High-Selectivity Recycling of Valuable Metals from Spent Lithium-Ion Batteries Using Recyclable Deep Eutectic Solvents*, „ChemSusChem” t. 17 nr 9 (2024), DOI: 10.1002/cssc.202301774, <https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cssc.202301774>.
- Zhao H., *Research on Design Parameters of Pumped Storage Power Station Based on Different Geographical Locations*, „Highlights in Science, Engineering and Technology” t. 80 (2023), DOI: 10.54097/43y5zy43, <https://drpress.org/ojs/index.php/HSET/article/view/17491>.
- Zhao W., Li R., Zhu S., *Subsidy Policies and Economic Analysis of Photovoltaic Energy Storage Integration in China*, „Energies” t. 17 nr 10 (2024), DOI: 10.3390/en17102372, <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/10/2372>.
- Zhe L., Yüksel S., Dinçer H., i in., *The Positive Influences of Renewable Energy*

Consumption on Financial Development and Economic Growth, „Sage Open” t. 11 nr 3 (2021), DOI: 10.1177/21582440211040133, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/21582440211040133>.

Zheng J., Liu B., Huang Y., *Inhibiting or exacerbating? Digital financial inclusion and renewable energy efficiency*, „Science Progress” t. 108 nr 2 (2025), DOI: 10.1177/00368504251331897, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/00368504251331897>.

Zheng J., Luo Y., Chang R., Gao X., *An observational study on the microclimate and soil thermal regimes under solar photovoltaic arrays*, „Solar Energy” t. 266 (2023), DOI: 10.1016/j.solener.2023.112159, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X23007934>.

Zhou L., Tian Y., Baidya Roy S., i in., *Impacts of wind farms on land surface temperature*, „Nature Climate Change” t. 2 nr 7 (2012), DOI: 10.1038/nclimate1505, <https://www.nature.com/articles/nclimate1505>.

SPIS TABEL

Tabela 1. Polska, Szwecja i UE – udział hydroenergetyki w miksie energetycznym (2025)	41
Tabela 2. Elektrownie geotermalne zlokalizowane na terenie Polski, stan na 2025 r.....	55
Tabela 3. Prosumenci energii odnawialnej wg źródeł energii, stan na lipiec 2025 ...	62
Tabela 4. Klastry energii zarejestrowane w Polsce	64
Tabela 5. Produkcja energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych w Polsce oraz poszczególnych województwach w latach 2005-2012	67
Tabela 6. Produkcja energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych w Polsce oraz poszczególnych województwach w latach 2012-2023	68
Tabela 7. Mediany współczynników emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia dla technologii wytwarzania energii elektrycznej według faz cyklu życia	154
Tabela 8. Powiązanie hipotez badawczych z rozdziałami pracy oraz metodami ich weryfikacji.....	200
Tabela 9. Operacjonalizacja zmiennych w części badania przedsiębiorstw.....	206
Tabela 10. Operacjonalizacja konstruktów wykorzystanych w badaniu społecznym.....	208
Tabela 11. Analiza dynamiki zmian produkcji energii elektrycznej z OZE w woj. kuj.-pom.....	218
Tabela 12. Stan elektrowni wiatrowych w powiatach województwa kujawsko-pomorskiego na dzień 31.12.2023r.	219
Tabela 13. Liczba instalacji i zainstalowana moc w fotowoltaice w powiatach województwa kujawsko-pomorskiego na dzień 31.12.2023r.....	220
Tabela 14. Liczba elektrowni biogazowych i biomasowych oraz instalacji współpalających paliwa kopalne i biomasę lub biogaz w województwie kujawsko-pomorskim na dzień 31.12.2023 oraz ich moc zainstalowana	221
Tabela 15. Wykaz elektrowni biogazowych i biomasowych oraz współpalających biomasę lub biogaz wraz z nazwami przedsiębiorstw.....	221
Tabela 16. Liczba instalacji energetyki wodnej w województwie kujawsko-pomorskim na dzień 31.12.2023	223
Tabela 17. Zestawienie rodzajów elektrowni w województwie kujawsko-pomorskim w 2024 r.....	226
Tabela 18. Instalacje OZE o mocy powyżej 10 MW w woj. kuj.-pom. stan na 31.12.24 r.....	229
Tabela 19. Rodzaj energii odnawialnej wytwarzanej przez badane przedsiębiorstwa OZE [N = 150]	231
Tabela 20. Okres działalności badanych przedsiębiorstw w branży OZE [N = 150]	232
Tabela 21. Lokalizacja instalacji OZE należących do badanych przedsiębiorstw [N = 150]	232

Tabela 22. Lokalizacja instalacji OZE badanych przedsiębiorstw według województw [N = 150]	233
Tabela 23. Moc zainstalowana w badanych przedsiębiorstwach OZE [N = 150] ...	233
Tabela 24. Liczba pracowników w badanych przedsiębiorstwach [N = 150]	234
Tabela 25. Stanowiska respondentów udzielającej odpowiedzi w badaniu [N = 150]	234
Tabela 26. Podejmowanie działań na rzecz minimalizacji kosztów społecznych swojej działalności przez badane przedsiębiorstwa [N = 150]	235
Tabela 27. Zakres uwzględniania potencjalnych kosztów społecznych przy planowaniu nowych inwestycji w badanych przedsiębiorstwach [N = 150]	236
Tabela 28. Główne bariery w zarządzaniu kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach OZE [N = 150]	236
Tabela 29. Odsetek budżetu operacyjnego badanych przedsiębiorstw przeznaczany na działania związane z minimalizacją kosztów społecznych (średniorocznie w latach 2021-2024) [N = 150]	237
Tabela 30. Planowane wydatki przedsiębiorstw OZE na ograniczanie kosztów społecznych w najbliższych 3 latach (2025–2027) [N = 150]	239
Tabela 31. Główne źródła finansowania działań związanych z minimalizacją kosztów społecznych [N = 150]	240
Tabela 32. Czynniki ekonomiczne uwzględniane przy analizie i zarządzaniu kosztami społecznymi związanymi z działalnością OZE [N = 150]	241
Tabela 33. Wpływ działań podejmowanych w celu ograniczenia kosztów społecznych na wyniki finansowe przedsiębiorstw [N = 150]	242
Tabela 34. Ocena stopnia redukcji kosztów społecznych OZE przez system regulacyjny w Polsce (np. dotacje, ulgi podatkowe, obowiązki środowiskowe) [N = 150]	244
Tabela 35. Ocena wpływu cen energii odnawialnej na postrzeganie kosztów społecznych w badanych przedsiębiorstwach [N = 150]	245
Tabela 36. Ocena stopnia inwestowania w technologie ograniczające wpływ na społeczność pod kątem opłacalności z perspektywy ekonomicznej [N=150]	247
Tabela 37. Częstotliwość prowadzenia analiz ekonomicznych dotyczących kosztów społecznych swojej działalności w ocenie przedsiębiorstw OZE [N = 150]	248
Tabela 38. Ocena wpływu wzrostu kosztów surowców i inflacji na koszty społeczne działalności OZE [N = 150]	250
Tabela 39. Działania kompensacyjne związane z rekompensatą finansową kosztów społecznych podejmowane przez badane przedsiębiorstwa [N = 150]	251
Tabela 40. Elementy strategii zrównoważonego rozwoju występujące w badanych przedsiębiorstwach [N = 150]	254
Tabela 41. Wskaźniki środowiskowe monitorowane w badanych przedsiębiorstwach [N = 150]	255
Tabela 42. Ocena stopnia uwzględniania przez przedsiębiorstwa OZE aspektów środowiskowych przy planowaniu nowych inwestycji OZE [N = 150]	256

Tabela 43. Analizy wpływu instalacji na krajobraz oraz szacowane koszty ich przeprowadzenia [N = 150]	257
Tabela 44. Działania podejmowane przez przedsiębiorstwa w celu minimalizacji wpływu na środowisko naturalne [N = 150]	258
Tabela 45. Ocena wpływ inwestycji OZE na zdrowie, środowisko i społeczność lokalną w polityce zrównoważonego rozwoju badanych przedsiębiorstw [N = 150]	259
Tabela 46. Ocena analizowania wpływ działalności na zdrowie i dobrostan lokalnych społeczności przez badane przedsiębiorstwa [N = 150]	260
Tabela 47. Czynniki zdrowotne związane z funkcjonowaniem instalacji OZE brane pod uwagę w badanych przedsiębiorstwach [N = 150]	261
Tabela 48. Potencjalne skutki zdrowotne uwzględniane przez badane przedsiębiorstwa przy planowaniu nowych inwestycji w odnawialne źródła energii [N = 150]	262
Tabela 49. Wcześniejszy sposób wykorzystywania terenu, na którym obecnie znajduje się instalacja OZE badanych [N = 150]	263
Tabela 50. Planowanie działań kompensacyjnych lub rekultywacyjnych po zakończeniu eksploatacji instalacji [N = 150]	263
Tabela 51. Minimalna odległość elektrowni od zabudowań mieszkalnych [N = 150]	264
Tabela 52. Działania kompensacyjne podejmowane przez badane przedsiębiorstwa w celu minimalizacji wpływu na zdrowie i życie społeczności [N = 150]	265
Tabela 53. Działania ograniczające negatywny wpływ inwestycji OZE na zdrowie mieszkańców [N = 101]	266
Tabela 54. Działania związane z komunikacją i relacjami społecznymi [N = 101]	267
Tabela 55. Działania technologiczne i operacyjne [N = 101]	268
Tabela 56. Działania związane z edukacją i promocją OZE [N = 101]	269
Tabela 57. Czynniki kosztu społecznego mające największy wpływ na działalność badanych przedsiębiorstw [N = 150]	271
Tabela 58. Współpraca przedsiębiorstw OZE z administracją publiczną w zakresie minimalizacji kosztów społecznych [N = 150]	272
Tabela 59. Większa transparentność ponoszonych przez przedsiębiorstwa kosztów społecznych a poziom akceptacji społecznej inwestycji w OZE [N = 150]	272
Tabela 60. Wyniki analizy korelacji Spearmana między zmiennymi [N = 150]	274
Tabela 61. Korelacje Spearmana między poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi, ryzykami zdrowotno-przestrzennymi i uwzględnianiem kosztów społecznych	277
Tabela 62. Wyniki analizy regresji liniowej wielorakiej dla zmiennej „Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi” [N = 150]	278
Tabela 63. Diagnoza normalności rozkładów zmiennych w modelu oraz analiza współliniowości predyktorów	281
Tabela 64. Wyniki jednoczynnikowej analizy wariancji dla wybranych pytań według cech przedsiębiorstw [N = 150]	285

