



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

# **ROZPRAWA DOKTORSKA**

**DYSCYPLINA: ROLNICTWO I OGRODNICTWO**

**mgr inż. Michał Kropkowski**

**Ocena potrzeb i efektów nawadniania soi  
(*Glicine max* (L.) Merrill) na obszarze  
deficytowym w wodę**

*Assessment of needs and effect of irrigation  
in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivation  
in an area of water deficits*

**PROMOTOR**

prof. dr hab. inż. Jacek Żarski  
Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

**PROMOTOR POMOCNICZY**

dr inż. Stanisław Dudek  
Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich



BYDGOSZCZ 2023



*Składam serdeczne podziękowania Panu prof. dr hab. inż.  
Jackowi Żarskiemu za pomoc przy realizacji niniejszej  
rozprawy doktorskiej*

*Dziękuję Pani dr inż. Renacie Kuśmierk-Tomaszewskiej  
oraz Panu dr inż. Stanisławowi Dudkowi za pomoc  
w trakcie wykonywania badań*

*Niniejszą pracę dedykuję Najbliższej Rodzinie*



## SPIS TREŚCI

1. Wstęp.....	7
2. Przegląd literatury .....	10
2.1. Znaczenie w światowej gospodarce oraz cele uprawy soi.....	10
2.2. Powierzchnia uprawy, zbiory oraz plonowanie soi .....	11
2.3. Zapotrzebowanie na białko w celach paszowych.....	13
2.4. Perspektywy rozwoju uprawy soi.....	15
2.5. Wymagania glebowo-klimatyczne soi.....	16
2.6. Klimatyczne ryzyko uprawy soi .....	18
2.7. Potrzeby wodne soi.....	20
2.8. Prognozowane zmiany klimatyczne a wzrost niekorzystnych czynników.....	23
2.9. Potrzeby pokarmowe soi. Nawożenie azotem jako czynnik stymulujący wzrost plonu nasion .....	25
2.10. Nawadnianie jako zabieg agrotechniczny minimalizujący skutki deficytów wody .....	27
2.11. Ekonomiczna opłacalność uprawy soi.....	30
3. Materiał i metody .....	33
3.1. Informacje ogólne.....	33
3.2. Charakterystyka odmian .....	33
3.3. Czynniki doświadczenia .....	35
3.4. Zastosowane zabiegi agrotechniczne.....	36
3.5. Metodyka prowadzonych badań.....	38
3.5.1. Plon nasion oraz cechy biometryczne .....	38
3.5.2. Warunki klimatyczne .....	38
3.5.3. Ocena ekonomicznej efektywności deszczowania.....	40
4. Warunki doświadczenia .....	42
4.1. Warunki glebowe.....	42
4.2. Warunki klimatyczne.....	42
4.2.1. Średnie temperatury powietrza w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018.....	42
4.2.2. Suma temperatur efektywnych w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018.....	46
4.2.3. Ilość opadów w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018 .....	49
4.2.4. Ciągi dni bezopadowych w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018 .....	52
5. Wyniki badań .....	54
5.1. Potrzeby nawadniania oraz sterowanie zabiegiem deszczowania w uprawie soi w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018.....	54
5.1.1. Niedobory opadów w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018.....	54

5.1.2. Bilans zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018.....	56
5.2. Cechy ilościowe nasion soi.....	59
5.2.1. Plon nasion soi.....	59
5.2.2. Masa tysiąca nasion soi .....	63
5.2.3. Wysokość roślin soi.....	66
5.2.4. Wysokość osadzenia najniższego strąka na roślinie soi.....	69
5.2.5. Średnia liczba strąków i nasion z jednej rośliny soi.....	71
5.3. Cechy jakościowe nasion soi.....	72
5.3.1. Zawartość białka ogólnego w nasionach soi .....	72
5.3.2. Zawartość tłuszczu surowego w nasionach soi .....	74
5.4. Prognozowanie efektów deszczowania soi.....	75
5.5. Ocena ekonomicznej efektywności deszczowania .....	79
5.5.1. Koszty deszczowania soi.....	79
5.5.2. Efektywność produkcyjna deszczowania .....	80
5.5.3. Efektywność ekonomiczna deszczowania.....	80
6. Dyskusja wyników .....	83
7. Wnioski .....	100
LITERATURA.....	102
STRESZCZENIE .....	115
ABSTRACT .....	117
SPIS TABEL .....	119
SPIS RYSUNKÓW .....	120
SPIS FOTOGRAFII .....	121

## 1. WSTĘP

Produkcja roślinna w Polsce jest narażona na klimatyczne ryzyko wynikające z częstego i nieregularnego występowania okresów posusznych, charakteryzujących się brakiem lub niedostateczną ilością opadów atmosferycznych. Z największą częstością okresy te występują w nizinnej, centralnej części Polski, stanowiącej główny obszar uprawy roślin. W rejonie Pomorza i Kujaw dużą intensywność i zasięg posuchy meteorologicznej oraz rolniczej obserwowano w wielu sezonach wegetacji, np. w roku 1989, 1992, 2000, 2003, 2008 i 2015. Istnieją doniesienia naukowe sygnalizujące nasilanie się występowania susz w ostatnich latach.

Wystąpienie posuchy rolniczej w okresie wzmożonych potrzeb wodnych roślin przyczynia się do pogorszenia plonowania, zarówno w aspekcie ilościowym, jak i jakościowym. Dotyczy to szczególnie roślin uprawianych na glebach lekkich i bardzo lekkich. Aktywnym sposobem łagodzącym negatywne skutki susz jest zastosowanie nawadniania. Według wielu badań zapewnia ono prawidłowy wzrost i rozwój roślin oraz intensyfikuje procesy fizjologiczne. W rezultacie powoduje wzrost ilości plonu i jego stabilizację w latach, a także korzystnie wpływa na jakość plonu.

W warunkach klimatycznych centralnej Polski nawadnianie ma charakter zabiegu interwencyjnego. Do czynników przyczyniających się do wzrostu powierzchni upraw nawadnianych, obok zapewniania wyższych i stabilnych plonów o dobrej jakości, zaliczyć można potrzebę wzrostu nowoczesności i konkurencyjności gospodarstw rolniczych oraz prognozowane zmiany klimatyczne. Z prognoz tych wynika, że temperatura powietrza i ewapotranspiracja będzie wzrastać oraz zwiększy się wariancja opadów atmosferycznych prowadząca do wzrostu częstości występowania susz.

W ramach prac nad doborem gatunków i odmian roślin na nawadniane grunty orne, zainteresowano się uprawą soi. Ta jednoroczna roślina strączkowa należąca do rodziny Fabaceae, jest jedną z najważniejszych w światowym rolnictwie. Łączna powierzchnia uprawy soi na świecie w 2020 r. wynosiła około 127 mln hektarów. Według danych FAOSTAT, większą powierzchnię zajmowały tylko pszenica, kukurydza i ryż [źródło internetowe nr 1]. Jak podają Macák i Candráková [2013] USA, Brazylia, Argentyna, Chiny i Indie są głównymi producentami soi na świecie. Kraje te według danych FAOSTAT [źródło internetowe nr 1] w roku 2020 z powierzchni zasiewów 109 mln ha hektarów wyprodukowały łącznie 314 mln ton nasion soi, co stanowiło około 89% światowej produkcji.

Jak podają Hao i in. [2013] oraz Cerezini i in. [2016] plon roślin strączkowych, w tym soi, jest tanim źródłem ważnych składników odżywczych, takich jak białko i tłuszcz. To skład chemiczny soi determinuje jej znaczenie w światowej gospodarce. Według Aditya i in. [2011] nasiona powyższej rośliny charakteryzują się wysoką zawartością dobrego jakościowo białka.

Ponadto uprawa roślin strączkowych wpływa pozytywnie na żyzność i strukturę gleby. Zwiększeniu ulega dostępność glebowej materii organicznej bogatej w azot [Jensen i in. 2006]. Soja jest uważana za roślinę uniwersalną i bardzo cenną, ze względu na szerokie zastosowanie i wykorzystanie w gospodarce, jej powierzchnia uprawy systematycznie rośnie. Coraz większy popyt na rośliny o dużej zawartości dobrego jakościowo białka oraz dodatkowo niemodyfikowanego genetycznie prowadzi do wzrastającego zainteresowania soją. Wielość zastosowań oraz zasięg światowego obszaru uprawy soi powoduje, iż roślina ta jest obiektem badań naukowych w szerokim zakresie. Prace badawcze prowadzą naukowcy z różnych regionów świata. W Polsce dotyczą one przede wszystkim prac hodowlanych nad odmianami przystosowanymi do krajowych warunków klimatycznych [Biel i in. 2017], a także zmian klimatycznego ryzyka uprawy soi [Żarski i in. 2019], ekonomicznych aspektów uprawy soi [Augustyńska i Bębenista 2019], oddziaływania niektórych zabiegów agrotechnicznych na brodawkowanie soi [Korsak-Adamowicz i in. 2007].

W Polsce uprawa soi ma charakter innowacyjny, otwierający nowe możliwości przed krajowym rolnictwem. W związku z deficytem białka roślinnego w Polsce, soja może stać się ważnym ogniwem odbudowy krajowych zasobów tego kluczowego surowca. Polska importuje bardzo duże ilości śruty sojowej, co jest wynikiem deficytu komponentów białkowych [Boczar 2016].

Warunki klimatyczne w okresie wegetacji mają bardzo duży wpływ na plonowanie soi. Soja jest rośliną o dużych potrzebach wodnych [Krivosudská i Filová 2013]. Jarecki i Bobrecka-Jamro [2016] podkreślają duży wpływ panujących w danym okresie wegetacyjnym warunków pogodowych na plonowanie soi. Śliwa i in. [2015] w swoich badaniach potwierdzają zależność wysokości plonu nasion soi od warunków klimatycznych w danym okresie wegetacyjnym, takich jak na przykład wystąpienie suszy w okresie czerwiec-sierpień.

W dotychczasowych badaniach i analizach akcentowano przede wszystkim wysokie wymagania termiczne soi, mniejszą wagę przywiązując do oceny potrzeb wodnych. W warunkach klimatycznych Polski nie prowadzono szerszych badań polowych z nawadnianiem tego gatunku.

## **CEL PRACY**

Głównym celem przeprowadzonych badań jest określenie wpływu nawadniania oraz nawożenia azotowego, a także interakcji tych czynników na wysokość, strukturę i jakość plonu nasion dwóch odmian soi, uprawianych na glebie lekkiej w rejonie Bydgoszczy.

Szczegółowe cele naukowe to:

- ocena efektów produkcyjnych i ekonomicznych nawadniania soi,



- powiązanie plonowania soi z warunkami agrometeorologicznymi w celu wyznaczenia opadów optymalnych i okresów wzmożonego zapotrzebowania na wodę badanych odmian soi,
- rozpoznanie potrzeb nawadniania soi na obszarze deficytowym w wodę (gleba lekka w strefie o obniżonych opadach atmosferycznych),

## **HIPOTEZA BADAWCZA**

Hipoteza badawcza zakłada, że zastosowanie nawadniania w technologii produkcji spowoduje wzrost oraz stabilizację plonów nasion badanych odmian soi, a także wpłynie korzystnie na ich jakość. Przeprowadzone badania pozwolą na lepsze rozpoznanie potrzeb opadowych i nawodnieniowych soi oraz ich określenie ilościowe.

## 2. PRZEGLĄD LITERATURY

Rozwój gospodarczy obserwowany na świecie niesie za sobą liczne skutki jak zmniejszenie udziału rolnictwa w strukturze światowej gospodarki, a także zmniejszone partycypowanie sektora rolniczego w wytwarzanej wartości dodanej brutto [Alston i Pardey 2014, Chudzik 2020]. Jednak rolnictwo nadal ma duże znaczenie dla społeczeństwa, stanowiąc niezbędny sektor w skali całego świata i każdego kraju. Przede wszystkim odgrywa kluczową rolę w zapewnieniu dostępności żywności [Pawlak i Kołodziejczak 2020], ale również spełnia istotne funkcje pozaprodukcyjne, związane z usługami ekosystemowymi, środowiskowymi i kulturowymi. Według Nowak i Marczaka [2021] wyzwaniem stawianym przed rolnictwem krajów UE jest przede wszystkim zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego, stąd istnieje potrzeba wzrostu produktywności czynników produkcji oraz doskonalenia instrumentów Wspólnej Polityki Rolnej.