Tabela 65. Poziomy zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE	289
Tabela 66. Kryteria przypisania przedsiębiorstwa do poziomu zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi.....	290
Tabela 67. Ocena znaczenia poszczególnych korzyści z rozwoju OZE w opinii mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego [N = 600]	296
Tabela 68. Znaczenie potencjalnych negatywnych skutków elektrowni OZE wg mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego [N = 600]	301
Tabela 69. Działania kompensacyjne (łagodzące/naprawcze) podejmowane przez firmy OZE w celu ograniczenia potencjalnych negatywnych skutków inwestycji w ocenie mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego [N = 600]	302
Tabela 70. Porównanie deklaracji przedsiębiorstw i ocen mieszkańców dotyczących podejmowania działań minimalizujących koszty społeczne energetyki OZE [N = 600]	307
Tabela 71. Statystyki opisowe i rzetelność konstruktów modelu [N = 600]	311
Tabela 72. Macierz korelacji Pearsona między konstruktami modelu [N = 600] ...	312
Tabela 73. Wyniki analizy regresji wielorakiej – predyktory akceptacji społecznej OZE [N = 600] Model: $R^2 = 0,569$; $R^2_{adj} = 0,566$; $F(4, 595) = 196,55$; $p < 0,001$	312
Tabela 74. Wyniki jednoczynnikowych analiz wariancji (ANOVA) dla K5 – Akceptacja społeczna OZE [N = 600]	314
Tabela 75. Średnie akceptacji społecznej OZE (K5) według wykształcenia z wynikami testów post-hoc (Bonferroni) [N = 600]	314
Tabela 76. Średnie akceptacji społecznej OZE (K5) według miejsca zamieszkania z wynikami testów post-hoc (Bonferroni) [N = 600]	315

SPIS RYSUNKÓW

Rys. 1. Udział poszczególnych źródeł energii odnawialnej w produkcji energii odnawialnej ogółem w Unii Europejskiej w 2024 roku	14
Rys. 2. Udział odnawialnych źródeł energii w zużyciu energii ogółem w 2024 roku.....	15
Rys. 3. Prognozowana struktura miksu energetycznego Unii Europejskiej do 2050 roku.....	17
Rys. 4. Produkcja energii elektrycznej wg źródła w UE na przestrzeni lat 1965-2025.....	18
Rys. 5. Udział odnawialnych źródeł energii w końcowym zużyciu energii brutto w Polsce i Unii Europejskiej (2016–2030) a cele klimatyczne	21
Rys. 6. Wskaźniki transformacji energetycznej w latach 2004 – 2024 w Polsce.....	25
Rys. 7. Produkcja energii elektrycznej w 2024 r. wg źródeł	26
Rys. 8. Produkcja energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii w latach 2005-2024.....	27
Rys. 9. Udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w latach 2013-2023	28
Rys. 10. Udział energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w elektroenergetyce, ciepłownictwie i chłodnictwie oraz w transporcie w latach 2016-2023	29
Rys. 11. Prognozowany udział OZE w końcowym zużyciu energii brutto w Polsce do 2040 roku w podziale na sektory.....	30
Rys. 12. Moc zainstalowana [GW] w elektrowniach wiatrowych w Polsce w latach 2013-2024 wraz z prognozą na rok 2030	32
Rys. 13. Liczba nowo zainstalowanych turbin wiatrowych na lądzie i ich średnia moc znamionowa w krajach Europy w pierwszej połowie 2025 r.	33
Rys. 14. Mapa polskich obszarów morskich	35
Rys. 15. Produkcja energii z elektrowni wodnych w Europie (2025).....	40
Rys. 16. Potencjał hydroenergetyczny Polski	43
Rys. 17. Czas pracy i ilość uruchomień ESP Żarnowiec, Porąbka-Żar, Solina, Dychów w latach 2011-2021	46
Rys. 18. Udział odnawialnych źródeł energii (słońce, wiatr, biomasa i hydroenergia) w produkcji energii elektrycznej w Polsce w latach 2020-2024	49
Rys. 19. Instalacje współpalające biomasę lub biogaz z innymi paliwami (stan na 12.04.22 r.)	50
Rys. 20. Instalacje spalające biomasę (stan na 12.04.2022 r.)	51
Rys. 21. Mikrobiogazownie rolnicze na terenie Polski, stan na 2024 r.	53
Rys. 22. Mapa obszarów perspektywicznych dla poszukiwania i ujmowania wód termalnych.....	55
Rys. 23. Liczba sprzedanych pomp ciepła w Polsce w latach 2018-2024 oraz optymistyczna prognoza na rok 2025.....	57

Rys. 24. Instalacje termicznego przekształcania odpadów w Polsce, stan na wrzesień.....	59
Rys. 25. Liczba prosumentów oraz zainstalowana moc w instalacjach prosumenckich.....	62
Rys. 26. Udział energii odnawialnej w produkcji energii elektrycznej ogółem wg województw w roku 2023	68
Rys. 27. Trzy filary zrównoważonego rozwoju	80
Rys. 28. Poziom bezpieczeństwa środowiskowego w krajach UE w latach 2018-2023 wg wskaźnika TOPSIS	128
Rys. 29. Schemat zarządzania kosztami społecznymi OZE w ujęciu efektów zewnętrznych i interesariuszy	171
Rys. 30. Porównanie wartości produkcji energii ogółem a energii z OZE w woj. kuj.-pom. w latach 2005-2023	216
Rys. 31. Wykres dynamiki produkcji energii elektrycznej z OZE w woj. kuj.-pom.....	217
Rys. 32. Elektrownie wodne w województwie kujawsko-pomorskim wraz z mocą zainstalowaną	224
Rys. 33. Instalacje OZE na terenie powiatów województwa kujawsko-pomorskiego bez mikroinstalacji prosumenckich według stanu na 31 grudnia 2024 r.....	228
Rys. 34. Zmiany prawne lub systemowe, które zdaniem badanych mogłyby wspierać zarządzanie kosztami społecznymi OZE – chmura słów	274
Rys. 35. Wizualizacja relacji między zmiennymi	276
Rys. 36. Zależność między monitoringiem wskaźników środowiskowych a poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi	278
Rys. 37. Zależność między działaniami społecznymi, edukacyjnymi, komunikacyjnymi i kompensacyjnymi a poziomem zaawansowania zarządzania kosztami społecznym	279
Rys. 38. Standaryzowane współczynniki regresji dla predyktorów poziomu zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi.....	279
Rys. 39. Rozkład składnika losowego (reszt) modelu regresji.....	282
Rys. 40. Rozkład składnika losowego (reszt) modelu regresji - TYP QQ	282
Rys. 41. Rozkład przewidywanych przez model wartości zmiennej Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznym.....	283
Rys. 42. Równość wariancji składnika losowego modelu regresji.....	283
Rys. 43. Relacja między wartościami rzeczywistymi (z próby) a wartościami przewidzianymi przez model.....	284
Rys. 44. Logika modelu poziomów zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE	288
Rys. 45. Praktyczne zastosowanie modelu zarządzania kosztami społecznymi w sektorze OZE	292
Rys. 46. Struktura badanych mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego wg płci.....	293

Rys. 47. Struktura badanych mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego wg wieku	293
Rys. 48. Struktura badanych mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego wg poziomu wykształcenia	294
Rys. 49. Struktura badanych mieszkańców według miejsca zamieszkania.....	294
Rys. 50. Znajomość poszczególnych rodzajów odnawialnych źródeł energii wśród badanych mieszkańców [N = 600]	295
Rys. 51. Ocena znaczenia energetyki odnawialnej dla przyszłości Polski [N = 600]	296
Rys. 52. Źródła energii odnawialnej uznawane za najbardziej korzystne ekonomicznie w opinii mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego [N = 600]	297
Rys. 53. Źródła energii odnawialnej uznawane za najbardziej korzystne środowiskowo w opinii mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego [N = 600]	298
Rys. 54. Źródła energii odnawialnej uznawane za najbardziej korzystne dla zdrowia człowieka w opinii mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego [N = 600]	298
Rys. 55. Ocena wpływu inwestycji w odnawialne źródła energii na rozwój regionu w opinii mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego [N = 600].....	299
Rys. 56. Ocena związku rozwoju energetyki odnawialnej z kosztami społecznymi według wieku respondentów województwa kujawsko-pomorskiego [N = 600].....	300
Rys. 57. Deklarowana reakcja mieszkańców na informację o powstaniu nowej elektrowni OZE w odległości do 50 km od miejsca zamieszkania [N = 600]	304
Rys. 58. Deklarowana skłonność mieszkańców do akceptacji inwestycji OZE przy podjęciu działań kompensacyjnych przez firmę [N = 600]	304
Rys. 59. Preferowany rodzaj elektrowni OZE w pobliżu miejsca zamieszkania według wieku respondentów [N = 600]	306
Rys. 60. Ocena przedsięwzięć OZE w zakresie podejmowania wystarczających działań kompensacyjnych dla minimalizowania kosztów społecznych przez mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego [N = 600]	309
Rys. 61. Schemat ścieżek modelu PLS-SEM.....	318

SPIS FOTOGRAFII

Fotografia 1. Instalacja Termicznego Przekształcania Odpadów (ITPO) ProNatura Bydgoszcz	225
Fotografia 2. Elektrownia geotermalna w Toruniu	226

STRESZCZENIE

Zarządzanie kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora odnawialnych źródeł energii w województwie kujawsko-pomorskim na tle procesów transformacji energetycznej

mgr inż. Patrycja Sieg

Słowa kluczowe: przedsiębiorstwa OZE, koszty społeczne, poziom zaawansowania zarządzania, akceptacja społeczna, odnawialne źródła energii

Przedmiotem rozprawy jest zarządzanie kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora odnawialnych źródeł energii. W pracy przyjęto, że rozwój OZE, obok korzyści środowiskowych i energetycznych, może wiązać się z kosztami społecznymi ujawniającymi się w obszarze finansowym, środowiskowym oraz społeczno-zdrowotnym.

Głównym celem pracy było opracowanie i empiryczna weryfikacja modelu zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi w przedsiębiorstwach sektora OZE. Badania objęły przedsiębiorstwa sektora OZE oraz mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego. W analizie wykorzystano metodę głównych składowych, analizę korelacji, analizę regresji oraz modelowanie PLS-SEM.

W części teoretycznej dokonano analizy polityk energetycznych, regulacyjnych uwarunkowań funkcjonowania przedsiębiorstw sektora OZE oraz ekonomiczno-organizacyjnego, środowiskowego i społeczno-zdrowotnego obszaru zarządzania kosztami społecznymi.

W części empirycznej wykorzystano wyniki badań ankietowych przeprowadzonych wśród przedsiębiorstw sektora OZE i mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego, analizując je z zastosowaniem metody głównych składowych, korelacji, regresji oraz modelowania PLS-SEM.

Wyniki badań wykazały, że poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznymi pozostaje istotnie związany z obszarem finansowym, środowiskowym oraz społeczno-zdrowotnym. Szczególne znaczenie miał obszar środowiskowy, reprezentowany przede wszystkim przez monitoring wskaźników środowiskowych, który okazał się najsilniejszym dodatnim predyktorem zaawansowania.

Rozprawa wnosi wkład do nauk o zarządzaniu i jakości poprzez ujęcie kosztów społecznych OZE jako wielowymiarowego problemu zarządczego oraz opracowanie modelu zarządzania tymi kosztami na poziomie przedsiębiorstw sektora OZE.

ABSTRACT

Management of Social Costs in Renewable Energy Enterprises in the Kuyavian-Pomeranian Voivodeship in the Context of Energy Transition Processes

mgr inż. Patrycja Sieg

Key words: renewable energy enterprises, social costs, management maturity, social acceptance, renewable energy sources.

The dissertation focuses on the management of social costs in enterprises operating in the renewable energy sector. It assumes that the development of renewable energy sources, in addition to generating environmental and energy-related benefits, may also be associated with social costs manifested in the economic-organisational, environmental, and socio-health areas.

The main objective of the dissertation was to develop and empirically verify a model for assessing the advancement of social cost management in renewable energy enterprises. The research covered enterprises in the renewable energy sector and residents of the Kuyavian-Pomeranian Voivodeship. The analysis employed principal component analysis, correlation analysis, regression analysis, and PLS-SEM modelling.

The theoretical part of the dissertation examines energy policies, the regulatory conditions shaping the functioning of renewable energy enterprises, and the economic-organisational, environmental, and socio-health dimensions of social cost management.

The empirical part is based on the results of questionnaire surveys conducted among renewable energy enterprises and residents of the Kuyavian-Pomeranian Voivodeship. The collected data were analysed using principal component analysis, correlation analysis, regression analysis, and PLS-SEM modelling.

The findings indicate that the level of advancement in social cost management is significantly associated with the economic-organisational, environmental, and socio-health areas. The environmental area, represented primarily by the monitoring of environmental indicators, proved to be of particular importance and was the variable most strongly and positively associated with the level of management advancement in the analysed model.

The dissertation contributes to management and quality sciences by conceptualising the social costs of renewable energy as a multidimensional managerial problem and by developing a model for managing these costs at the level of renewable energy enterprises.

ZAŁĄCZNIKI

Załącznik 1. Kwestionariusz badawczy dla przedsiębiorstw z sektora OZE

Załącznik 2. Kwestionariusz badawczy dotyczący opinii społeczeństwa na temat kosztów społecznych energetyki odnawialnej

Załącznik 3. Eksploracja danych

Załącznik 1.

Kwestionariusz badawczy dla przedsiębiorstw z sektora OZE

Badanie ma na celu ocenę poziomu odnawialnych źródeł energii (OZE) w zakresie kosztów społecznych ponoszonych wpływu tych kosztów na działalność biznesową oraz metod zarządzania nimi. Problem kosztów społecznych jest analizowany wszechstronnie – prosimy o cierpliwe udzielenie odpowiedzi na wszystkie pytania, co umożliwi przeprowadzenie kompleksowej analizy w pracy doktorskiej.

Część I. Informacje ogólne o przedsiębiorstwie

1. Jaki rodzaj energii odnawialnej Państwa przedsiębiorstwo produkuje?

- ☐ Energetyka wiatrowa ☐ Fotowoltaika ☐ Biomasa ☐ Energia wodna ☐ Biogaz
☐ Energia geotermalna ☐ Kolektory słoneczne

2. Od ilu lat przedsiębiorstwo działa w branży OZE?

- ☐ Mniej niż 2 lata ☐ 2-5 lat ☐ 6-10 lat ☐ Ponad 10 lat

3. Gdzie zlokalizowane są Państwa instalacje?

- ☐ Województwo Kujawsko-Pomorskie - *proszę podać powiat:* _____
☐ Inne województwo w Polsce (*jakie?*): _____
☐ Poza Polską (*kraj*): _____

4. Jaka jest łączna moc zainstalowana Państwa instalacji (w MW)?

- ☐ < 1 MW ☐ 1-5 MW ☐ 6-10 MW ☐ Ponad 10 MW

5. Ile osób zatrudnia Państwa przedsiębiorstwo?

- ☐ 1-10 ☐ 11-50 ☐ 51-250 ☐ Powyżej 250

6. Proszę podać wskaźnik LCOE dla Państwa elektrowni

7. Stanowisko osoby udzielającej odpowiedzi:

Właściciel / Prezes / Dyrektor / Kierownik / Specjalista ds. zrównoważonego rozwoju / Specjalista ds. ESG

Część II. Świadomość i zarządzanie kosztami społecznymi

***Koszty społeczne** to ogół negatywnych konsekwencji ekonomicznych, środowiskowych i społecznych wynikających z działalności gospodarczej, które ponoszone są nie tylko przez przedsiębiorstwa, ale również przez społeczeństwo jako całość. Obejmują one zarówno **koszty prywatne** (bezpośrednie wydatki ponoszone przez przedsiębiorstwa i konsumentów), jak i **koszty zewnętrzne** (negatywne efekty uboczne, które nie są uwzględniane w decyzjach rynkowych, lecz wpływają na dobrostan społeczny). **Zarządzanie kosztami społecznymi** przez przedsiębiorstwa OZE oraz politykę publiczną polega na minimalizacji negatywnych skutków poprzez działania kompensacyjne, dialog społeczny, edukację oraz wdrażanie innowacyjnych technologii zmniejszających wpływ na otoczenie.*

8. Czy Państwa przedsiębiorstwo podejmuje działania mające na celu minimalizację kosztów społecznych swojej działalności?

1. Zdecydowanie tak, 2. Tak, 3. Trudno powiedzieć, 4. Nie, 5. Zdecydowanie nie

9. W jakim zakresie Państwa przedsiębiorstwo uwzględnia potencjalne koszty społeczne (np. wpływ na społeczność lokalną, zatrudnienie, zdrowie publiczne) przy planowaniu nowych inwestycji?

☐ W ogóle nie uwzględniamy kosztów społecznych

☐ Sporadycznie uwzględniamy wybrane aspekty społeczne w ocenie inwestycji

☐ Uwzględniamy koszty społeczne w sposób ogólny, bez formalnych procedur

☐ Analiza kosztów społecznych stanowi stały element planowania inwestycji

☐ Posiadamy jasno określone procedury i narzędzia do oceny kosztów społecznych w każdej inwestycji

10. Jakie są główne bariery w zarządzaniu kosztami społecznymi w Państwa przedsiębiorstwie? (można zaznaczyć więcej niż jedną odpowiedź)

☐ Brak środków finansowych

☐ Brak regulacji prawnych wspierających minimalizację kosztów społecznych

☐ Problemy z akceptacją społeczną

☐ Brak wiedzy i narzędzi do mierzenia kosztów społecznych

☐ Inne (jakie?) _____

Część III. Społeczno-zdrowotne aspekty kosztów społecznych

1. W jakim stopniu Państwa przedsiębiorstwo analizuje wpływ swojej działalności na zdrowie i dobrostan lokalnych społeczności?

- 1- Zdecydowanie w dużym stopniu 2. W dużym stopniu, 3. Trudno powiedzieć,
4. W małym stopniu, 5. Zdecydowanie w małym stopniu
- 2. Które czynniki zdrowotne związane z funkcjonowaniem instalacji OZE są brane pod uwagę w Państwa przedsiębiorstwie?** (można zaznaczyć więcej niż jedną odpowiedź)
- ☐ Hałas generowany przez instalacje OZE (np. turbiny wiatrowe, biogazownie)
 - ☐ Jakość powietrza w pobliżu instalacji (np. emisje z biomasy, pyły, zapachy z biogazowni)
 - ☐ Efekty migotania światła/cienia (cienie turbin wiatrowych)
 - ☐ Stres i dyskomfort mieszkańców związany z bliskością inwestycji OZE
 - ☐ Ograniczenie dostępu do terenów rekreacyjnych i zielonych obszarów
 - ☐ Nie uwzględniamy czynników zdrowotnych
- 3. Czy Państwa przedsiębiorstwo uwzględnia potencjalne skutki zdrowotne (np. wpływ na jakość powietrza, hałas, oddziaływanie na otoczenie) przy planowaniu nowych inwestycji w odnawialne źródła energii (OZE)?**
- ☐ Nie uwzględniamy aspektów zdrowotnych
 - ☐ Uwzględniamy je jedynie w przypadkach wymaganych przepisami prawa
 - ☐ Częściowo analizujemy wpływ na zdrowie, ale bez formalnych procedur
 - ☐ Aspekty zdrowotne są częścią standardowej oceny inwestycji OZE
 - ☐ Posiadamy własne procedury lub narzędzia do systematycznej oceny wpływu inwestycji OZE na zdrowie ludzi
- 4. Do jakich celów wykorzystywano teren, na którym obecnie znajduje się Państwa instalacja OZE, przed jej powstaniem?** (można zaznaczyć więcej niż jedną odpowiedź)
- ☐ Rolnictwo
 - ☐ Leśnictwo
 - ☐ Przemysł i infrastruktura
 - ☐ Turystyka i rekreacja
 - ☐ Obszary mieszkalne lub zurbanizowane
 - ☐ Tereny zdegradowane lub nieużytki
 - ☐ Infrastruktura transportowa
 - ☐ Inne (proszę podać jakie?) _____
- 5. Czy przedsiębiorstwo przeprowadziło analizę kosztów alternatywnych, takich jak utrata potencjalnych dochodów z innych form zagospodarowania terenu? Jeśli tak, ile około wyniosły dla Państwa instalacji?**

☐ Tak, koszty alternatywne oszacowano na około ☐ Nie

6. Czy planują Państwo jakiekolwiek działania kompensacyjne lub rekultywacyjne po zakończeniu eksploatacji instalacji? Jeśli tak i znają Państwo przybliżony możliwy koszt takich działań, to proszę podać.