Jedną z najważniejszych w światowym rolnictwie roślin jest soja (*Glycine max*) - jednoroczna roślina strączkowa należąca do rodziny Fabaceae.

### 2.1. ZNACZENIE W ŚWIATOWEJ GOSPODARCE ORAZ CELE UPRAWY SOI

Głównym przeznaczeniem soi w światowej gospodarce jest wykorzystanie jako surowca dla przemysłu paszowego w hodowli zwierząt. Jednak nasiona soi i wytworzone z nich produkty są także spożywane jako żywność w diecie człowieka. Należy zauważyć, iż bezpośrednie spożycie stanowi niewielki udział w odniesieniu do paszowego zastosowania rośliny [McFarlane i O'Connor 2014]. Jednak, jak podaje Wilk [2017], nasiona soi ze względu na swoją wartość odżywczą są szeroko wykorzystywane w diecie człowieka. Wzrastający popyt na żywność obserwowany od kilku lat na świecie charakteryzuje się urozmaiceniem diety, m.in. wykorzystaniem takich roślin jak soja [Willaarts i in. 2011].

Według Jasińskiej i Koteckiego [1993] nasiona soi zawierają średnio 35-40% białka oraz 18-22% tłuszczu. Taka zawartość białka i tłuszczu w nasionach soi powoduje, iż roślina ta wykorzystywana jest jako surowiec do produkcji oleju sojowego oraz śruty poekstrakcyjnej [Boczarski i Sznajder 2011]. Olej sojowy składa się w 85% z nienasyconych kwasów tłuszczowych, w tym niezbędnych jak kwas linolowy i linolenowy. Kwasy te nie są syntetyzowane przez organizm człowieka, stąd tak ważne znaczenie soi w diecie człowieka. Ze względu na skład chemiczny nasion, soja jest uważana za jedną z najbardziej wartościowych, a zarazem najstarszych roślin świata [Hartman i in. 2011]. Według Boczarskiego [2016] przewagą śrutę sojową nad na przykład rzepakową jest jej niższa zawartość włókna, przez co jest lepiej strawna przez zwierzęta monogastryczne.

Biel i in. [2017] wskazują na prozdrowotne działanie substancji zawartych w nasionach soi. Właściwości te wykorzystywane są w ograniczaniu i zapobieganiu chorobom cywilizacyjnym jak np. choroby układu krążenia, otyłość,

nowotwory, osteoporoza oraz łagodzenie objawów menopauzy. Korzystny wpływ nasion soi na zdrowie człowieka podkreślają także Aditya i in. [2011].

Jak podają Gawęda i in. [2016] soja jest rośliną charakteryzującą się większą wartością odżywczą nasion, odpornością na choroby oraz szkodniki, ale też mniejszą skłonnością do wylegania niż pozostałe rośliny strączkowe. To właśnie skład chemiczny nasion w głównej mierze determinuje pozycję soi na światowym rynku produktów rolnych.

Soja stanowi pożądaną element płodozmianu, zwłaszcza w produkcji zbożowej, ponieważ zmniejsza wskaźnik inwazji patogenów, dodatkowo poprzez swe zdolności wiązania wolnego azotu atmosferycznego poprawia żyźność podłoża glebowego [Tindwa i in. 2019].

Akibode i Maredia [2011] podają, iż wielorakość ekonomiczna soi wynika z faktu szerokiej gamy zastosowań rośliny. Soja może być wykorzystana zarówno jako surowe nasiona spożywcze w rolnictwie, ale także w formie przetworzonej, jak np. mleko sojowe, pulpa sojowa czy też olej sojowy.

## **2.2. POWIERZCHNIA UPRAWY, ZBIORY ORAZ PLONOWANIE SOI**

Na terenie Polski - jak podają Jasińska i Kotecki [1993] - pierwsze, aczkolwiek nieudane próby aklimatyzacji soi podjął w 1878 r. Sempołowski. Pierwsze odmiany (14) uzyskano na Uniwersytecie Poznańskim w latach 1928-1938. Prowadzone badania w latach 80-tych XX w. dowiodły, iż możliwa jest uprawa określonych odmian rośliny w Polsce, szczególnie w jej południowo-wschodnich regionach. Także Kołodziej i Pisulewska [2000] podają, iż w Polsce najkorzystniejsze warunki dla wzrostu, rozwoju i plonowania roślin soi występują w południowo-wschodniej części kraju. Jaskulska i in. [2017] podkreślają, iż soja uprawiana jest szczególnie w południowej części Polski. Boros i Wawer [2016] za najbardziej odpowiednie tereny do uprawy soi w Polsce uważają południowo-wschodnią część kraju, północno-wschodnie regiony województwa dolnośląskiego, północną część województwa opolskiego oraz środkowo-południowy region województwa lubuskiego. Ponadto według autorów roślinę tę, a szczególnie odmiany wczesne, można uprawiać w innych rejonach kraju, poza częścią północną oraz terenami podgórnymi.

Według danych FAOSTAT [źródło internetowe nr 1] do najważniejszych producentów soi należą: USA, Brazylia, Argentyna, Chiny i Indie. Pomimo wzrostów i spadków w poszczególnych latach okresu 2016-2020 zarówno na świecie jak i w Europie, w roku 2020 odnotowano wzrost powierzchni zasiewów soi w porównaniu z rokiem 2016. W roku 2020 powierzchnia zasiewów wynosiła łącznie na świecie 126 951 517 ha i był to wzrost o 3,87% w porównaniu z rokiem 2016. Także na kontynencie europejskim zanotowano wzrost o 4,88% do 5 294 214 ha w 2020 roku (tabela 1).

Analogicznie wygląda sytuacja zbiorów soi w latach 2016-2020. W 2020r. na świecie zebrano 353 463 735 ton nasion soi, co stanowi wzrost o 5,21%

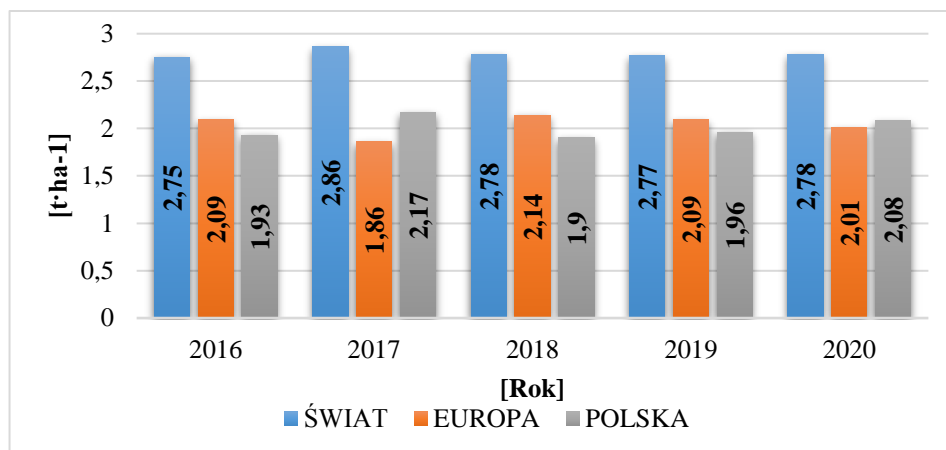
w stosunku do roku 2016. W Europie zbiory soi wzrosły nieznacznie o 0,79% do 10 626 609 ton nasion w 2020 roku (tabela 1).

Polska w światowej produkcji soi odgrywa znikomą rolę. Jak pokazują dane zawarte w tabeli 1, w 2020 roku w Polsce z powierzchni 7170 ha (spadek o 6,18% w porównaniu z rokiem 2016) zebrano 14 940 ton nasion soi, co oznaczało wzrost o 1,31% w stosunku do 2016 roku.

Tabela 1. Powierzchnia zasiewów oraz zbiory soi w latach 2016-2020 w Polsce, Europie i na świecie

<b>Powierzchnia zasiewów soi w latach 2016-2020 [ha]</b>					
<b>Wyszczególnienie</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
ŚWIAT	122036490	125862926	124051963	121533206	126951517
EUROPA	5035938	5760289	5659280	5570327	5294214
POLSKA	7642	9333	5450	7920	7170
<b>Zbiory soi w latach 2016-2020 [t]</b>					
<b>Wyszczególnienie</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
ŚWIAT	335944720	359510895	344731688	336329392	353463735
EUROPA	10543380	10721896	12130932	11666393	10626609
POLSKA	14747	20297	10390	15540	14940

Opracowanie własne na podstawie danych FAOSTAT [źródło internetowe nr 1]



Opracowane własne na podstawie danych FAOSTAT [źródło internetowe nr 1]

Rys. 1. Średni plon nasion soi w latach 2016-2020 [ $t \cdot ha^{-1}$ ] w Polsce, Europie i na świecie

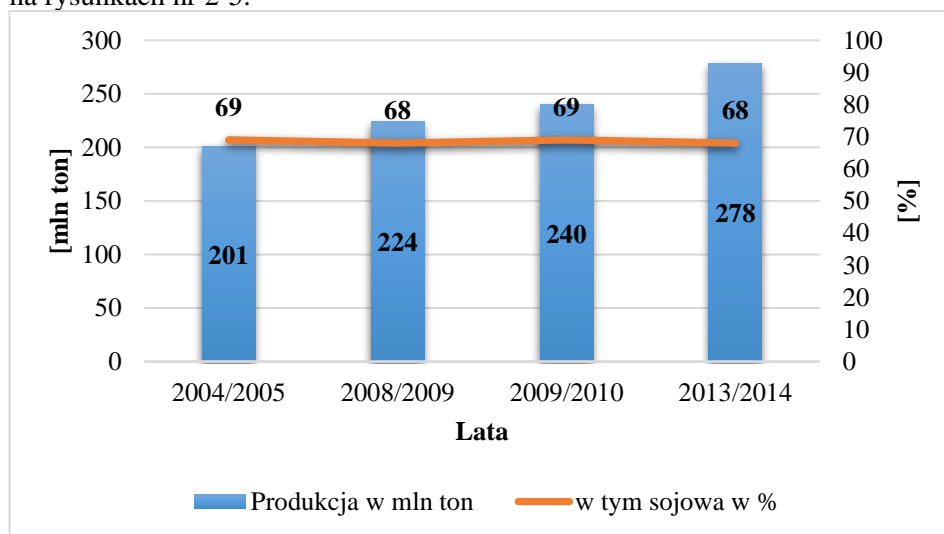
Średni plon nasion soi w latach 2016-2020 ulegał licznym zmianom, rosnąc lub malejąc w zależności od roku oraz zakresu analizy, tj. dla świata, Europy czy

Polski. Analizując w ujęciu światowym, w 2016 roku zanotowano plon nasion soi w wysokości 2,75 t·ha<sup>-1</sup>, natomiast w roku 2020 wyniósł on 2,78 t·ha<sup>-1</sup>. Na terenie Polski, w roku 2016 zbierano średni plon wielkości 1,93 t·ha<sup>-1</sup>, a w roku 2020 była to wielkość równa 2,08 t·ha<sup>-1</sup>. Wahaniom od 1,86 do 2,14 t·ha<sup>-1</sup> w latach 2016-2020 ulegała także wysokość plonu nasion soi w Europie (rysunek 1).

### 2.3. ZAPOTRZEBOWANIE NA BIAŁKO W CELACH PASZOWYCH

Wykorzystanie nasion soi na szeroką skalę jako pasz dla zwierząt napędza wzrastający, międzynarodowy obrót soi [McFarlane i O'Connor 2014]. W Polsce roczne zapotrzebowanie na białko w celach paszowych - jak wskazują Jerzak i in. [2012] - wynosi 1 milion ton, przy czym aż 80% tego zapotrzebowania zapewniane jest przez import śrutu sojowej. Jak podają Augustyńska i Bębenista [2019] większość importu śrutu sojowej do Polski ma miejsce z krajów Ameryki Południowej, będących czołowymi producentami soi na świecie.

Sytuację panującą na światowym oraz polskim rynku śrut oleistych oraz trendy zmian w latach od 2004/2005 do 2013/2014 zaprezentowano na rysunkach nr 2-5.

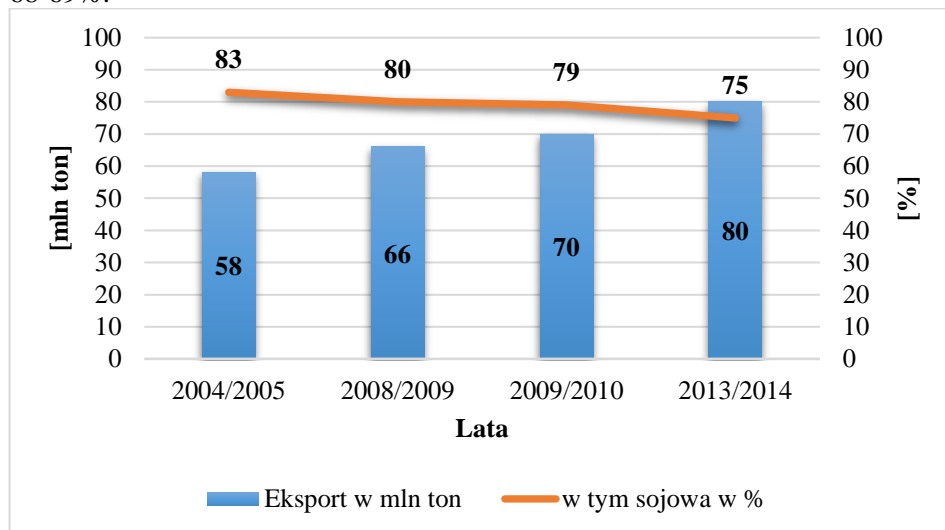


\* - śrut oleiste: sojowa, rzepakowa, słonecznikowa, nasion bawełny, z nasion palmy olejowej, arachidowa, z kopry. Opracowane własne na podstawie danych Boczar [2016]

Rys. 2. Produkcja śrut oleistych\* na świecie w latach od 2004/2005 do 2013/2014

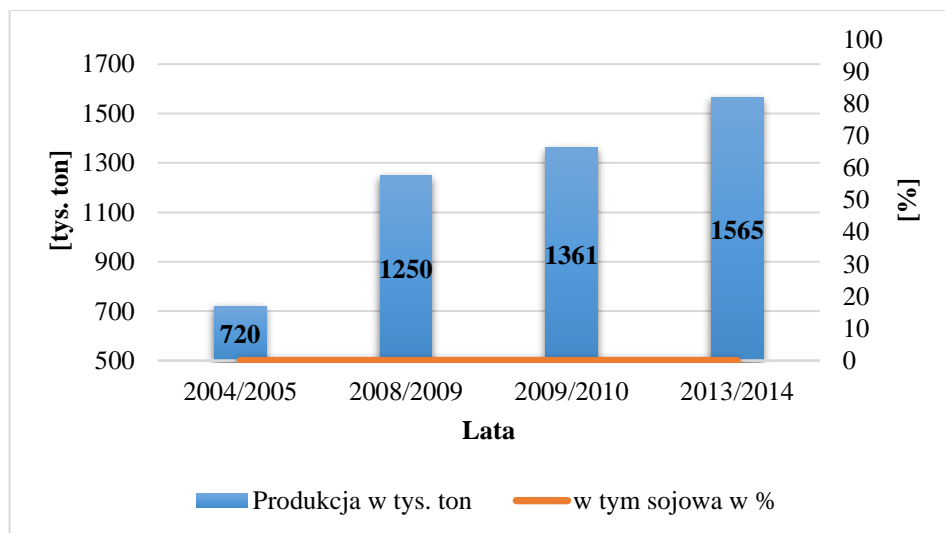
Produkcja śrut oleistych na świecie systematycznie wzrasta. Jak pokazuje rysunek 2 w latach 2004/2005 wynosiła 201 mln ton, natomiast w 2013/2014 już 278 mln ton i był to wzrost o 77 mln ton (38%). Natomiast % udział soi

w produkcji śruty na przestrzeni omawianych lat pozostaje stały, w zakresie 68-69%.



\* - śruty oleiste: sojowa, rzepakowa, słonecznikowa, nasion bawełny, z nasion palmy olejowej, arachidowa, z kopry. Opracowane własne na podstawie danych Boczar [2016]

Rys. 3. Eksport śrut oleistych\* na świecie w latach od 2004/2005 do 2013/2014



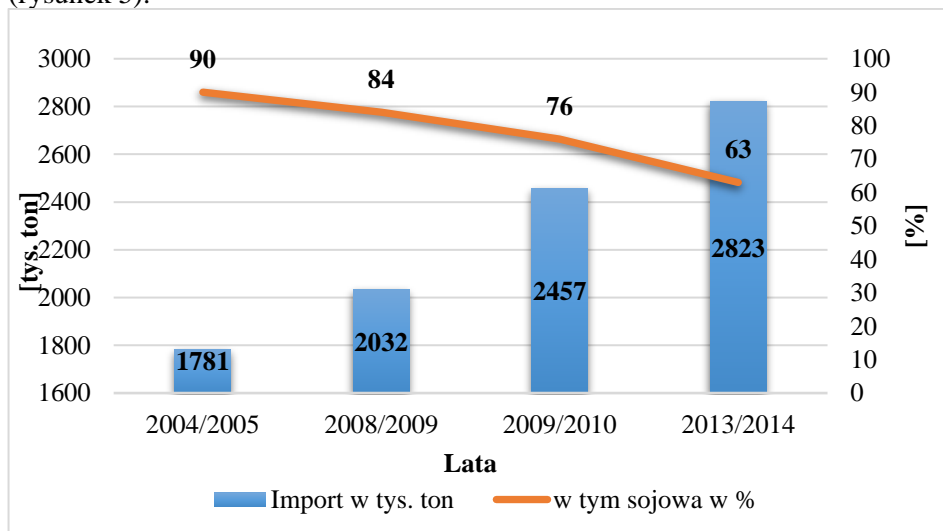
\* - śruty oleiste: sojowa, rzepakowa i rzepikowa, słonecznikowa, z nasion palmy olejowej, arachidowa, lniana. Opracowane własne na podstawie danych Boczar [2016]

Rys. 4. Produkcja śrut oleistych\* w Polsce w latach od 2004/2005 do 2013/2014

W latach od 2004/2005 do 2013/2014 wzrósł światowy eksport śrut oleistych o 22 mln ton (38%) z 58 do 80 mln ton. Przy czym małał procentowy udział śrut sojowych w łącznej wartości, z 83% w 2004/2005 do 75% w 2013/2014 (rysunek 3).

Produkcja śrut oleistych w Polsce, jak pokazuje rysunek 4 na przestrzeni lat od 2004/2005 do 2013/2014 wzrosła o 117%, tj. 845 tys. ton z 720 tys. ton do 1.565 tys. ton. Należy jednak zaznaczyć, iż według dostępnych danych zawartość % śrutu sojowej w łącznej wartości śrut oleistych w analizowanym okresie wyniosła 0%.

W latach od 2004/2005 do 2013/2014 znacząco wzrósł import śrut oleistych do Polski. W 2004/2005 importowano 1.781 tys. ton, natomiast w 2013/2014 już 2.823 tys. ton. Jest to wzrost o 1.042 tys. ton, tj. 59%. Małał jednak procentowy udział śrut sojowych w ogólnej wartości importowanych śrut oleistych do kraju. W 2004/2005 wynosił on 90%, natomiast w 2013/2014 była to wartość 63% (rysunek 5).



\* - śrutu oleiste: sojowa, rzepakowa i rzepikowa, słonecznikowa, z nasion palmy olejowej, arachidowa, lniana. Opracowane własne na podstawie danych Boczar [2016]

Rys. 5. Import śrut oleistych\* w Polsce w latach od 2004/2005 do 2013/2014

## 2.4. PERSPEKTYWY ROZWOJU UPRAWY SOI

Według Boczara [2016] soja nie odgrywa znaczącej roli w polskim rolnictwie jako roślina uprawna. Pomimo tego faktu, dzięki swoim właściwościom i zastosowaniu może być uprawiana w gospodarstwach konwencjonalnych, jak i ekologicznych.

Jak podaje Biel i in. [2017] na zwiększone zainteresowanie uprawą soi w Polsce wpływ ma wzrastające zapotrzebowanie na białko roślinne, coraz lepsze

wyniki plonowania rośliny w doświadczeniach producenckich, zmieniające się warunki klimatyczne oraz rosnące ceny śruty sojowej.

W kraju prowadzone są programy oraz projekty, zarówno na szczeblach ministerialnych, jak i przez placówki naukowe. Głównym celem tych programów jest poprawa sytuacji białkowej Polski. Pobocznymi celami prowadzącymi do osiągnięcia celu głównego są m.in. promowanie uprawy soi, doskonalenie technologii uprawy tej rośliny oraz praktyczna weryfikacja osiągnięć w praktyce rolniczej [Boczar 2016].

Jarecki i Bobrecka-Jamro [2016] jako główne czynniki mogące wpłynąć na wzrost produkcji soi w Polsce wskazują upowszechnienie nowych odmian rośliny, dających stabilizację plonowania w warunkach Polski. Jak podają Jarecki i Bobrecka-Jamro [2015] wysokość oraz jakość plonu nasion soi zależy od warunków klimatyczno-glebowych, ale także od stosowanych zabiegów agrotechnicznych, w tym nawożenia. Według Krishnan [2001] na skład chemiczny nasion soi wpływać mogą czynniki genetyczne oraz środowiskowe.

Jak podaje literatura, soję można uprawiać na terenie Europy w miejscach, gdzie długość okresu wegetacji wynosi od 105 do 140 dni [Borowska i Prusiński 2021]. Według Bujaka i Franta [2009] uzyskanie odmian soi, które charakteryzują się krótszym okresem wegetacji (od 125 do 135 dni), a zarazem są bardziej tolerancyjne na długość dnia i niższe temperatury w początkowej fazie wzrostu, umożliwiałaby uprawę soi w wielu rejonach kraju.

W Polsce, na terenie województwa kujawsko-pomorskiego w ramach współpracy w latach 2015-2018 pomiędzy Politechniką Bydgoską im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich, a firmą komercyjną prowadzono próby terenowe, mające na celu określenie przydatności 16 odmian soi w produkcji roślinnej na terenie województwa [Wenda-Piesik i Kazek 2016].

## **2.5. WYMAGANIA GLEBOWO-KLIMATYCZNE SOI**

Soja jest rośliną ciepłolubną. Decydującym czynnikiem wpływającym na rozwój rośliny jest przebieg pogody w trakcie trwania okresu wegetacji [Zarychta 2014]. Termin siewu soi jest zależny od obszaru uprawy i występuje pomiędzy końcem kwietnia a początkiem maja, co wynika z dużej wrażliwości rośliny na przymrozki wiosenne [Augustyńska i Bębenista 2019].

Roślina charakteryzuje się wysokimi wymaganiami termicznymi. Wyróżnia się dwa okresy krytyczne. Pierwszy trwa od siewu do pełni wschodów. Optymalną temperaturą kiełkowania soi jest 10-15°C. Jako drugi okres krytyczny wskazuje się kwitnienie [Zarychta 2014]. Kołodziej i Pisulewska [2000] również podają dwa krytyczne okresy dotyczące wymagań termicznych. Jako pierwszy wskazują czas od siewu do pełni wschodów, gdy roślina wymaga wysokich temperatur. W swoich badaniach autorzy dowiedli, iż w przypadku odmiany Aldana wzrost temperatury minimalnej w tym okresie skutkowało wzrostem wielkości plonu nasion. Jako drugi okres krytyczny wyróżniono fazę kwitnienia. Jako optymalną temperaturę powietrza w tym czasie podaje się 22-25°C,



przy czym za minimalną uważa się 17-18°C. W fazie dojrzewania roślina wymaga minimalnych temperatur powietrza na poziomie 8-14°C, przy czym jako optymalną temperaturę uważa się jej zakres od 14 do 19 °C.

Łykowski [1984] wskazał, iż najniższą temperaturą powietrza zapewniającą normalny przebieg wegetacji wielu odmian soi jest 10°C. Z kolei Kasperska-Wołowicz i in. [2021] wskazują, iż soja wymaga średniej temperatury powietrza w wysokości minimum 15°C w czasie wzrostu i rozwoju rośliny.