☐ Tak, szacunkowy koszt wynosi ☐ Nie

7. Ile wynosi minimalna odległość Państwa elektrowni od zabudowań mieszkalnych?

☐ < 100 m

☐ 100 – 300 m

☐ 300 – 500 m

☐ 500 – 1 000 m

☐ 1 000 – 2 000 m

☐ > 2 000 m (np. duże farmy OZE lokalizowane w odległości minimalizującej wpływ na mieszkańców)

☐ Instalacje zintegrowane z infrastrukturą miejską

☐ Instalacje w obrębie zabudowań (np. dachy budynków)

☐ Nie wiem / brak dokładnych danych

8. Jeżeli kiedykolwiek koszt społeczny (np. sprzeciw społeczności) znacząco wpłynął na Państwa projekt, to proszę zaznaczyć w jakiej formie, jak często:

Forma reakcji	Czy wystąpiło?	Jak często?
Opóźnienie		
Zmiana lokalizacji		
Rezygnacja		
Zmiana technologii		
Straty finansowe		

9. Jakie działania kompensacyjne podejmuje Państwa przedsiębiorstwo w celu minimalizacji wpływu na zdrowie i życie społeczności? (można zaznaczyć więcej niż jedną odpowiedź)

- Działania ograniczające negatywny wpływ inwestycji OZE na zdrowie mieszkańców

☐ Stosowanie technologii redukujących hałas (np. izolacja akustyczna, cichsze turbiny wiatrowe)

☐ Minimalizacja efektu migotania światła (np. odpowiednie ustawienie paneli fotowoltaicznych)

☐ Monitoring jakości powietrza i emisji związanych z eksploatacją instalacji

☐ Akcje informacyjne wyjaśniające rzeczywisty wpływ na zdrowie

- Działania związane z komunikacją i relacjami społecznymi

- ☐ Konsultacje społeczne przed rozpoczęciem inwestycji
- ☐ Tworzenie lokalnych grup doradczych składających się z mieszkańców i interesariuszy
- ☐ Zatrudnianie lokalnych pracowników w fazie budowy i eksploatacji instalacji OZE
- ☐ Programy społeczne dla mieszkańców
- ☐ Przejrzysta polityka informacyjna (udostępnianie raportów, wyników badań o wpływie na środowisko i ludzi)

- Działania technologiczne i operacyjne

- ☐ Wykorzystanie nowoczesnych technologii, które zmniejszają negatywny wpływ na otoczenie
- ☐ Optymalizacja procesów budowy i eksploatacji w celu zmniejszenia emisji CO₂ i hałasu
- ☐ Recykling zużytych komponentów OZE
- ☐ Zastosowanie nowoczesnych metod magazynowania energii, aby zmniejszyć wahania w dostawie prądu

- Działania związane z edukacją i promocją OZE

- ☐ Prowadzenie warsztatów edukacyjnych dla lokalnej społeczności na temat korzyści OZE
- ☐ Kampanie informacyjne na temat mitów i faktów dotyczących energetyki odnawialnej
- ☐ Organizowanie dni otwartych w elektrowniach OZE dla mieszkańców i uczniów
- ☐ Współpraca z uczelniami i ośrodkami badawczymi w celu prowadzenia badań nad wpływem OZE

-
- ☐ Nie podejmujemy żadnych działań w tych zakresach

Część IV. Determinanty środowiskowe kosztu społecznego

1. Które z poniższych elementów strategii zrównoważonego rozwoju występują w Państwa przedsiębiorstwie? (można zaznaczyć więcej niż jedną odpowiedź)

- ☐ Posiadamy formalną strategię zrównoważonego rozwoju firmy
- ☐ Posiadamy certyfikat środowiskowy (np. ISO 14001 lub podobny)
- ☐ Mamy wyodrębniony dział/osobę ds. zrównoważonego rozwoju w strukturze firmy
- ☐ Posiadamy strategię CSR dotyczącą inwestycji w OZE (formalną lub nieformalną)
- ☐ Realizujemy raporty środowiskowe lub raporty ESG
- ☐ Żaden z powyższych elementów nie został wdrożony

2. Jakie wskaźniki środowiskowe są monitorowane w Państwa przedsiębiorstwie? Proszę o podanie możliwych wartości. (można zaznaczyć więcej niż jedną odpowiedź)

- ☐ Emisje CO₂/ślad węglowy:
- ☐ Wskaźnik efektywności środowiskowej (EPI):
- ☐ Wskaźniki recyklingu i gospodarki odpadami (np. procent materiałów poddanych recyklingowi, ilość odpadów na jednostkę produkcji)
- ☐ Zużycie surowców naturalnych (np. oszczędność wody, zużycie materiałów odnawialnych i nieodnawialnych)
- ☐ Wpływ na jakość powietrza i środowisko (np. emisje pyłów, zanieczyszczenia gleby i wód)
- ☐ Ślad wodny (np. zużycie wody na jednostkę produkcji, metody ograniczania strat wody)
- ☐ Wskaźniki bioróżnorodności (np. wpływ na lokalne ekosystemy, nasadzenia kompensacyjne, działania na rzecz ochrony gatunków)
- ☐ Inne (proszę podać jakie?) _____

3. W jakim stopniu przedsiębiorstwo bierze pod uwagę aspekty środowiskowe przy planowaniu nowych inwestycji OZE?

- 1- Zdecydowanie w dużym stopniu 2. W dużym stopniu, 3. Trudno powiedzieć,
4. W małym stopniu, 5. Zdecydowanie w małym stopniu

4. Czy przeprowadzono analizy wpływu instalacji na krajobraz? Jeśli tak, to jaki jest szacowany koszt takiej analizy?

- ☐ Tak, koszt wynosi ☐ Nie

5. Jakie działania podejmowane są w celu minimalizacji wpływu na środowisko naturalne? (można zaznaczyć więcej niż jedną odpowiedź)

- ☐ Optymalizacja procesów technologicznych (np. wykorzystanie bardziej efektywnych turbin wiatrowych, nowoczesnych paneli PV o wyższej sprawności)
- ☐ Redukcja emisji gazów cieplarnianych (np. stosowanie technologii niskoemisyjnych w produkcji, ograniczenie emisji CO₂ w cyklu życia produktów)
- ☐ Zwiększenie efektywności energetycznej instalacji (np. modernizacja urządzeń, poprawa sprawności konwersji energii)
- ☐ Wykorzystanie materiałów o niskim śladzie węglowym (np. komponenty pochodzące z recyklingu, produkcja paneli PV z ograniczoną emisją CO₂)
- ☐ Minimalizacja oddziaływania na krajobraz i ekosystemy (np. wybór lokalizacji zgodnej z zasadami ochrony przyrody, rekultywacja terenów)
- ☐ Zarządzanie odpadami i recykling (np. recykling zużytych paneli PV i turbin wiatrowych, redukcja ilości odpadów poprodukcyjnych)
- ☐ Ochrona zasobów wodnych (np. optymalizacja zużycia wody w procesach produkcyjnych, technologie ograniczające zanieczyszczenia wód)

- ☐ Stosowanie magazynowania energii w celu stabilizacji dostaw (np. systemy bateryjne, technologie magazynowania wodoru)
- ☐ Minimalizacja hałasu i wpływu na lokalne społeczności (np. ciche turbiny wiatrowe, izolacja akustyczna instalacji)
- ☐ Wdrażanie działań kompensacyjnych (np. nasadzenia kompensacyjne, ochrona terenów przyrodniczych)
- ☐ Współpraca z lokalnymi społecznościami na rzecz ochrony środowiska (np. edukacja ekologiczna, programy partnerskie)
- ☐ Certyfikacja środowiskowa i przestrzeganie norm (np. ISO 14001, EMAS, monitorowanie śladu węglowego)
- ☐ Inwestycje w innowacyjne technologie OZE o mniejszym wpływie na środowisko (np. panele fotowoltaiczne nowej generacji, turbiny pionowej osi obrotu)
- ☐ Projektowanie farm OZE tak, aby minimalizować wpływ na krajobraz (np. lokalizacja w miejscach mniej widocznych)
- ☐ Nie podejmujemy żadnych działań w tym zakresie

6. Czy wpływ inwestycji OZE na zdrowie, środowisko i społeczność lokalną jest uwzględniony w polityce zrównoważonego rozwoju Państwa firmy?

Skala:

- ☐ Nie uwzględniamy ☐ Tylko w niektórych obszarach ☐ Tak, ale nie w sposób systemowy
- ☐ Tak, jako element stałej strategii ☐ Tak, w oparciu o wyznaczone cele i wskaźniki ESG

Część V. Determinanty ekonomiczne kosztu społecznego

1. Jaki odsetek budżetu operacyjnego przedsiębiorstwa (średniorocznie w latach 2021–2024) przeznaczany był na działania związane z minimalizacją kosztów społecznych?

- ☐ <1%
 - ☐ 1-3%
 - ☐ 4-5%
 - ☐ 6-10%
 - ☐ 11-20%
 - ☐ >20%
 - ☐ Nie posiadamy wyodrębnionego budżetu, ale ponosimy takie koszty
 - ☐ Nie posiadamy wyodrębnionego budżetu i nie ponosimy takich kosztów
- 2. Jak planowane są wydatki na ograniczanie kosztów społecznych w najbliższych 3 latach (2025–2027)?**
- ☐ **Znaczne zwiększenie** nakładów (wzrost o >20% w porównaniu do obecnego poziomu)
 - ☐ **Umiarkowany wzrost** nakładów (wzrost o ok. 5–20%)
 - ☐ Utrzymanie wydatków na **obecnym poziomie**

- ☐ **Redukcja** wydatków (spadek o ok. 5–20%)
 - ☐ Znaczne **ograniczenie** budżetu (spadek o >20%)
 - ☐ Nie mamy określonej strategii / trudno powiedzieć
3. **Jakie są główne źródła finansowania działań związanych z minimalizacją kosztów społecznych?** (można zaznaczyć więcej niż jedną odpowiedź)
- ☐ Środki własne przedsiębiorstwa
 - ☐ Dotacje unijne
 - ☐ Programy rządowe i samorządowe
 - ☐ Wsparcie ze strony organizacji pozarządowych
 - ☐ Inwestorzy prywatni lub fundusze ESG
 - ☐ Inne (jakie?) _____
 - ☐ Nie finansujemy takich działań
4. **Które czynniki ekonomiczne Państwa przedsiębiorstwo uwzględnia przy analizie i zarządzaniu kosztami społecznymi związanymi z działalnością OZE?** (można zaznaczyć więcej niż jedną odpowiedź)
- ☐ **Koszty rekompensat dla społeczności lokalnych** – np. inwestycje w infrastrukturę, programy wsparcia
 - ☐ **Wpływ cen energii odnawialnej na gospodarstwa domowe i przedsiębiorstwa** – analiza korzyści i obciążeń dla odbiorców
 - ☐ **Koszty związane z zatrudnieniem lokalnej siły roboczej** – wpływ na rynek pracy i wynagrodzenia
 - ☐ **Wydatki na edukację i promocję akceptacji społecznej** – działania informacyjne i kampanie edukacyjne
 - ☐ **Koszty wynikające z opóźnień i protestów społecznych** – wpływ niezadowolenia społecznego na realizację inwestycji
 - ☐ **Efektywność wykorzystania terenów pod inwestycje** – analiza kosztów związanych z przekształceniem gruntów
 - ☐ **Koszty związane z regulacjami prawnymi i wymaganiami administracyjnymi** – opłaty, licencje, obowiązki środowiskowe
 - ☐ **Wpływ mechanizmów wsparcia (dotacje, ulgi, aukcje OZE) na koszt społeczny**
 - ☐ **Koszty technologii zmniejszających negatywne oddziaływanie na otoczenie** – np. redukcja hałasu, ochrona krajobrazu
 - ☐ **Koszty kompensacji środowiskowych** – np. nasadzenia drzew, działania na rzecz ochrony przyrody
 - ☐ **Brak analizy kosztów społecznych w przedsiębiorstwie**
 - ☐ **Inne (proszę podać jakie?):** _____
5. **W jakim stopniu działania podejmowane w celu ograniczania kosztów społecznych mają wpływ na wyniki finansowe przedsiębiorstwa?**

1 - Zdecydowanie w dużym stopniu 2. W dużym stopniu, 3. Trudno powiedzieć,
4. W małym stopniu, 5. Zdecydowanie w małym stopniu

6. W jakim stopniu obecny system regulacyjny w Polsce (np. dotacje, ulgi podatkowe, obowiązki środowiskowe) sprzyja redukcji kosztów społecznych OZE?