Jak podają Sulikowska i in. [2016], Kozyra [2013] oraz Juszcak i in. [2008] wskaźnik stopniodni wzrostu - Growing Degree Days służy do charakterystyki zasobów termicznych danego okresu przy użyciu sum temperatur efektywnych, które przedstawiają ilość dostarczanej energii cieplnej w danym okresie. Powyższy wskaźnik umożliwia określenie potrzebnej do osiągnięcia poszczególnych faz rozwojowych roślin ilości energii cieplnej. Dla każdej rośliny przyjmuje się wartość temperatury progowej w wyliczeniach. Na podstawie powyższego wskaźnika polskie zasoby termiczne określono na przestrzeni lat 1951-2010 - zakładając temperaturę progową o wartości 5°C - na 1880°C [Sulikowska i in. 2016].

Według Lewandowskiej [2016] suma temperatur efektywnych dla odmiany Merlin w okresie wegetacyjnym wynosi 1500°C. W badaniach prowadzonych w Radzikowie w 2016 roku ustalono, iż przy temperaturze progowej 6°C suma temperatur efektywnych dla soi odmian 'Aldana' oraz 'Merlin' za okres wegetacji wyniosła odpowiednio 1375°C oraz 1511°C [źródło internetowe nr 2]. Berschneider [2016] podaje, iż w warunkach Europy uprawa soi wymaga sumy efektywnych temperatur od 1500°C do 1800°C, przyjmując temperaturę progową o wartości 6°C. Dla porównania Kühling i in. [2018] przyjmując temperaturę progową 10°C określili sumę temperatur efektywnych na 933-1041°C na obszarze północno-zachodnich Niemiec.

Jak podają Nowak i Wróbel [2010] soja jest rośliną o wysokich wymaganiach wodnych, szczególnie w okresie kwitnienia. Zarychta [2014] jako okresy krytyczne zapotrzebowania w wodę wymienia także kiełkowanie oraz wypełnianie strąków. Z kolei Eteng i Nwagbara [2014] podają, iż krytycznymi okresami dostępności wody w rozwoju roślin soi jest rozwój strąka i wypełnianie nasion. W tym okresie występujący stres wodny (niedobory) może skutkować spadkiem plonu nasion. Kołodziej i Pisulewska [2000] wskazują na trzy krytyczne okresy pod względem wymagań wodnych. Roślina od siewu do pełni wschodów charakteryzuje się dużym zapotrzebowaniem na wodę. Ilość wody pobranej w fazie kiełkowania stanowi 120% masy nasion. Deficyt wody dostępnej dla roślin w okresie wypełniania strąków może być przyczyną największych strat w plonie nasion soi. Nadmierne opady w okresie dojrzewania negatywnie wpływają na dosychanie oraz zbiór roślin. Średnie opady w wysokości 115 mm uznano za wystarczające.

Aminah i in. [2021] wskazują, iż główne zapotrzebowanie na wodę soi ma miejsce we wczesnych fazach wzrostu, okresie kwitnienia i wypełniania strąków. Optymalne opady w okresie od kwitnienia do dojrzewania wynoszą 300 mm

[Krivosudská i Filová 2013]. Jak podają Dobek i Dobek [2008] w warunkach klimatycznych Polski okres dojrzewania soi przypada od końca sierpnia do początku września. Z kolei Augustyńska i Bębenista [2019] wskazują, iż soja w fazie wschodów, tj. kwiecień-maj charakteryzuje się wysokimi potrzebami wodnymi. Jak podają Eteng i Nwagbara [2014] dla prawidłowego wypełnienia strąków i wysokiego plonu nasion soi zawartość wody dostępnej dla roślin w glebie nie może być niższa niż 50%.

Soja nie należy do roślin o wysokich wymaganiach glebowych, decydującym czynnikiem jest temperatura gleby. Jak podaje Woynarowska [1972] w okresie siewu wymagana jest w przedziale 8-10°C. Za optymalny termin siewu soi w warunkach klimatycznych Polski uważa się okres pomiędzy 20 kwietnia, a 5 maja. Zbyt wczesny siew skutkuje niedostateczną obsadą roślin. Natomiast opóźniony termin siewu wiąże się z przedłużeniem okresu wegetacji do jesieni [Jasińska i Kotecki 1993]. Według Kasperskiej-Wołowicz i in. [2021] soja wymaga wysiewu do gleby o temperaturze nie niższej niż 12°C. Jako optymalny termin siewu wskazuje się okres od ostatniej dekady kwietnia do pierwszej miesiąca maja. W tym czasie wierzchnia warstwa gleby charakteryzuje się temperaturą 10°C. Zdaniem Augustyńskiej i Bębenista [2019] odpowiednim podłożem do uprawy soi są gleby kompleksu pszennego, żyzne i przewiewne o wysokiej kulturze.

## **2.6. KLIMATYCZNE RYZYKO UPRAWY SOI**

Silvente i in. [2012] jako główne zagrożenia i jednocześnie ograniczenia uprawy soi wskazują ekstremalne temperatury, susze – brak wody łatwo dostępnej dla roślin czy też zakwaszenie gleby. Zarychta [2014] podaje, iż soja należy do roślin wrażliwych na przymrozki. Występowanie temperatur powietrza poniżej 10°C negatywnie wpływa na rozwój rośliny, gdyż skutkuje nie wejściem soi w fazę kwitnienia. Wynikiem tego jest brak możliwości osiągnięcia przez soję dojrzałości przed wystąpieniem przymrozków jesiennych. Jak podają Krivosudská i Filová [2013] niedobry wody dostępnej dla rośliny mogą ograniczać uprawę soi w danym rejonie, pomimo odpowiedniej temperatury.

Jednym z najważniejszych czynników klimatycznych determinujących możliwość uprawy roślin jest woda, która jest surowcem do fotosyntezy i decyduje o wielkości oraz jakości plonu [Eteng i Nwagbara 2014]. Również Prusiński i in. [2020] oraz Prusiński i Nowicki [2020] wskazują, iż warunki wodne oraz termiczne mają znaczący wpływ na wielkość plonu czy też jego cechy biometryczne. Zdaniem Pimentel i in. [2021] deficyt wody wpływa na plon nasion soi niezależnie od fazy rozwojowej rośliny. Niedobory wody są szczególnie niebezpieczne dla soi w okresie kwitnienia (etapy wzrostu R1 i R2) oraz podczas wiązania strąków i dojrzewania nasion (etapy wzrostu R3 – R6) [Krivosudská i Filová 2013].

Nierównomierny rozkład opadów w okresie wegetacji zdaniem Krivosudská i Filová [2013] skutkuje spadkiem plonu nasion soi, co może być uważane przez producentów za przeszkodę w zwiększaniu arealu uprawy rośliny.

Jak podają liczni badacze, w tym Dai [2013] oraz Zhao i in. [2017], przewidywane zmiany klimatyczne mogą wpłynąć na zwiększenie częstotliwości i długości trwania susz. Wijewardana i in. [2019] podają, iż prowadzono badania nad wpływem suszy spowodowanej niedoborami wody na kiełkowanie, procesy fizjologiczne, kwitnienie, morfologię korzenia, rozwój nasion czy też wysokość i jakość plonu soi. Według Wijewardana i in. [2018] jednym z głównych czynników stresu abiotycznego powodującego wysokie straty w plonie nasion soi na świecie jest stres wynikający z poziomu wilgotności gleby.

Jak podają Abd El Baki i in. [2020] aż 40% populacji na świecie zamieszkuje tereny charakteryzujące się wysokim poziomem stresu wodnego. Brevedan i Egli [2003] podają, iż stres wodny w fazie wypełniania nasion może powodować mniejsze rozmiary nasion soi. Według Pimentel i in. [2021] w ostatnich latach wiele państw w związku z długimi okresami suszy w okresie wegetacyjnym zanotowało spadek produkcji o około 10%.

Ograniczona dostępność wody dla korzeni soi oraz wysoka transpiracja skutkują doświadczaniem przez roślinę okresów suchych, co wiąże się z obniżeniem plonu [Javan i in. 2013]. W wyniku pojawienia się suszy notuje się spadek produktywności soi rzędu 40-65% [Engels i in. 2017]. Niedobory wody w okresach krytycznych soi skutkują spadkiem wzrostu, suchej masy czy też pogorszeniem składu chemicznego nasion rośliny [Javan i in. 2013]. Niedobory opadów wpływają także na cechy biometryczne roślin. Niski poziom opadów w sierpniu, wynoszący 19,4 mm zmniejszył masę tysiąca nasion soi [Macák i Candráková 2013]. Wystąpienie deficytu wody dostępnej dla roślin w fazie wzrostu całkowitego negatywnie wpływa na liczbę nasion na jednej roślinie, co skutkuje spadkiem plonu soi. Także deficyt w okresie napełniania ziarna prowadził do niższej jakości i masy nasion [Gava i in. 2014]. Jak podają Javan i in. [2013] wystąpienie stresu wodnego 15 dni przed kwitnieniem skutkuje spadkiem liczby strąków na roślinę oraz 22 dni po kwitnieniu może się wiązać ze spadkiem liczby strąków oraz nasion w strąku rośliny. Jak podają Jumrani i Bhatia [2018] w okresie wegetatywnym, tj. 7-12 dni po wysiewie brak wody nie powoduje strat, ale z kolei brak wody w fazie zapylania i napełniania nasion, tj. 30-45 i 55 dni po wysiewie skutkuje zmniejszonymi plonami.

Soja, jako roślina strączkowa żyje w symbiozie z bakteriami brodawkowymi. Wiązanie wolnego azotu jest uzależnione od stresów występujących w środowisku rolnym i oddziałującym na rośliny, jak susze. Ustalono, iż stres wodny wpływa na zmniejszenie wiązania azotu [Silvente i in. 2012].

Jak podają Kasperska-Wołowicz i in. [2021] pomimo, iż soja dobrze znosi okresowe niedobory wody (m.in. ze względu na silnie rozwinięty system korzeniowy), przedłużające się warunki suszy skutkują osłabionym wzrostem, mniejszą ilością strąków i nasion w nich oraz nierównomiernym dojrzewaniem.

Wystąpienie stresu wodnego na początku fazy formowania nasion i przedłużający się do końca trwania okresu wegetacji skutkuje znacznym spadkiem plonu nasion soi. Soja cechuje się dobrze rozwiniętym systemem korzeniowym, sięgającym do głębokości nawet powyżej 1,5 m [Al-Kaisi i Broner 2005].

Jak podają Bauer i in. [2003] zarówno niedobór, jak i również nadmiar dostępnej wody dla roślin może wpłynąć negatywnie na jej plon, pod względem ilościowym i jakościowym. Według Eteng i Nwagbara [2014] łączny roczny opad w optymalnej wielkości nie oznacza odpowiednich warunków wodnych dla rośliny. Obok wielkości opadu decydujący jest także jego rozkład w czasie.

## **2.7. POTRZEBY WODNE SOI**

Jak podają Źarski i Dudek [2009] do przedstawienia potrzeb wodnych roślin wykorzystuje się najczęściej takie wskaźniki jak opady optymalne, potrzeby opadowe lub określając ewapotranspirację łąnu w środowisku optymalnego uwilgotnienia gleby. Określenie zapotrzebowania roślin na wodę jest wymagane do planowania terminów nawadniania w okresach niedoborów opadów [Eteng i Nwagbara 2014].

Optymalny wzrost i rozwój roślin, co skutkuje wysokiej jakości i wielkości plonem, można osiągnąć tylko zapewniając odpowiednią ilość wody roślinie. Zrównoważone gospodarowanie zasobami wodnymi sprzyja wzrostowi produktywności roślin [Aminah i in. 2021]. Według Javan i in. [2013] tylko około 1% z całkowitego zużycia wody rośliną wykorzystuje do wzrostu. Cała reszta, tj. 98-99% to para wodna tracona przez roślinę do atmosfery. Soja charakteryzuje się tym, iż na produkcję 1 grama suchej masy potrzebuje 600-1000 g wody [Eteng i Nwagbara 2014].

Jak podają Krivosudská i Filová [2013] stopień zapotrzebowania roślin soi na wodę jest determinowany przez odmianę czy też rozkład opadów atmosferycznych oraz temperaturę powietrza. Według Fidantemiz i in. [2019] zachowanie optymalnej głębokości wód gruntowych może stanowić źródło wody zaspokajające potrzeby wodne soi, co pozwala na zwiększenie wydajności produkcji rolnej przy mniejszym wykorzystaniu nawadniania.

Zapotrzebowanie roślin na wodę zależy od takich czynników jak nasłonecznienie, temperatura oraz wilgotność i prędkość wiatru. Zależność wysokości potrzeb wodnych rośliny od czynników klimatycznych zobrazowano w tabeli 2.