1 - Zdecydowanie w dużym stopniu 2. W dużym stopniu, 3. Trudno powiedzieć,
4. W małym stopniu, 5. Zdecydowanie w małym stopniu

7. W jaki sposób ceny energii odnawialnej wpływają na postrzeganie kosztów społecznych przez Państwa przedsiębiorstwo? (można zaznaczyć więcej niż jedną odpowiedź)

☐ Wzrost cen zwiększa naciski społeczne na poprawę warunków inwestycji

☐ Niższe ceny energii z OZE poprawiają akceptację społeczną projektów OZE

☐ Wysokie koszty produkcji energii ograniczają możliwości inwestowania w kompensację społeczną

☐ Brak korelacji między cenami energii a kosztami społecznymi

8. W jakim stopniu inwestowanie w technologie ograniczające wpływ na społeczność jest opłacalne z perspektywy ekonomicznej?

1 - Zdecydowanie w dużym stopniu 2. W dużym stopniu, 3. Trudno powiedzieć,
4. W małym stopniu, 5. Zdecydowanie w małym stopniu

9. Jak często przedsiębiorstwo prowadzi analizy ekonomiczne dotyczące kosztów społecznych swojej działalności?
1 – regularnie (np. raz na kwartał, raz na rok), 2 – okazjonalnie, 3 – nie wiem/trudno powiedzieć, 4 – bardzo rzadko (np. raz na kilka lat), 5 – nigdy

10. W jakim stopniu w ocenie Państwa przedsiębiorstwa wzrost kosztów surowców i inflacja wpływają na koszty społeczne działalności OZE?

1 - Zdecydowanie w dużym stopniu 2. W dużym stopniu, 3. Trudno powiedzieć,
4. W małym stopniu, 5. Zdecydowanie w małym stopniu

11. Jakie działania kompensacyjne związane z rekompensatą finansową kosztów społecznych podejmuje Państwa przedsiębiorstwo? (można zaznaczyć więcej niż jedną odpowiedź)

☐ Oferowanie rekompensat finansowych dla mieszkańców dotkniętych inwestycją

☐ Inwestycje w infrastrukturę lokalną (np. budowa dróg, rewitalizacja terenów)

☐ Wsparcie lokalnych inicjatyw i funduszy społecznych

☐ Obniżone taryfy na energię elektryczną dla społeczności mieszkających w pobliżu farm OZE

☐ Dotacje i dofinansowania dla gospodarstw domowych na instalacje OZE

☐ Zapewnienie korzyści ekonomicznych dla społeczności lokalnej (np. udziały w zyskach)

- ☐ Nie podejmujemy żadnych działań w tym zakresie

Część VI. Zakończenie i perspektywy

1. **Które z czynników kosztu społecznego mają największy wpływ na działalność przedsiębiorstwa?** (można zaznaczyć więcej niż jedną odpowiedź)

- ☐ Działania związane z komunikacją i relacjami społecznymi
☐ Działania związane z rekompensatą kosztów społecznych
☐ Działania związane z ochroną środowiska i krajobrazu
☐ Działania technologiczne i operacyjne
☐ Działania związane z edukacją i promocją OZE
☐ Inne (jakie?) _____

2. **Czy Państwa przedsiębiorstwo współpracuje z administracją publiczną w zakresie minimalizacji kosztów społecznych?**

- ☐ Tak ☐ Nie

Jeżeli wybrano odpowiedź tak, proszę wybrać z poniższych odpowiedzi formy współpracy (można zaznaczyć więcej niż jedną odpowiedź):

☐ **Z samorządami lokalnymi** – np. udział we wspólnym planowaniu energetycznym gminy, konsultacje z władzami lokalnymi dot. lokalizacji inwestycji, współfinansowanie lokalnej infrastruktury, ustalanie ulg dla mieszkańców, tworzenie spółdzielni energetycznej;

☐ **Z instytucjami rządowymi/UE** – np. aplikowanie o fundusze UE lub rządowe, współpraca z Ministerstwem Klimatu przy programach, dostosowanie działań do krajowych i unijnych norm środowiskowych;

☐ **W zakresie regulacji** – np. udział w konsultacjach nad nowymi przepisami dot. OZE, zgłaszanie uwag do zmian prawnych, monitorowanie zmian prawa i dostosowywanie strategii;

☐ **Z sektorem naukowo-edukacyjnym** – np. partnerstwa z uczelniami lub instytutami (badania nad nowymi technologiami OZE, projekty R&D), organizowanie staży/praktyk, wspólne inicjatywy edukacyjne dla społeczności.

3. **W jakim stopniu Państwa zdaniem większa transparentność (jawność informacji) na temat ponoszonych przez przedsiębiorstwo kosztów społecznych przyczyniłaby się do większej akceptacji społecznej inwestycji w OZE?**

1 - Zdecydowanie w dużym stopniu 2. W dużym stopniu, 3. Trudno powiedzieć, 4. W małym stopniu, 5. Zdecydowanie w małym stopniu

4. **Jakie zmiany prawne lub systemowe mogłyby wspierać zarządzanie kosztami społecznymi w OZE?**
(Proszę podać swoją opinię)

5. W jakim zakresie Państwa przedsiębiorstwo wykorzystuje narzędzia cyfrowe do monitorowania swojego wpływu na społeczność lokalną?

- ☐ W ogóle nie korzystamy z takich narzędzi
- ☐ Korzystamy incydentalnie – w wybranych sytuacjach (np. jednorazowe badania, konsultacje, ankiety)
- ☐ Korzystamy okazjonalnie – w odpowiedzi na konkretne wydarzenia lub potrzeby (np. inwestycje, konflikty społeczne)
- ☐ Korzystamy regularnie – w ramach standardowych działań (np. coroczne raportowanie, monitorowanie wskaźników wpływu)
- ☐ Narzędzia cyfrowe są zintegrowane z procesami zarządzania i stale wykorzystywane do oceny wpływu społecznego

6. Czy Państwa przedsiębiorstwo planuje inwestycje w technologie cyfrowe, których celem jest ograniczanie negatywnych skutków społecznych działalności (np. poprawa warunków pracy, większa przejrzystość, udział społeczności lokalnej)?

- ☐ Nie planujemy takich inwestycji
- ☐ Rozważamy takie inwestycje w perspektywie kilku lat
- ☐ Mamy konkretne plany, ale jeszcze ich nie wdrożyliśmy
- ☐ Realizujemy już pierwsze inwestycje w tym obszarze
- ☐ Posiadamy zaawansowaną strategię i regularnie inwestujemy w takie technologie

7. Czy wdrożenie cyfrowych systemów monitorowania kosztów społecznych może zwiększyć akceptację społeczną dla inwestycji OZE?

- ☐ Tak, znacznie poprawiłoby przejrzystość i komunikację z mieszkańcami
- ☐ Tak, ale tylko w niektórych obszarach (np. hałas, wpływ na wartość nieruchomości)
- ☐ Nie wiem/ trudno powiedzieć
- ☐ Nie, nie sądzę, aby miało to istotny wpływ
- ☐ Zdecydowanie nie ma to wpływu

8. Czy w przyszłości Państwa przedsiębiorstwo zamierza w większym stopniu uwzględniać koszty społeczne w swojej strategii biznesowej i decyzjach zarządczych?

- ☐ Tak, planujemy przykładać do tego większą wagę
- ☐ Nie, nie przewidujemy istotnych zmian w tym zakresie

9. Czy chcieliby Państwo otrzymać wyniki badania?

- ☐ Tak, proszę o podanie e-maila: _____
- ☐ Nie

Załącznik 2.

Kwestionariusz badawczy dotyczący opinii społeczeństwa na temat kosztów społecznych energetyki odnawialnej

Szanowni Państwo,

Niniejszy kwestionariusz ankiety ma na celu zbadanie opinii społeczeństwa na temat kosztów społecznych energetyki odnawialnej (OZE), jej wpływu na życie codzienne oraz czynników kształtujących akceptację społeczną dla tego sektora. Państwa odpowiedzi są anonimowe i zostaną wykorzystane wyłącznie do celów naukowych (dysertacja doktorska).

Dziękuję za udział w badaniu!

I. Poziom wiedzy o energetyce odnawialnej

1. Jakie źródła energii odnawialnej są Pani/Panu znane? (możesz zaznaczyć więcej niż jedną odpowiedź)

- ☐Energia słoneczna ☐Energia wiatrowa ☐Energia wodna
☐Biomasa ☐Biogaz ☐Energia geotermalna
☐Inne, proszę podać jakie
.....
☐Nie słyszałam/słyszałem o odnawialnych źródłach energii

2. W jakim stopniu Pani/Pana zdaniem energetyka odnawialna jest ważna dla przyszłości Polski?

1 – zdecydowanie w małym stopniu, 2 – w małym stopniu 3 – trudno powiedzieć,
4 – w dużym stopniu, 5 – zdecydowanie w dużym stopniu

3. Poniżej przedstawiono korzyści wynikające z rozwoju odnawialnych źródeł energii. Proszę ocenić ich znaczenie w skali od 1 do 5, gdzie:

1 – bardzo małe, 2 – małe, 3 – trudno powiedzieć, 4 – duże, 5 – bardzo duże

	1	2	3	4	5
Redukcja emisji CO ₂					
Poprawa jakości powietrza					
Zmniejszenie uzależnienia od importowanych paliw kopalnych					
Tworzenie nowych miejsc pracy					
Obniżenie kosztów energii w długim okresie					
Stabilność cen energii					
Zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego kraju					

Stymulowanie innowacji i rozwoju technologii					
Wzmacnianie gospodarki obiegu zamkniętego poprzez wykorzystanie odpadów do produkcji biogazu i biomasy					
Mniejsze negatywne skutki środowiskowe w porównaniu do paliw kopalnych					

Energia słoneczna – Wykorzystuje promieniowanie słoneczne do produkcji energii elektrycznej (panele fotowoltaiczne) lub ciepłej (kolektory słoneczne).

Energia wiatrowa – Przekształca energię kinetyczną wiatru na energię elektryczną za pomocą turbin wiatrowych.

Energia wodna – Wykorzystuje energię przepływu wody w rzekach, zbiornikach lub pływach morskich do wytwarzania prądu w elektrowniach wodnych.

Biomasa i biogaz – Polega na spalaniu materii organicznej (np. drewna, odpadów roślinnych) lub fermentacji beztlenowej odpadów organicznych w celu uzyskania energii ciepłej, elektrycznej lub paliw.

Geotermia – Wykorzystuje ciepło pochodzące z wnętrza Ziemi do produkcji energii elektrycznej lub ogrzewania budynków.

4. Które ze źródeł energii odnawialnej uważa Pani/Pan za najbardziej korzystne środowiskowo?

- ☐ Energia słoneczna ☐ Energia wiatrowa ☐ Energia wodna ☐ Biomasa i biogaz
☐ Geotermia

5. Które ze źródeł energii odnawialnej uważa Pani/Pan za najbardziej korzystne ekonomicznie?

- ☐ Energia słoneczna ☐ Energia wiatrowa ☐ Energia wodna
☐ Biomasa i biogaz ☐ Geotermia

6. Które ze źródeł energii odnawialnej uważa Pani/Pan za najbardziej korzystne dla zdrowia człowieka?

- ☐ Energia słoneczna ☐ Energia wiatrowa ☐ Energia wodna
☐ Biomasa i biogaz ☐ Geotermia

7. W jakim stopniu Pani/Pana zdaniem inwestycje w odnawialne źródła energii przyczyniają się do rozwoju regionu?

1 – w bardzo małym stopniu, 5 – w bardzo dużym stopniu

Koszty społeczne to ogół negatywnych konsekwencji ekonomicznych, środowiskowych i społecznych wynikających z działalności gospodarczej, które

ponoszone są nie tylko przez przedsiębiorstwa, ale również przez społeczeństwo jako całość. Obejmują one zarówno **koszty prywatne** (bezpośrednie wydatki ponoszone przez przedsiębiorstwa i konsumentów), jak i **koszty zewnętrzne** (negatywne efekty uboczne, które nie są uwzględniane w decyzjach rynkowych, lecz wpływają na dobrostan społeczny). **Zarządzanie kosztami społecznymi** przez przedsiębiorstwa OZE oraz politykę publiczną polega na minimalizacji negatywnych skutków poprzez działania kompensacyjne, dialog społeczny, edukację oraz wdrażanie innowacyjnych technologii zmniejszających wpływ na otoczenie.

8. Czy uważa Pani/Pan, że rozwój energetyki odnawialnej wiąże się z kosztami społecznymi?

1 – zdecydowanie nie, 2 – nie, 3 – trudno powiedzieć, 4 – tak, 5 – zdecydowanie tak

9. Poniżej przedstawiono potencjalne negatywne skutki elektrowni OZE. Proszę ocenić ich znaczenie w skali od 1 do 5:

1 – bardzo małe, 2 – małe, 3 – trudno powiedzieć, 4 – duże, 5 – bardzo duże

	1	2	3	4	5
Pogorszenie krajobrazu					
Hałas z turbin wiatrowych					
Spadek wartości nieruchomości					
Zagrożenie dla ptaków i nietoperzy					
Zaburzenie naturalnych ekosystemów wodnych i bioróżnorodności przez elektrownie wodne					
Zajmowanie terenów rolnych i jałowienie gleby					
Problematyczny recykling komponentów OZE					
Efekt migotania cienia					
Szkodliwe pyły z energii geotermalnej					
Niestabilność produkcji energii					

10. Czy w Pani/Pana ocenie przedsiębiorstwa zajmujące się OZE podejmują działania minimalizujące te negatywne skutki?

1 – zdecydowanie nie, 2 – nie, 3 – trudno powiedzieć, 4 – tak, 5 – zdecydowanie tak

11. Czy jest Pani/Pan świadoma/y działań podejmowanych przez firmy OZE w celu minimalizacji ich kosztów społecznych?

1 – zdecydowanie nie, 2 – nie, 3 – trudno powiedzieć, 4 – tak, 5 – zdecydowanie tak

12. Czy uważa Pani/Pan, że korzyści z energetyki odnawialnej przewyższają jej koszty społeczne?

1 – zdecydowanie nie, 2 – nie, 3 – trudno powiedzieć, 4 – tak, 5 – zdecydowanie tak

13. Poniżej przedstawiono działania kompensacyjne (łagodzące/naprawcze) podejmowane przez firmy OZE w celu złagodzenia potencjalnych negatywnych skutków inwestycji. Proszę ocenić ich znaczenie w skali od 1 do 5:

1 – bardzo małe, 2 – małe, 3 – trudno powiedzieć, 4 – duże, 5 – bardzo duże

	1	2	3	4	5
Inwestycje w infrastrukturę lokalną (np. remont dróg, modernizacja szkół, budowa obiektów użyteczności publicznej)					
Zniżki na energię elektryczną dla mieszkańców okolicy					
Tworzenie nowych miejsc pracy w regionie (np. zatrudnianie lokalnych pracowników)					
Wsparcie finansowe dla lokalnych inicjatyw i organizacji społecznych					
Działania na rzecz ochrony środowiska (np. sadzenie drzew, ochrona bioróżnorodności, redukcja hałasu)					
Transparentność działań firm OZE (np. regularne raportowanie wpływu inwestycji na społeczność i środowisko)					
Kampanie informacyjne i edukacyjne (np. spotkania, warsztaty, konsultacje społeczne, drzwi otwarte)					
Rekompensaty finansowe dla mieszkańców najbardziej narażonych na skutki inwestycji					
Dotacje i dofinansowania dla lokalnych gospodarstw domowych na instalacje OZE					
Zastosowanie nowoczesnych metod magazynowania energii, aby zmniejszyć wahania w dostawie prądu					

14. Czy według Pani/Pana działania firm OZE w zakresie minimalizacji kosztów społecznych wpływają na akceptację społeczną tych inwestycji?

1 – zdecydowanie nie, 2 – nie, 3 – trudno powiedzieć, 4 – tak, 5 – zdecydowanie tak

15. Czy uważa Pani/Pan, że przedsiębiorstwa OZE powinny szerzej informować społeczeństwo o podejmowanych działaniach kompensacyjnych?

1 – zdecydowanie nie, 2 – nie, 3 – trudno powiedzieć, 4 – tak, 5 – zdecydowanie tak

16. Czy według Pani/Pana przedsiębiorstwa OZE podejmują wystarczające działania kompensacyjne, aby zminimalizować swoje koszty społeczne?

1 – zdecydowanie nie, 2 – nie, 3 – trudno powiedzieć, 4 – tak, 5 – zdecydowanie tak

17. Czy w Pani/Pana okolicy znajdują się inwestycje OZE?

☐ Tak ☐ Nie ☐ Nie wiem

18. Czy w Pani/Pana okolicy zauważalne są zmiany związane z rozwojem energetyki odnawialnej?

☐ Tak ☐ Nie ☐ Nie wiem

19. Jak ocenia Pani/Pan wpływ energetyki odnawialnej w swojej okolicy na społeczność lokalną?

☐ Bardzo negatywny ☐ Negatywny ☐ Neutralny ☐ Pozytywny ☐ Bardzo pozytywny

20. Jak odebrałaby/odebrałby Pani/Pan informację, że w okolicy (do 50 km) Pani/Pana miejsca zamieszkania powstaje nowa elektrownia odnawialnych źródeł energii?

☐ Bardzo negatywnie ☐ Negatywnie ☐ Neutralnie ☐ Pozytywnie ☐ Bardzo pozytywnie

21. Czy byłaby/byłby Pani/Pan bardziej skłonna/y zaakceptować inwestycję OZE w swojej okolicy, jeśli firma podjęłaby działania kompensacyjne?

☐ Zdecydowanie tak ☐ Raczej tak ☐ Nie wiem ☐ Raczej nie ☐ Zdecydowanie nie

22. Jaką elektrownię OZE najchętniej zaakceptowałaby Pani/Pan w pobliżu swojego miejsca zamieszkania? (można wybrać kilka)

☐ Energia słoneczna ☐ Energia wiatrowa ☐ Energia wodna
☐ Biomasa i biogaz ☐ Geotermia ☐ Żadną – nie chcę żadnej elektrowni w pobliżu

Metryczka

1. Płeć:

☐ Kobieta ☐ Mężczyzna ☐ Inna ☐ Nie chcę podawać

2. Wiek:

☐ 18–24 ☐ 25–34 ☐ 35–44 ☐ 45–54 ☐ 55–64 ☐ 65+

3. **Wykształcenie:**

☐ Podstawowe ☐ Średnie ☐ Wyższe ☐ Zawodowe

4. **Miejsce**

☐ Wieś ☐ Miasto do 50 tys. mieszkańców

☐ Miasto 51–200 tys. mieszkańców

☐ Miasto powyżej 200 tys. mieszkańców

zamieszkania:

Dziękuję za udział w badaniu!

Załącznik 3.

Eksploracja danych

Stan wprowadzonej bazy danych

Niniejszą analizę eksploracyjną zbioru danych wykonano w Systemie Zautomatyzowanego Tworzenia Opisu Statystycznego - SZTOS (Hryniewicz, Milewska, 2023) w module eksploracja.

- W pierwszej części raportu została umieszczona informacja o liczbie obserwacji oraz liczbie zmiennych we wprowadzonej bazie danych.
- Aby usunąć z bazy danych a) obserwacje które nie zawierają żadnych danych, b) zmienne których liczba obserwacji jest mniejsza lub równa 1, zidentyfikowano takie przypadki. Jeśli takowe wystąpiły, zostały usunięte wraz z podaniem informacji o ich współrzędnych.
- Tej samej procedurze zostały poddane zmienne, które posiadały identyczne wartości.

Liczba obserwacji: 150

Liczba zmiennych: 49

W bazie danych nie występują OBSERWACJE, które zawierają wyłącznie braki danych. Obserwacje, które zawierały wyłącznie braki danych to: brak.

W bazie danych nie wystąpiły ZMIENNE, które zawierają wyłącznie braki danych lub 1 obserwację.

Zmienne, które zawierały wyłącznie braki danych lub 1 obserwację to: brak.

W bazie danych nie wystąpiły zmienne, które miały STAŁĄ WARIANCJĘ. Zmienne, które posiadały identyczne wartości to: brak.