W tabeli 3 i 4 przedstawiono zestawienie średnie z lat 1964-2002 danych dotyczące odpowiednio dziennego oraz łącznego miesięcznego zapotrzebowania na wodę określonego poprzez bilans wody łatwo dostępnej w glebie na terenie Rumunii (Cluj- Napoca) w miesiącach IV-IX. Analizie poddano rośliny, które są uprawiane także na terenie Polski. W Polsce w strukturze upraw dominują zboża.

Tabela 2. Wpływ głównych czynników klimatycznych na potrzeby wodne roślin uprawnych – dane FAO [źródło internetowe nr 3]

Czynnik klimatyczny	Zapotrzebowanie na wodę	
	Wysokie	Niskie
Nasłonecznienie	Słonecznie (bez chmur)	Pochmurno (bez słońca)
Temperatura	Wysoka	Niska
Wilgotność	Niska (suchy)	Wysoka (wilgotne)
Prędkość wiatru	Wysoka	Niska

Tabela 3. Dzielne zapotrzebowanie na wodę w okresie wegetacji [Luca i in. 2003]

Roślina	Miesiąc					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX
<b>Dzielne zapotrzebowanie na wodę [m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>]</b>						
Kukurydza	14	26	34	39	36	22
Burak cukrowy	18	26	36	43	35	23
Ziemniak	16	25	39	42	33	16
Pszenica	23	37	37	33	15	-
Soja	16	27	37	42	35	27

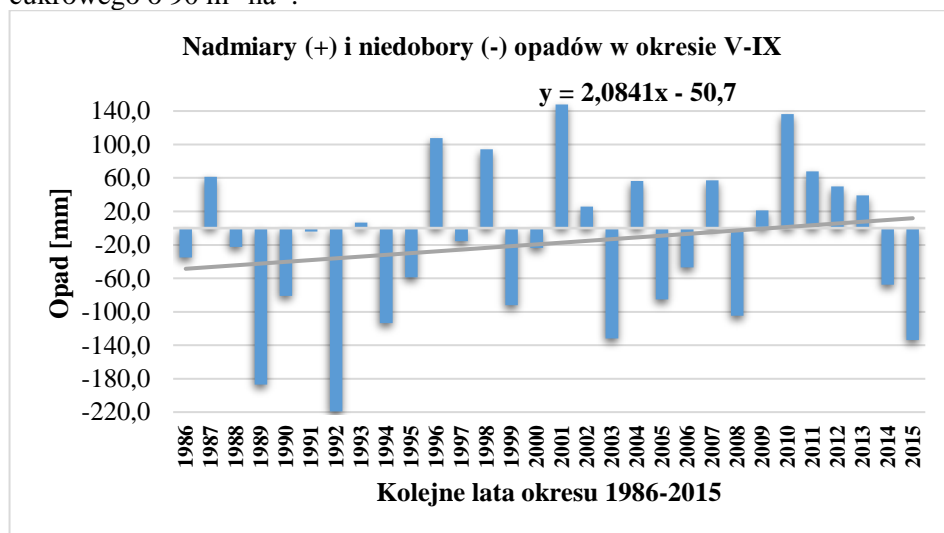
Tabela 4. Całkowite zapotrzebowanie na wodę w okresie wegetacji [Luca i in. 2003]

Roślina	Miesiąc						Łącznie [m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> ]
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
<b>Łączne miesięczne zapotrzebowanie na wodę [m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>]</b>							
Kukurydza	420	806	1020	1209	1116	660	5231
Burak cukrowy	540	806	1080	1333	1085	690	5534
Ziemniak	480	775	1170	1302	1023	480	5230
Pszenica	690	1147	1110	1023	465	-	4435
Soja	480	837	1110	1302	1085	810	5624

W miesiącu kwietniu i maju największe dzielne zapotrzebowanie na wodę miała pszenica – 23 i 37 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>. W tym samym okresie dla soi zanotowano 16 i 27 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> na dzień. Wartym podkreślenia jest, iż we wrześniu największe zapotrzebowanie dzielne na wodę, wynoszące 27 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> odnotowano dla soi.

Można zaobserwować, iż soja miała bardzo zbliżony rozkład wartości w analizowanym okresie jak kukurydza oraz burak cukrowy (tabela 3).

Jak pokazuje tabela 4 całkowite zapotrzebowanie na wodę w okresie wegetacji najniższe było dla pszenicy i wynosiło 4435 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>. Najwyższe odnotowano dla soi – 5624 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> i było wyższe od drugiego na liście buraka cukrowego o 90 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>.



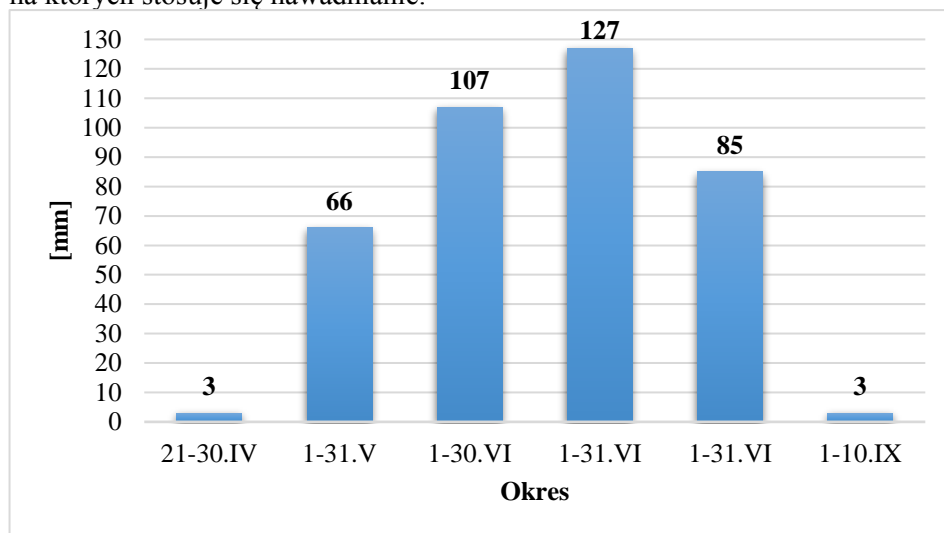
Rys. 6. Warunki wodne soi i ich zmienność w okresie V-IX w rejonie Bydgoszczy w latach 1986-2015 [Żarski i in. 2019]

Z badań Żarskiego i in. [2019] wynika, że średnie niedobory opadów atmosferycznych w uprawie soi wynoszą w rejonie Bydgoszczy 18 mm. Niekorzystne warunki charakteryzujące się niedoborem większym niż 100 mm występowały w latach 1986-2015 z częstością 20%. W badanym 30-leciu odnotowano jednak poprawę warunków wodnych soi. W odniesieniu do okresu V-IX, zanotowano tendencję poprawy warunków wodnych o 20,8 mm na 10 lat (rysunek 6).

Jak podają Kasperska-Wołowicz i in. [2021] w badaniach dotyczących terenu województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010 zapotrzebowanie na wodę roślin soi, wyrażone wartością ewapotranspiracji potencjalnej, wyniosło 391 mm. Największe potrzeby odnotowano w miesiącach lipiec i sierpień, odpowiednio 107 i 127 mm (rysunek 7).

Według danych FAO [źródło internetowe nr 3] całkowity okres wegetacji soi mieści się w przedziale od 135 do 150 dni. Żarski i in. [2019] w swojej pracy wskazali, iż dla rejonu Bydgoszczy w latach 1986-2015 średnia długość okresu aktywnego wzrostu roślin wynosiła 162 dni. Zapotrzebowanie na wodę dla roślin soi w okresie wegetacji wynosi pomiędzy 450 a 700 mm według danych FAO [źródło internetowe nr 3]. Kasperska-Wołowicz i in. [2021] prognozują wzrost zapotrzebowania na wodę soi na poziomie 412 mm w latach 2021-2050, co wiąże

się z prognozowanym wzrostem temperatury powietrza. Przewidywany wzrost zapotrzebowania na wodę może wpłynąć na wzrost powierzchni uprawnych, na których stosuje się nawadnianie.



Opracowanie własne na podstawie danych Kasperska-Wołowicz i in. [2021]

Rys. 7. Potrzeby wodne soi w okresie wegetacyjnym w latach 1981–2010

## 2.8. PROGNOZOWANE ZMIANY KLIMATYCZNE A WZROST NIEKORZYSTNYCH CZYNNIKÓW

Według Tindwa i in. [2019] soja jest rośliną z możliwościami uprawy w różnych szerokościach geograficznych, od klimatu tropikalnego i subtropikalnego do umiarkowanego. Jak podają Dalal i Kulkarni [2013] soja to roślina o zdolnościach przystosowania się do zmieniających warunków klimatycznych.

Kołodziej i Pisulewska [2000] podają, iż uprawa soi w Polsce jest ściśle zależna od warunków klimatycznych. Polska leży w strefie klimatu umiarkowanego przejściowego ciepłego. Cechami charakterystycznymi klimatu Polski są średnie roczne temperatury powietrza w zakresie 0-10°C, różnicami pomiędzy odnotowaną minimalną, a maksymalną temperaturą rzędu do 45°C, a także suma opadów rocznych na poziomie 300-1000 mm [Augustyńska i Bębenista 2019].

Od kilku lat prowadzone są dyskusje dotyczące możliwości uprawy soi w klimacie umiarkowanym przejściowym Polski [Kościelniak 2015, Nawracała 2015]. Jak podają Kołodziej i Pisulewska [2000] głównym terenem uprawy soi w Polsce jest obszar południowo-wschodni. Roślinę można uprawiać także w rejonie południowo-zachodnim, ale ze względu na klimat o wilgotnej charakterystyce uprawa ta jest bardziej ryzykowna. Warunki klimatyczne

oraz ujemna reakcja na długość dnia to główne przeszkody w uprawie soi na szeroką skalę na terenie Polski.

Jak podają Behrens i in. [2010] zmiany klimatyczne mogą mieć różny charakter w zależności od regionu Europy, co prowadzi do regionalizacji i dysproporcji z nich wynikających w rolnictwie. Zmienność warunków klimatycznych ma bardzo ważny wpływ na efektywność produkcji rolnej, nawet w warunkach zaawansowanych technologicznie obszarów [Kang i in. 2009].

Zmiany klimatu są niewątpliwie zagrożeniem dla gospodarki wodnej, niosąc ryzyko wielu zmian gospodarczych i społecznych w rolnictwie [Aminah i in. 2021]. Zmiany zasobów wodnych skutkują takimi konsekwencjami jak niedobory wody łatwo dostępnej dla roślin czy też obniżenie jakości wody poprzez wzrost jej temperatury, jak podają Iglesias i Garrote [2015]. Zmiany klimatu, w szczególności dotyczące opadów atmosferycznych oraz temperatury powietrza bardzo często negatywnie wpływają na wielkość i jakość plonów roślin uprawnych [Varnica i in. 2018]. Jak podają Ray i in. [2015] zmienność klimatu w ujęciu globalnym determinuje 32-39% zmienności plonów.

Zmiany klimatyczne w Polsce według Stuczyńskiego i in. [2000] istotnie wpłyną na warunki uprawy roślin poprzez deficyt wody, przesunięcie terminów siewów oraz zbiorów, zmianę udziału roślin w strukturze upraw oraz wysokości ich plonów.

Bąk i Łabędzki [2014a] w swoich badaniach prognozują w świetle zmian klimatycznych wzrost średniej temperatury powietrza w miesiącach kwiecień-wrzesień w rejonie Bydgoszczy. Jak podają Łabędzki i in. [2013] zmiany warunków klimatycznych na terenie Polski będą skutkowały wzrostem temperatury w przedziale 2–4°C. Z kolei sumy opadów w okresie wegetacyjnym według prognoz ulegną zmniejszeniu o około 55 mm w rejonie Bydgoszczy [Bąk i Łabędzki 2014b].

Kozyra i in. [2009] oraz Żmudzka [2012] prognozują, iż zmiany klimatu powodujące wydłużenie okresu wegetacji pozwolą wprowadzić na szerszą skalę soję do uprawy w Polsce. Jak podaje Żmudzka [2012] ewolucja warunków termicznych na terenie Polski po roku 1950 cechuje się wzrostem temperatury powietrza. Stan taki skutkuje wydłużeniem okresu wegetacji oraz zwiększeniem zasobów termicznych w okresie wegetacji i aktywnego wzrostu roślin, określanych przez sumy efektywnej temperatury.