Wyniki po wstępnym oczyszczeniu są zapisane w bazie danych *baza_wstępnie_oczyszczona.xlsx*

Stan braków danych w analizowanej bazie danych

- W tak przygotowanej bazie danych zidentyfikowano zmienne, które posiadają odsetek braków danych większy niż ten wyznaczony przez użytkownika, a informację podano do raportu. W bazie danych **nie wystąpiły** ZMIENNE, które zawierają ponad lub równo: 5% braków danych. Zmienne, które zawierają równo lub ponad 5% braków danych, to: brak.
- Następnie zidentyfikowano obserwacje, które zawierają ponad połowę braków danych i podano ich współrzędne. Taki stan rzeczy może wynikać np. z porzucenia badania w trakcie jego trwania. Może to powodować ograniczoną przydatność takich obserwacji w analizach. W bazie danych **nie wystąpiły** OBSERWACJE, które zawierają ponad połowę braków danych. Numery wierszy, które zawierają ponad połowę braków danych: brak.

Wizualną prezentację braków danych stanowi Rysunek nr 1.

Rysunek nr 1

Graficzna prezentacja braków danych występujących w zakresie zmiennych; Działania społeczne edukacyjne komunikacyjne i kompensacyjne, Działania na rzecz środowiska, Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznym, Monitoring wskaźników

środowiskowych, Finansowanie i koszty rekompensat, Ryzyka zdrowotno przestrzenne .



Nota: Wykres przedstawia następujące zmienne: Zm1 - Działania społeczne edukacyjne komunikacyjne i kompensacyjne, Zm2 - Działania na rzecz środowiska, Zm3 - Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznym, Zm4 - Monitoring wskaźników środowiskowych, Zm5 - Finansowanie i koszty rekompensat, Zm6 - Ryzyka zdrowotno przestrzenne.[1] “”

Statystyki opisowe i testy normalności analizowanych zmiennych

Analiza normalności rozkładu zmiennych: Działania społeczne edukacyjne komunikacyjne i kompensacyjne, Działania na rzecz środowiska, Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznym, Monitoring wskaźników środowiskowych, Finansowanie i koszty rekompensat, Ryzyka zdrowotno przestrzenne.

W celu weryfikacji założeń dotyczących normalności rozkładów wyników analizowanych zmiennych przeprowadzono dwa testy statystyczne, był to test Shapiro - Wilka (stosowany dla małych próbek badawczych $N < 50$ lub $N < 100$) (Royston, 1982) oraz test Kolmogorova Smirnova z poprawką Liliefors'a (stosowany dla dużych prób $N > 50$ lub $N > 100$) (Dallal i Wilkinson, 1986). Zdecydowano się na taką analizę ze względu na brak jednoznacznych wytycznych dotyczących stosowania obu testów przy danej liczebności badanych obserwacji.

W celu weryfikacji normalności rozkładów zmiennych: Działania społeczne edukacyjne komunikacyjne i kompensacyjne, Działania na rzecz środowiska, Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznym, Monitoring wskaźników środowiskowych, Finansowanie i koszty rekompensat, Ryzyka zdrowotno przestrzenne, przeprowadzono serię analiz weryfikujących podobieństwo rozkładu z próby do teoretycznego rozkładu normalnego testem Shapiro-Wilka (Royston, 1982). Analiza wykazała, że:

- Rozkład wyników zmiennej Działania społeczne edukacyjne komunikacyjne i kompensacyjne był istotnie różny od rozkładu normalnego $SW = 0.84$; $p < 0.001$
- Rozkład wyników zmiennej Działania na rzecz środowiska był istotnie różny od rozkładu normalnego $SW = 0.88$; $p < 0.001$
- Rozkład wyników zmiennej Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznym był istotnie różny od rozkładu normalnego $SW = 0.96$; $p < 0.001$
- Rozkład wyników zmiennej Monitoring wskaźników środowiskowych był istotnie różny od rozkładu normalnego $SW = 0.70$; $p < 0.001$

- Rozkład wyników zmiennej Finansowanie i koszty rekompensat był istotnie różny od rozkładu normalnego $SW = 0.93$; $p < 0.001$
- Rozkład wyników zmiennej Ryzyka zdrowotno przestrzenne był istotnie różny od rozkładu normalnego $SW = 0.93$; $p < 0.001$

W celu dodatkowej weryfikacji normalności rozkładów zmiennych: Działania społeczne edukacyjne komunikacyjne i kompensacyjne, Działania na rzecz środowiska, Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznym, Monitoring wskaźników środowiskowych, Finansowanie i koszty rekompensat, Ryzyka zdrowotno przestrzenne, przeprowadzono serię analiz weryfikujących podobieństwo rozkładu z próby do teoretycznego rozkładu normalnego testem Kolmogorova-Smirnova z poprawką Lilieforce'a (Dallal i Wilkinson, 1986). Analiza wykazała, że:

- Rozkład wyników zmiennej Działania społeczne edukacyjne komunikacyjne i kompensacyjne był istotnie różny od rozkładu normalnego $KS = 0.19$; $p < 0.001$
- Rozkład wyników zmiennej Działania na rzecz środowiska był istotnie różny od rozkładu normalnego $KS = 0.18$; $p < 0.001$
- Rozkład wyników zmiennej Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznym był istotnie różny od rozkładu normalnego $KS = 0.10$; $p = 0.003$
- Rozkład wyników zmiennej Monitoring wskaźników środowiskowych był istotnie różny od rozkładu normalnego $KS = 0.21$; $p < 0.001$
- Rozkład wyników zmiennej Finansowanie i koszty rekompensat był istotnie różny od rozkładu normalnego $KS = 0.12$; $p < 0.001$
- Rozkład wyników zmiennej Ryzyka zdrowotno przestrzenne był istotnie różny od rozkładu normalnego $KS = 0.09$; $p = 0.007$

Wyniki analiz przedstawia Tabela nr 1.

Tabela nr 1

Wyniki analizy rozkładu normalności i statystyk opisowych dla zmiennych: Działania społeczne edukacyjne komunikacyjne i kompensacyjne, Działania na rzecz środowiska, Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznym, Monitoring wskaźników środowiskowych, Finansowanie i koszty rekompensat, Ryzyka zdrowotno przestrzenne.

										Miary symetrii		test	
										rozkładu	test KS	SW	
Zmien	N	Min	Max	M	S	SE	Me	Sk	Kurtoza	K	p	SW	p
na					D			ośn		S			
Dział	150	-	15.08	-	9	0.78	-	0.4	-1.40	0	<	0.84	<
nia		12.08		0.00	.		3.03	9		.	0.001		0
społecz					6					1			.
ne					1					9			0
edukac													0
yjne													1
komun													

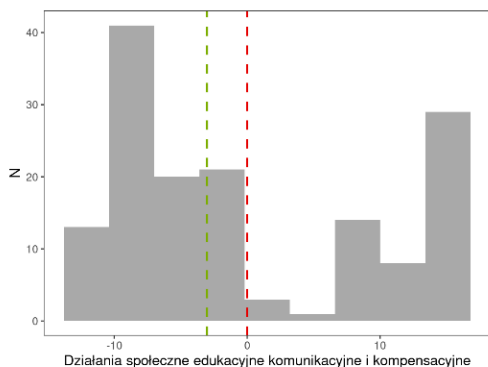
										Miary symetrii rozkładu		test KS	test SW
Zmienne	<i>N</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>M</i>	<i>S</i> <i>D</i>	<i>SE</i>	<i>Me</i>	Sk ośn ość	Kurtoza	<i>K</i> <i>S</i>	<i>p</i>	<i>SW</i>	<i>p</i>
ikacyjne i kompensacyjne													
Działania na rzecz środowiska	150	- 13.13	14.86	0.00	9 . 2 6	0.76	- 2.95	0.3 6	-1.45	0 . 1 8	< 0.001	0.88	< 0 . 0 0 1
Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznym	150	- 10.00	13.11	0.00	6 . 4 1	0.52	- 0.38	0.1 3	-1.09	0 . 1 0	0.003	0.96	< 0 . 0 0 1
Monitoring wskaźników środow	150	-3.91	19.09	- 0.00	4 . 3 3	0.35	- 1.05	2.6 0	7.54	0 . 2 1	< 0.001	0.70	< 0 . 0

Miary symetrii rozkładu										test KS		test SW	
Zmien na	<i>N</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>M</i>	<i>S</i> <i>D</i>	<i>SE</i>	<i>Me</i>	Sk ośn ość	Kurtoza	<i>K</i> <i>S</i>	<i>p</i>	<i>SW</i>	<i>p</i>
iskowy ch													0 1
Finans owanie i koszty rekomp ensat	150	- 12.20	10.82	0.00	7 . 0 8	0.58	0.25	- 0.0 8	-1.34	0 . 1 2	< 0.001	0.93	< 0 . 0 0 1
Ryzyka zdrowo tno przestr zenne	150	-9.47	9.17	0.00	5 . 8 4	0.48	- 0.56	0.0 6	-1.31	0 . 0 9	0.007	0.93	< 0 . 0 0 1

Nota: *N* = Liczebność; *Min* = Wartość minimalna; *Max* = Wartość maksymalna; *M* = Średnia arytmetyczna; *SD* = Odchylenie standardowe; *SE* = Błąd standardowy średniej; *Me* = Mediana; *p* = Istotność statystyczna. Wyniki testu KS (Kolmogorov - Smirnov) i SW (Shapiro - Wilk), których $p < 0.05$ dla danej zmiennej, wskazują na istotną różnicę między rozkładem wyników w próbie a teoretycznym rozkładem normalnym.

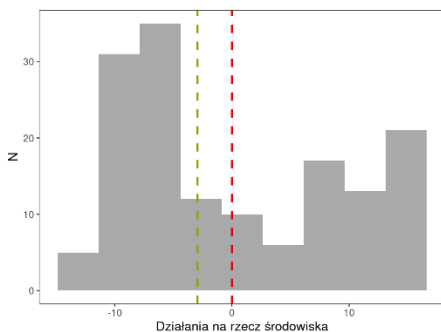
Histogramy

Aby dokonać wizualnej oceny rozkładu zmiennych wykonano histogramy przedstawione na Rysunkach 1-6. Kolor czerwony przedstawia Średnią; Kolor zielony przedstawia Medianę.



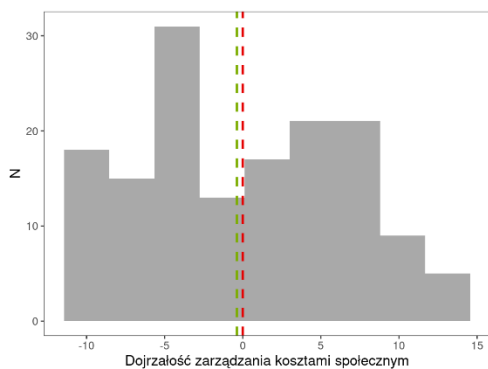
Rysunek nr 1

Rozkład wartości zmiennej Działania społeczne edukacyjne komunikacyjne i kompensacyjne



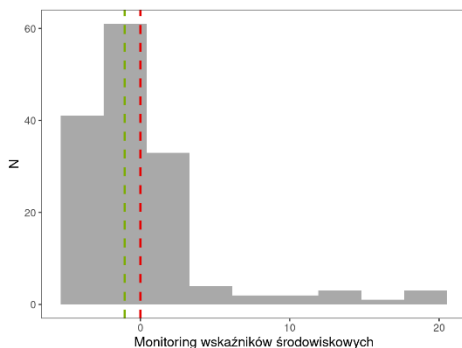
Rysunek nr 2

Rozkład wartości zmiennej Działania na rzecz środowiska



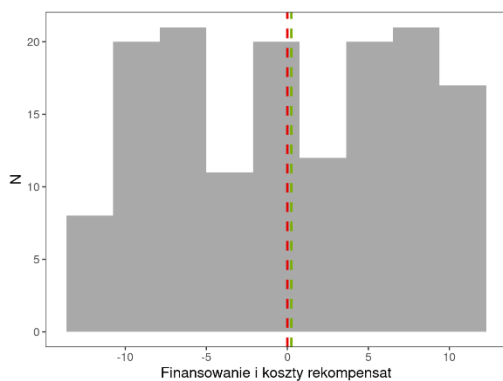
Rysunek nr 3

Rozkład wartości zmiennej Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznym
Nota:



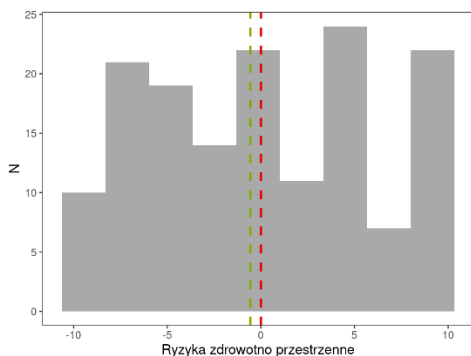
Rysunek nr 4

Rozkład wartości zmiennej Monitoring wskaźników środowiskowych



Rysunek nr 5

Rozkład wartości zmiennej Finansowanie i koszty rekompensat



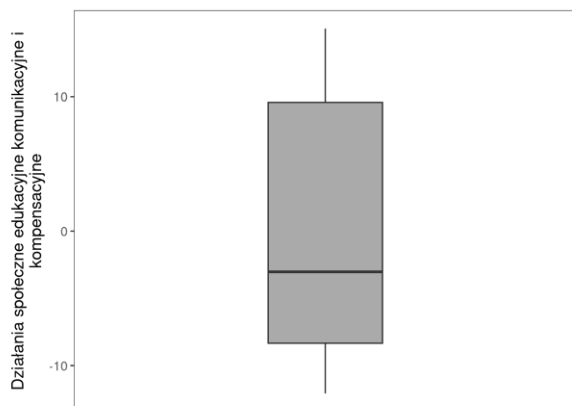
Rysunek nr 6

Rozkład wartości zmiennej Ryzyka zdrowotno przestrzenne

Nota: Kolor czerwony przedstawia Średnią; Kolor zielony przedstawia Medianę.

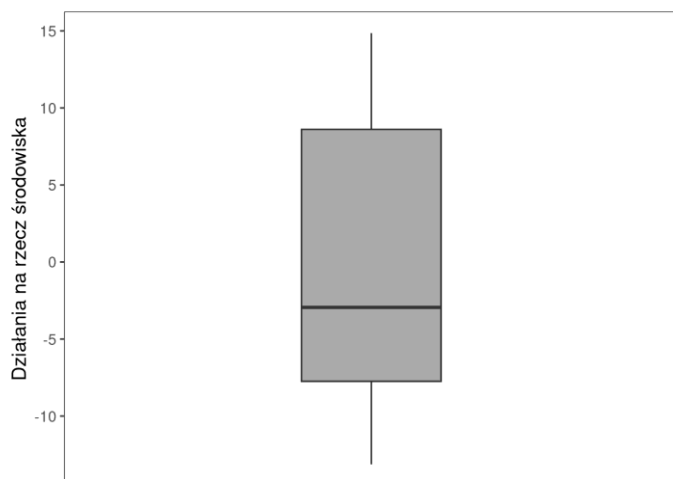
Box-ploty

Aby dokonać wizualnej oceny rozkładu zmiennych wykonano box-ploty przedstawione na Rysunkach 1-6. Pozioma linia przedstawia Medianę. Pudełko prezentuje Rozstęp międzykwartyłowy IQR. Wąsy sięgają do wartości powyżej/poniżej $1.5 \cdot \text{IQR}$. Kropki poza wąsami oznaczają wartości powyżej/poniżej $1.5 \cdot \text{IQR}$.



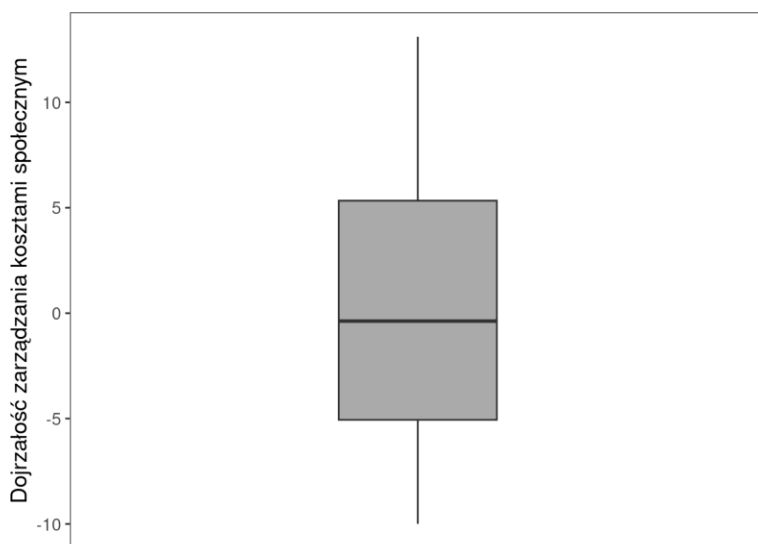
Rysunek nr 1

Rozkład wartości zmiennej Działania społeczne edukacyjne komunikacyjne i kompensacyjne



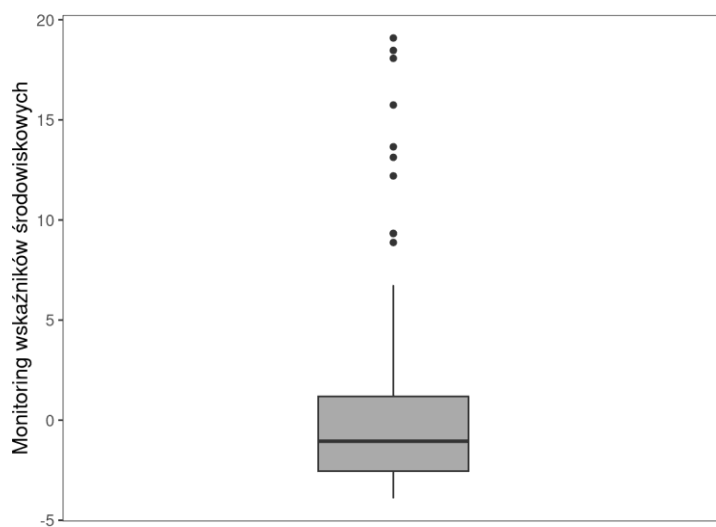
Rysunek nr 2

Rozkład wartości zmiennej Działania na rzecz środowiska



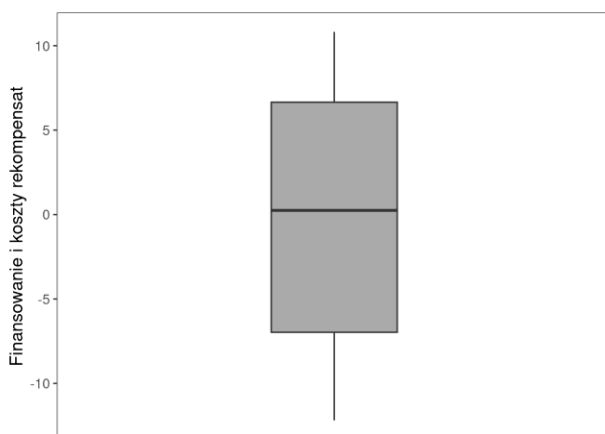
Rysunek nr 3

Rozkład wartości zmiennej Poziom zaawansowania zarządzania kosztami społecznym



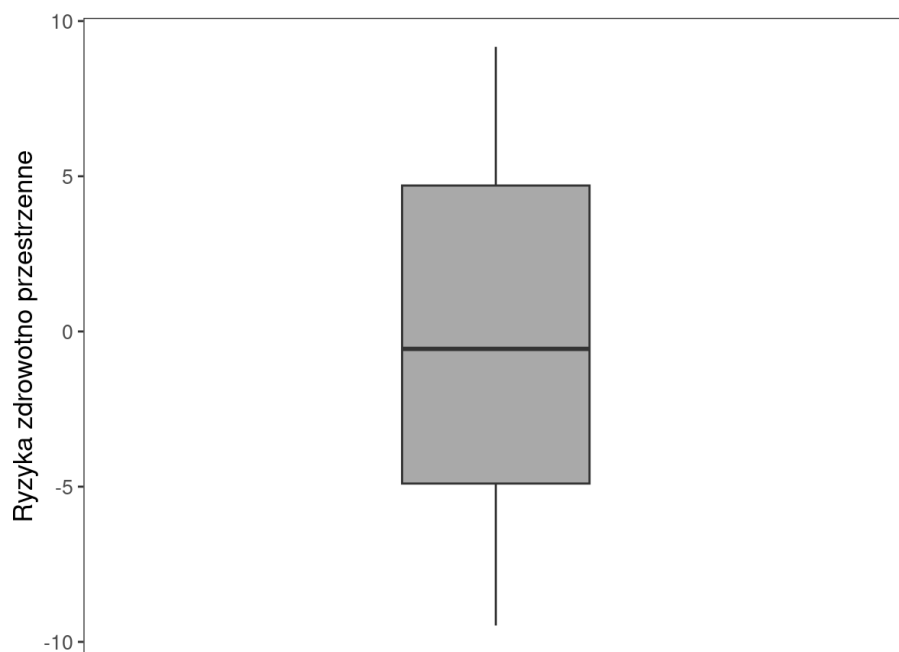
Rysunek nr 4

Rozkład wartości zmiennej Monitoring wskaźników środowiskowych



Rysunek nr 5

Rozkład wartości zmiennej Finansowanie i koszty rekompensat



Rysunek nr 6

Rozkład wartości zmiennej Ryzyka zdrowotno przestrzenne