Obszar województwa kujawsko-pomorskiego ma bardzo duże znaczenie w łącznej produkcji roślinnej na terenie Polski. Teren ten narażony jest na zmiany warunków klimatycznych, jak rozkład w czasie oraz przestrzeni temperatur i opadów atmosferycznych. To właśnie deficyty wody łatwo dostępnej dla roślin są elementem wpływającym na rozwój nawadniania roślin uprawnych [Kasperska-Wołowicz i in. 2021].

Żarski i in. [2019] w swoich badaniach dokonali oceny wpływu niekorzystnych czynników w latach 1986-2015, zwiększających ryzyko klimatyczne uprawy soi w rejonie Bydgoszczy. Niekorzystne dla uprawy soi zjawiska klimatyczne, jak: skrócenie okresu aktywnego wzrostu, opóźnienie



dnia, w którym gleba nagrzej się do 8°C na głębokości 5 cm, wystąpienie susz meteorologicznych i rolniczych oraz przymrozków późnowiosennych charakteryzują się wysoką częstością występowania, ale przede wszystkim bardzo dużą zmiennością czasową. Istotne tendencje zmian zauważono dla takich składowych warunków klimatycznych jak: wzrost liczby umiarkowanych i silnych przymrozków oraz wcześniejsze rozpoczęcie okresu, gdy gleba osiągnie 8°C na głębokości 5 cm. Jak podają autorzy wzrasta ziemność czasowa liczby umiarkowanych i silnych przymrozków późnowiosennych oraz daty wystąpienia ostatniego przymrozku późnowiosennego. Jednocześnie obserwowane są korzystne zmiany warunków klimatycznych wskazujące na możliwość uprawy soi w centralnej Polsce. Poprawie ulegają warunki wodne w okresie zintensyfikowanych potrzeb wodnych rośliny, długość okresu intensywnego wzrostu oraz warunki termiczne w okresie siewu soi.

## **2.9. POTRZEBY POKARMOWE SOI. NAWOŻENIE AZOTEM JAKO CZYNNIK STYMULUJĄCY WZROST PŁONU NASION**

Podstawowym warunkiem pozwalającym na wprowadzenie intensywnej produkcji roślinnej do polskiego rolnictwa jest dostosowanie warunków siedliska rolniczego do wymagań stawianych przez rośliny w różnych fazach rozwojowych. Jako najważniejszy czynnik plonotwórczy wymienia się odpowiednie zabezpieczenie roślin w składniki pokarmowe [Wojtasik 2004].

Do prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin niezbędne jest dostarczenie 17 składników odżywczych. Azot, fosfor czy też potas uważane są za makroelementy, na które zapotrzebowanie roślin jest większe niż na mikroelementy. Jako mikroelementy typowe dla soi wymienia się mangan, bor, cynk i molibden [Thapa i in. 2021]. Jak podają Ma i in. [2019] azot jest najważniejszym składnikiem pokarmowym w produkcji roślinnej, ze względu na pełnienie kluczowej roli w syntezie głównych biocząsteczek. Według Abd El Baki i in. [2020] nawożenie azotem jest najbardziej stymulującym wzrost roślin zabiegiem agrotechnicznym. Jak podają Thapa i in. [2021] pozytywny wpływ nawożenia azotem na wysokość plonu kukurydzy czy też pszenicy, szczególnie w drugiej połowie lat 40-tych XX wieku, spowodował zainteresowanie badaczy tym zabiegiem agrotechnicznym.

Soja należy do roślin o wysokich wymaganiach pokarmowych, z potrzebami pokarmowymi na poziomie: 60–80 kg·ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 120–160 kg·ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O i 15-60 kg·ha<sup>-1</sup> N. 30-60% zapotrzebowania na azot jest pokrywane w wyniku symbiozy roślin soi z bakteriami brodawkowymi [Lorenc-Kozik i Pisulewska 2003]. Z kolei Ma i in. [2019] podają w swojej pracy, iż wiązanie wolnego azotu pozwala na pokrycie całkowitych potrzeb pokarmowych soi na azot w 50-60%. Jak wskazują Eteng i Nwagbara [2014] dostępność składników odżywczych w glebie zależy od jej pH. Soja najlepiej plonuje w glebie o wartości pH pomiędzy 6,2 a 7,0.

Jak podają Sallvagiotti i in. [2008]  $80 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  na 1 tonę nasion + słomy to zapotrzebowanie pokarmowe rośliny na pierwiastek azotu. Zakładając plony nasion wysokości  $2,0\text{-}3,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  zalecane wykorzystanie azotu to wartość pomiędzy  $160$  a  $240 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ , z czego tylko 50-80% tej wartości może być pokryte w wyniku symbiozy soi z bakterią *Rhizobium*.

Jarecki i Bobrecka-Jamro [2016] wskazują, iż ważnym w uprawie soi zabiegiem agrotechnicznym jest szczepienie materiału siewnego nitrainą, gdyż dzięki bakteriom brodawkowym soja może wiązać wolny azot atmosferyczny, co zmniejsza nawożenie mineralne azotem celem pokrycia potrzeb pokarmowych rośliny. Przyjmuje się, iż rośliny soi dzięki symbiozie mogą zyskiwać nawet do  $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Wpływa to pozytywnie nie tylko na środowisko przyrodnicze, ale również na poprawę efektywności ekonomicznej uprawy soi. Jak podają Salvagiotti i in. [2008] oraz Santi in. [2013] wiązanie wolnego azotu atmosferycznego przez rośliny strączkowe poprzez dostarczenie dużych ilości azot wpływa pozytywnie na glebę, poprawiając jej produktywność. Ponadto, rośliny strączkowe, a w szczególności soja dostarczają do gleby  $50\text{-}200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  N organicznego poprzez pozostałości poźniwne, masę nadziemną i podziemną [Powers i McSorley 2000].

Rezultaty licznych badań potwierdzają wpływ nawożenia azotem na wielkość plonu nasion soi, a także jego jakość. Osborne i Riedell [2006] podają, iż zastosowanie startowej dawki azotu w warunkach północnych Wielkich Równin może spowodować wzrost wielkości plonu, ale za tym nie musi iść poprawa jakości nasion soi. Salvagiotti i in. [2009] wskazują, iż nawożenie azotem w formie mocznika zwiększa plon nasion soi o 5%, co w prowadzonych badaniach równało się  $228 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Z kolei Caliskan i in. [2008] podają, iż wprowadzenie do uprawy soi na glebach typu śródziemnomorskiego dawki startowej azotu może korzystnie wpływać na wczesny wzrost roślin i wielkość końcowego plonu nasion. Zastosowanie nawożenia azotem w dawce  $30 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  wpływa pozytywnie na wielkość plonu nasion soi, powodując wzrost plonu o  $0,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  [Lorenc-Kozik i Pisulewska 2003].

Na korelacje pomiędzy uzyskanym poziomem plonów, a dawką nawozów wpływa uwilgotnienie gleby, które zależy od ilości i rozkładu opadów. Na wysokość dawki nawozów wpływają ponadto takie czynniki jak zastosowany przedplon, termin nawożenia i zasobność gleby [Abramczuk i in. 2018].

Jak podają Lorenc-Kozik i Pisulewska [2003] źle dobrane dawki nawożenia azotem skutkują opóźnieniem okresu kwitnienia czy też wydłużają wegetację. Według Wojtasika [2004] zastosowanie dużych ilości nawozów połączone z intensywną uprawą roślin może skutkować zmniejszeniem stabilności plonowania w warunkach niedoboru wody w glebie.

## **2.10. NAWADNIANIE JAKO ZABIEG AGROTECHNICZNY MINIMALIZUJĄCY SKUTKI DEFICYTÓW WODY**

Zmienność czasowa jest cechą charakterystyczną klimatu Polski [Rzekanowski i in. 2011]. Skutkuje to dominującą pozycją opadów atmosferycznych jako decydującego czynnika w produkcji rolniczej. Szczególnie ważne są ilość i rozkład opadów w trakcie okresu wegetacyjnego [Stachowski 2010]. Ściśle powiązaniem z tym zjawiskiem atmosferycznym są okresy posuszne prowadzące do zmniejszenia w glebie zawartości wody łatwo dostępnej dla roślin, co prowadzi z kolei do spadku wielkości plonu oraz pogorszenia jego jakości. Negatywne skutki posuch można minimalizować stosując nawadnianie roślin [Rzekanowski i in. 2011]. Jak podają Stachowski i Markiewicz [2011] ostatnimi laty na terenie Polski z większą częstotliwością występują susze. Charakteryzują się one zwiększoną intensywnością oraz większym zasięgiem, powodując negatywne skutki w rolnictwie. Będące efektem zmian klimatycznych ocieplenie klimatu skutkuje zwiększonym zapotrzebowaniem roślin uprawnych na wodę [Jagosz i in. 2021].

Jak podaje Rolbiecki [2013] nawadnianie w Polsce jest zabiegiem agrotechnicznym o charakterze interwencyjnym. Wyjątek stanowią obszary deficytowe w wodę położone na glebach o niskich zdolnościach retencyjnych oraz niskim poziomie opadów atmosferycznych w okresie wegetacji. Nawadnianie pozwala zapewnić na tych terenach wysokie, stabilne i dobre jakościowo plony uprawianych roślin. Rzekanowski i in. [2011] jako takie obszary wskazują Krainę Wielkich Dolin. Przewidywane zmiany klimatu, a co za tym idzie prognoza wzrostu zapotrzebowania roślin uprawnych na wodę, może przyczynić się do wzrostu powierzchni nawadnianych na Kujawach i konieczności racjonalnego gospodarowania zasobami wodnymi [Kasperska-Wołowicz i in. 2021]. Bodner i in. [2015] podają, iż susze stanowią zagrożenie dla prawidłowego wzrostu i plonowania roślin strączkowych.

Według danych Rocznika Statystycznego Rolnictwa [2020] na świecie w 2017 roku nawadniano 337.670 tys. hektarów. Na terenie Polski w analogicznym okresie nawadniana powierzchnia wynosiła 271 tys. hektarów. Według Gava i in. [2014] nawadnianie w krajach rozwijających się może do roku 2030 wzrosnąć o 20%. Dane statystyczne bazy AQUASTAT [2023] wskazują, iż powierzchnia nawadniania soi w Chinach wynosiła w 2020 roku 3,225 mln ha, w USA 2,85 mln ha, w Brazylii 624 tys. ha, Indonezji 279 tys. ha. W Europie soję nawadniano na powierzchni 85 tys. ha we Włoszech oraz 30 tys. ha we Francji. Według Torrión i in. [2014], dla przykładu w Nebrasce nawadniana jest połowa arealu uprawnego soi.

W 2018 roku powierzchnia nawadnianych użytków rolnych i gruntów leśnych w Polsce wyniosła 70.705 ha, z czego 60.900 ha nawadniano metodą podsiąku. Kolejne 8.891 ha stanowiło nawadnianie deszczowniane, a 193 ha nawadnianie zalewowe. Analizując dane z roku 2018 dotyczące województwa kujawsko-pomorskiego stwierdzono, iż powierzchnia nawadnianych użytków

rolnych i gruntów leśnych wyniosła 2.726 ha, z tej liczby 2.098 ha stanowiły nawodnienia podsiąkowe, a 628 ha było nawadnianych poprzez deszczowanie [Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2020].

Według badań Żarskiego i Dudka [2009] nadal skomplikowanym jest liczbowe zaprezentowanie potrzeb nawadniania roślin. Przyczyną tego jest złożona zależność wskaźników potrzeb wodnych od kompleksu czynników glebowych i meteorologicznych, ale również różnice odmianowe roślin. Do oceny potrzeb nawadniania wykorzystuje się wskaźniki opadowe obrazujące potrzeby wodne roślin. Z kolei dawki nawodnieniowe są określane na podstawie wskaźników ewapotranspiracji łąnu roślin. Zastosowanie zabiegu nawadniania powinno wiązać się z analizą zapotrzebowania roślin soi na wodę, panujących warunków klimatycznych oraz bilansu wody łatwo dostępnej w glebie [Luca i in. 2003].

Na całym świecie prowadzone są badania nad praktycznym wykorzystaniem zabiegu nawadniania w rolnictwie celem zwiększenia plonowania roślin oraz poprawy jego jakości [Isaev i in. 2021]. Przykładowo w bydgoskim ośrodku prowadzono prace badawcze nad potrzebami i efektami nawadniania wielu gatunków roślin uprawnych, m.in. takich roślin jak kukurydza [Żarski i in. 2013], jęczmień [Żarski i in. 2011, Błażewicz i in. 2017] czy też ziemniak [Rzekanowski i in. 2013]. W badaniach stwierdzono pozytywny wpływ zastosowania nawadniania na wielkość plonu badanej roślin, na przykład w badaniach dotyczących ziemniaka deszczowanie zwiększało średnio w badanym okresie plon bulw o 94,3% w stosunku do obiektów kontrolnych. Dotychczas w rejonie Bydgoszczy nie badano wpływu nawadniania na plon soi. Z kolei w ośrodku zachodniopomorskim prowadzono badania nad wpływem zastosowania w agrotechnice zabiegu nawadniania bobiku na wielkość plonu [Rokosz i Podsiadło 2015], cechy biometryczne [Podsiadło i Rokosz 2008] oraz zachwaszczenie [Podsiadło i in. 2017].

W Stanach Zjednoczonych (Arkansas) prowadzono badania nad zintegrowanymi systemami zarządzania wodą do nawodnień, których przedmiotem była soja. Osiągnięte wyniki pokazują, że zastosowanie takich systemów w produkcji soi powoduje zmniejszenie zapotrzebowania na wodę gruntową, bez ujemnego wpływu na wielkość plonu nasion soi oraz ekonomiczną opłacalność jej uprawy [Bryant i in. 2017].

Eid i in. [2013] prowadzili badania dotyczące wpływu pulsacyjnego nawadniania kropłowego oraz systemów mulczowania na wysokość oraz jakość plonu nasion soi w warunkach suchego i półsuchego rejonu świata. Jak ustalili autorzy wpływ obu zabiegów był pozytywny na wielkość i parametry jakościowe plonu nasion oraz efektywność wykorzystania wody do nawadniania. Dążenie do poprawy efektywności wykorzystania wody, a także prawidłowe zarządzanie zasobami wodnymi pozwala na ochronę ograniczonych zasobów wodnych świata, których znaczna część wykorzystywana jest przez rolnictwo [Fidantemiz i in. 2019].

Yazdani i in. [2007] w swojej pracy potwierdzili wpływ nawadniania na wzrost i plonowanie soi. Prowadząc badania w warunkach polowych wykazano istotny wpływ przerw w stosowaniu nawadniania w agrotechnice na następujące elementy: plon nasion, całkowitą suchą masę, wskaźnik powierzchni liści, tempo wzrostu upraw, wysokość roślin i wskaźnik zbiorów. Badania nad wpływem nawadniania na wzrost i plonowanie soi prowadzili również Sharda i in. [2019], przy czym warto podkreślić, że stosowali różne scenariusze – progi nawadniania.

Gollo i in. [2021] w badaniach prowadzonych na terenach nizinnych południowej Brazylii stwierdzili, iż zastosowanie zabiegu nawadniania zwiększa plon nasion soi o 29% w stosunku do plonu osiąganego na terenach nienawadnianych.

Jak podają Kasperska-Wołowicz i in. [2021] wzrost dawki nawadniania istotnie wpływa na zawartość procentową składu chemicznego oraz wzrost suchej masy i plonu nasion soi.

Ponadto Ma i in. [2019] podają, iż deficyt wody skutkuje niskim stopniem wiązania azotu atmosferycznego przez soję w wyniku symbiozy z bakteriami *Rhizobium*. Stosowanie nawadniania ma pozytywny wpływ na symbiotyczne działanie z soją bakterii *Bradyrhizobium japonicum*, wiążącej azot.

Kuss [2006] uważa nawadnianie za jedną z najskuteczniejszych metod zwiększenia wielkości oraz poprawę jakości plonów. Aminah i in. [2021] w swoich badaniach stwierdzili, iż zastosowanie metody zalewowej w okresie kwitnienia spowoduje wzrost produktywności soi w postaci plonu wielkości 4,64 t·ha<sup>-1</sup>. Wprowadzenie do agrotechniki innowacyjnych praktyk nawadniania wpływa na efektywność wodną ekosystemu oraz korzyści ekonomiczne.

Jak podaje Torrión i in. [2014] głównym celem nawadniania jest utrzymanie w glebie zawartości wody powyżej punktu środkowego, tj. pomiędzy maksymalnym wysyceniem gleby wodą, a trwałym punktem wędnięcia. Niezwykle ważne jest nawadnianie w odpowiedniej dawce, której wielkość i termin wynika z prowadzonych obserwacji i pomiarów. Planowanie nawadniania oparte na obserwacji bilansu wodnego gleby pozwala na efektywne wykorzystanie przez rośliny dostarczanej wody i wzrost plonowania.

Nawadnianie stosowane jest nie tylko w suchych i półsuchych rejonach kuli ziemskiej, ale także w wilgotnych i półwilgotnych celem utrzymania wydajności produkcyjnej roślin w okresach niedoborów wody. Nawadnianie w swojej istocie powinno zapewnić uzyskanie maksymalnej wydajności z ograniczonych zasobów wodnych danego terenu uprawnego. Planowanie nawadniania pozwala na optymalizację procesu poprawy wydajności wody, w którym niezwykle istotna jest ilość wody wykorzystana do nawadniania, ale również czas zastosowania zabiegu, uwzględniając pogodę czy też specyfikę podłoża [Abd El Baki i in. 2020].

Z kolei Pimentel i in. [2021] wskazują, iż jednym ze sposobów ograniczenia negatywnego wpływu deficytu wody na rośliny jest poszukiwanie genotypów odpornych na susze.

## 2.11. EKONOMICZNA OPŁACALNOŚĆ UPRAWY SOI

Roślina może mieć bardzo dobry skład chemiczny nasion, wysoki plon z hektara czy też charakteryzować się niskimi wymaganiami glebowo-klimatycznymi uprawy. Jej płody rolne mogą wpływać korzystnie na organizm człowieka oraz środowisko przyrodnicze. Jednak o powszechności wykorzystania w rolnictwie decyduje opłacalność ekonomiczna uprawy danej rośliny, na danym terenie.

Polscy rolnicy w świecie globalnym muszą rywalizować o rynki zbytu z producentami z całego świata. W takiej sytuacji niezbędna jest kalkulacja kosztów produkcji oraz wielkości przychodu uzyskiwanych z uprawy danej rośliny. Konkurencyjność produkcji danego gospodarstwa definiuje m.in. stosowana technologia, know-how czy też warunki klimatyczno-glebowe [Boczar 2016].

W ośrodku bydgoskim prowadzono badania opłacalności ekonomicznej uprawy wybranych roślin w rejonie Bydgoszczy oraz stosowanych zabiegów agrotechnicznych. Prace dotyczyły oceny efektywności ekonomicznej zastosowania nawadniania w agrotechnice wybranych upraw polowych. Kledzik i in. [2015] oraz Kledzik i in. [2017] w swoich pracach wykorzystali takie rośliny jak: ziemniak jadalny, jęczmień browarny jary oraz kukurydza uprawiana na ziarno.

Ekonomiczna ocena opłacalności uprawy soi była przedmiotem badań zarówno polskich jak i zagranicznych naukowców.

Boczar [2016] w swoich badaniach dokonał analizy opłacalności uprawy soi w Polsce. Określił tym samym konkurencyjność polskich gospodarstw na tle globalnych potentatów jak Stany Zjednoczone, Brazylia oraz Argentyna – po dwa gospodarstwa do analizy. Ze względu na brak danych odnośnie kosztów produkcji soi w Polsce wykorzystał założenia przyjęte przy produkcji kukurydzy, zarówno koszty ziemi, jak i koszty operacyjne. Zdaniem autora, technologia produkcji soi jest zbliżona do produkcji kukurydzy pod względem agrotechniki.

Z kolei Augustyńska i Bębenista [2019] przeprowadzili badania mające na celu ocenę efektywności ekonomicznej upraw soi oraz łubinu słodkiego. Przedmiotem badań były gospodarstwa indywidualne w Polsce, należące do FADN. Autorzy w swoich badaniach do określenia kosztów bezpośrednich oraz nakładów ponoszonych na działalność produkcyjną wykorzystali dane z systemu AGROKOSZTY. Natomiast dane o kosztach pośrednich pobrano z systemu FADN.

Efektywność produkcji soi w Polsce była także przedmiotem analiz Dobek i Dobek [2008], którzy w swojej pracy założyli w uprawie soi następujące koszty: materiałów i surowców, eksploatacji maszyn i urządzeń oraz robocizny.

Augustyńska i Bębenista [2019] w swoich obliczeniach uwzględnili poziom plonowania i ceny sprzedaży nasion soi. Ponadto wyliczyli wartość produkcji, nadwyżki bezpośredniej oraz dochodu po przeliczeniu na 1 ha w wariacie z dopłatami oraz bez dopłat. Jako koszty bezpośrednie uznano koszty: materiału

siewnego, nawozów mineralnych oraz organicznych z zewnątrz, środków ochrony roślin oraz regulatorów wzrostu. Z kolei jako koszty pośrednie zakwalifikowano koszty: energii elektrycznej, opału, paliw, podatki, amortyzację sprzętu oraz budynków czy też wynagrodzenie za pracę i koszty kredytów.

Augustyńska i Bębenista [2019] podkreślają ważność w badaniach ekonomicznej opłacalności uprawy roślin kosztów bezpośrednich, a szczególnie ich struktury.

Boczkar [2016] w swojej pracy dowiódł, iż 55% kosztów bezpośrednich stanowiły koszty materiału siewnego. Koszty bezpośrednie oraz operacyjne miały największy udział w strukturze założonych kosztów, na zbliżonym poziomie około 40%. Łączne koszty produkcji soi w Polsce wyniosły 907 Euro·ha<sup>-1</sup>. Taki musiałby być przychód aby pokryć koszty. Koszty produkcji 1 tony nasion soi wyniosły 324 Euro. Dobek i Dobek [2008] w wyniku badań stwierdzili, iż największy udział w strukturze poniesionych kosztów to koszty eksploatacji maszyn i urządzeń, dalej były koszty materiałów i surowców. Z kolei Augustyńska i Bębenista [2019] podają, iż w 2017 roku koszty bezpośrednie stanowiły 42,3% ogółu kosztów, a w roku 2015 było to 56,4%, z czego w obu omawianych przypadkach w strukturze ww. kosztów dominowały koszty materiału siewnego, nawozów mineralnych, środków ochrony roślin, a także regulatorów wzrostu. Należy nadmienić, iż wartość poszczególnych składników była różna, co wynikało z różnic cen obowiązujących na rynkach w danym roku.

Augustyńska i Bębenista [2019] podkreślają duże znaczenie dopłat w końcowym bilansie. W roku 2015 wynikająca z warunków pogodowych niska produktywność rośliny nie pozwoliła na osiągnięcie dodatniego dochodu. Odnotowano dochód ujemny o wartości -429,00 zł·ha<sup>-1</sup>. Ekonomiczną opłacalność, w postaci dodatniego dochodu (w kwocie 822,00 zł·ha<sup>-1</sup>) z uprawy soi zapewniły dopłaty. W swoich analizach wskazują, iż uprawa soi w 2017 była opłacalna ekonomicznie. Wskaźnik efektywności ekonomicznej osiągnął wartość powyżej 100%. Z kolei w 2015 roku 78,2%, co oznacza iż uprawa powodowała straty. Ustalono, iż bardzo wysoki wskaźnik efektywności ekonomicznej w roku 2017 osiągnięto w dużej mierze dzięki wysokim plonom nasion soi, które były zależne od warunków pogodowych w danym okresie wegetacyjnym. Jako główne zagrożenia opłacalności ekonomicznej soi badacze wskazują na okresowe niedobory wody w kluczowych fazach wzrostu rośliny wpływające na wysokość plonu nasion, ale również ceny sprzedaży, zmienną wartość kosztów oraz zależność od dopłat.

Z kolei Boczkar [2016] jako przeszkodę w uprawie soi na terenie Polski oraz element wpływający na opłacalność takiej uprawy wskazuje ograniczoną ilość herbicydów, stosowanych do odchwaszczania upraw soi. Nadmienia, iż pomimo stale rosnącej gamy środków nadal ich ilość jest niewielka w porównaniu do np. stosowanych w uprawie zbóż. Jako kolejny element wymienia wadliwy zbiór rośliny, spowodowany brakiem przystosowanych kombajnów do zbierania nisko osadzonych strąków. Taka sytuacja może

powodować straty w zbiorze, co prowadzi do strat w rachunku ekonomicznym. W jego opinii ograniczeniem w uprawie soi mogą być też utrudnienia w sprzedaży nasion soi. Ze względu na rozdrobnienie producentów problematycznym może być dostarczenie odpowiedniej ilości surowca spełniającego określone parametry. Dla rozwoju uprawy soi niezwykle ważne są prace mające na celu udoskonalenie technologii produkcji oraz usprawnienie obrotu nasionami omawianej rośliny. Skutkiem tego będzie wzrost opłacalności uprawy soi, a co za tym idzie większe zainteresowanie rośliną przez producentów oraz podążający za tym wzrost krajowej produkcji białka roślinnego, bez wywoływania tego zjawiska m.in. poprzez dopłaty.

Kasperska-Wołowicz i in. [2021] w swojej pracy wskazują, iż przyjęta agronomia oraz pogoda są głównymi czynnikami wpływającymi na zróżnicowaną wartość produkcji roślin soi na terenie Polski. Uprawa soi charakteryzuje się małą zmiennością kosztów bezpośrednich, w strukturze których główną część stanowią koszty materiału siewnego. Jak podają autorzy uprawa soi niezmodyfikowanej genetycznie na terenie województwa kujawsko-pomorskiego jest opłacalna ekonomicznie przy plonie nasion o minimalnej wartości wynoszącej  $2,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Jak podają w swoich badaniach Dobek i Dobek [2008] oraz Dobek i in. [2009] na podstawie uzyskanych wyników uprawa soi w Polsce jest opłacalna ekonomicznie.



### **3. MATERIAŁ I METODY**

#### **3.1. INFORMACJE OGÓLNE**

Rozprawa doktorska została przygotowana na podstawie rezultatów ścisłych eksperymentów polowych z nawadnianiem deszczownianym oraz nawożeniem azotem soi, wykonanych w latach 2015-2018.

Ekspertyzy zrealizowano na polach doświadczalnych Stacji Badawczej Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy. Pola zlokalizowane są w miejscowości Mochełek, położonej około 20 km od Bydgoszczy w gminie Sienko, w powiecie bydgoskim. Teren pod względem geograficznym jest położony na południowo – wschodniej krawędzi Wysoczyzny Krajeńskiej, tj. 17°51' długości geograficznej oraz 53°13' szerokości. Teren ten leży na wysokości 98,5 m n.p.m. Stacja badawcza (obecnie włączona do RZD Minikowo) należy do najstarszych obiektów doświadczalnych w Polsce. Jak podaje informator „Oferta naukowo-badawcza UTP dla gospodarki” [2012] główne jej zadania to:

- prowadzenie badań eksperymentalnych w zakresie produkcji roślinnej oraz realizowanie doświadczeń ujętych w planie badawczym Stacji,
- kształcenie praktyczne studentów Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii,
- obsługa punktu agrometeorologicznego i dokumentacji danych meteorologicznych.

#### **3.2. CHARAKTERYSTYKA ODMIAN**

W ostatnich latach odnotowuje się według danych COBORU [2021] coraz większe zainteresowanie nowymi odmianami soi. W roku 2015 testowano 10 odmian, natomiast w 2021 roku było to już 19 odmian.

W prowadzonych doświadczeniach polowych w ramach rozprawy doktorskiej sprawdzono dwie odmiany soi: ‘Aldana’ oraz ‘Merlin’.

Odmiana ‘Aldana’ należy do grupy odmian wczesnych [źródło internetowe nr 4]. Według danych COBORU [2017] charakteryzuje się zdolnością kiełkowania na poziomie 89%. Jak podają wyniki porejestrowych doświadczeń odmianowych COBORU (tabela 5) prowadzonych w roku 2016, wysokość plonu nasion odmiany ‘Aldana’ wyniosła 25,1 dt·ha<sup>-1</sup>. Odmiana ta w roku badań 2016 charakteryzowała się wyższą w porównaniu do wzorca zawartością białka ogólnego (34,6% s.m.), tłuszczu surowego (24,0% s.m.) oraz włókna surowego (8,1% s.m.). Ponadto równomierniej dojrzewała (8,5 w skali 9°) oraz osiągnęła wyższą masę tysiąca nasion (181 g), w porównaniu ze wzorcem.

Odmiana ‘Merlin’ należy do grupy odmian średniowczesnych [COBORU 2018]. Jak podają dane COBORU [2018] charakteryzuje się zdolnością kiełkowania na poziomie 92%. Według wyników porejestrowych doświadczeń odmianowych COBORU (tabela 6) prowadzonych w roku 2017

wysokość plonu nasion odmiany ‘Merlin’ wyniosła 37,5 dt·ha<sup>-1</sup> i była to wartość wyższa niż wzorzec. Ponadto wyższe wartości niż wzorzec opisywana odmiana soi osiągała dla takich cech jak: zawartość tłuszczu surowego (23,7% s.m.) oraz włókna surowego (8,1% s.m.), a także równomierniej dojrzewała (8,2 w skali 9°).

Tabela 5. Charakterystyka odmiany ‘Aldana’

<b>Wyszczególnienie</b>	<b>Wartość</b>	<b>Wzorzec</b>	<b>Jednostka</b>
Plon nasion	25,1	31,1	dt·ha <sup>-1</sup>
Zawartość białka ogólnego	34,6	34,1	% s.m.
Zawartość tłuszczu surowego	24,0	23,7	% s.m.
Zawartość włókna surowego	8,1	8,0	% s.m.
Wysokość roślin	72,0	86,0	cm
Wysokość osadzenia najniższych strąków	9,6	11,6	cm
Dł. okresu od siewu do początku kwitnienia	53	55	liczba dni
Dł. okresu od siewu do początku dojrzewania	108	115	liczba dni
Dł. okresu od siewu do dojrzałości technicznej	117	124	liczba dni
Dł. okresu od siewu do dojrzałości żniwnej	127	133	liczba dni
Długość fazy kwitnienia	25	27	liczba dni
Osypywanie strąków	8,6	8,6	skala 9°
Równomierność dojrzewania	8,5	8,1	skala 9°
Masa tysiąca nasion	181	176	g

Opracowanie własne na podstawie danych COBORU [2017]

Tabela 6. Charakterystyka odmiany ‘Merlin’

<b>Wyszczególnienie</b>	<b>Wartość</b>	<b>Wzorzec</b>	<b>Jednostka</b>
Plon nasion	37,5	34,4	dt·ha <sup>-1</sup>
Zawartość białka ogólnego	38,4	39,2	% s.m.
Zawartość tłuszczu surowego	23,7	22,9	% s.m.
Zawartość włókna surowego	8,1	7,1	% s.m.
Wysokość roślin	88,0	88,0	cm
Wysokość osadzenia najniższych strąków	10,7	11,7	cm
Dł. okresu od siewu do początku kwitnienia	50	52	liczba dni
Dł. okresu od siewu do początku dojrzewania	114	116	liczba dni
Dł. okresu od siewu do dojrzałości technicznej	124	126	liczba dni
Dł. okresu od siewu do dojrzałości żniwnej	132	135	liczba dni
Długość fazy kwitnienia	25	25	liczba dni
Osypywanie strąków/nasion	8,1	8,7	skala 9°
Równomierność dojrzewania	8,2	7,9	skala 9°
Masa tysiąca nasion	174	196	g

Opracowanie własne na podstawie danych COBORU [2018]

### 3.3. CZYNNIKI DOŚWIADCZENIA

Ekspertyzy polowe w latach 2015-2018 przeprowadzono w czterech powtórzeniach metodą losowych podbloków w układzie zależnym split-plot.

W doświadczeniach zastosowano dwa czynniki.

Jednym z dwóch czynników była woda, którą aplikowano badanym odmianom soi przy użyciu nawadniania deszczownianego. Czynniki ten zastosowano w dwóch wariantach:

- $W_0$  – bez deszczowania (obiekty kontrolne),
- $W_1$  – deszczowanie optymalne.

Na poletkach Stacji Badawczej prowadzono stały monitoring wilgotności korzeniowej warstwy gleby za pomocą bilansowania zapasu wody łatwo dostępnej na podstawie parametrów meteorologicznych. Terminy nawadniania ustalano na podstawie uzyskanych wyników przy użyciu metody profesora Grabarczyka [Grabarczyk i in. 1992]. Zastosowane deszczowanie było zabiegiem interwencyjnym, zależnym od warunków pogodowych i zapewniało w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu zapas wody łatwo dostępnej w całym okresie wegetacji soi. Poziom zaaplikowanej wody kształtował się następująco w badanych latach.

W sezonie wegetacyjnym 2015 roku łącznie zastosowano 240 mm wody w 8 dawkach po 30 mm. Nawadnianie stosowano w miesiącach: czerwiec (3 i 10 dzień miesiąca), lipiec (1 i 17 dzień miesiąca) oraz sierpień (3, 12, 17 i 25 dzień miesiąca). Sezon wegetacyjny 2016 wymagał zastosowania 1 dawki wielkości 25 mm, którą zaaplikowano w dniu 12 sierpnia. Z kolei zgodnie z pomiarami wilgotności strefy korzeniowej prowadzonych w sezonie wegetacyjnym roku 2017, zastosowano 1 dawkę w dniu 28 czerwca o wielkości 20 mm wody. Natomiast sezon wegetacyjny 2018 wymagał zastosowania 8 dawek o łącznej wielkości 210 mm wody. W czerwcu zastosowano 5 dawek: 4 dnia miesiąca 25 mm, 8 dnia miesiąca 25 mm, 15 dnia miesiąca 30 mm, 20 dnia miesiąca 25 mm oraz 29 dnia miesiąca 25 mm. W lipcu 2 dawki po 25 mm w dniach 4 i 9 lipca. W dniu 13 sierpnia zastosowano 30 mm wody.

Do przeprowadzenia nawadniania deszczownianego użyto przenośnego systemu, który wykorzystuje niskociśnieniowe, sektorowe głowice typu Nelson o jednostkowej wydajności  $200 \text{ l h}^{-1}$  przedstawione na fotografii 1.

Drugim z czynników był azot, który aplikowano roślinom soi w postaci nawożenia mineralnego. Czynniki ten zastosowano w dwóch wariantach:

- $N_0$  – bez nawożenia (obiekty kontrolne),
- $N_1$  – nawożenie azotem.

W badanych latach 2015-2018 zastosowano każdego roku trwania eksperymentu polowego nawożenie azotem w dawce  $30 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Azot zastosowano przedsięwzię jako dawkę startową w postaci saletry amonowej.



Źródło: archiwum prywatne autora. Fotografia wykonana w dniu 01.07.2015r.

Fot. 1. System nawadniania deszczownianego na poletkach doświadczalnych

### **3.4. ZASTOSOWANE ZABIEGI AGROTECHNICZNE**

Jako przedplon w doświadczeniach polowych stosowano jęczmień jary. Przedsewnie stosowano nawożenie fosforowo-potasowe w formie odpowiednio superfosfatu potrójnego oraz soli potasowej. Ponadto zastosowano zespół uprawek przedsewnych, przygotowujących glebę pod uprawę soi. Nasiona badanych odmian soi przed siewem zostały zaszczipione nitraginą oraz wysiane w następujących terminach:

- w sezonie wegetacyjnym 2015 – 9 kwietnia,
- w sezonie wegetacyjnym 2016 – 24 kwietnia,
- w sezonie wegetacyjnym 2017 – 24 kwietnia,
- w sezonie wegetacyjnym 2018 – 8 maja.

W terminach siewu nasion zastosowano herbicyd. W czasie trwania doświadczeń prowadzono także mechaniczną eliminację zachwaszczenia poletek. W okresie wzrostu soi przeprowadzono zabiegi ochrony przed szkodnikami.



Źródło: archiwum prywatne autora

Fot. 2. Widok na poletka doświadczalne odmian soi 'Aldana' oraz 'Merlin' w okresie wegetacji 2015 w dniu 01.07.2015r. – 83 dni od daty siewu



Źródło: archiwum prywatne autora

Fot. 3. Widok na poletka doświadczalne odmian soi 'Aldana' oraz 'Merlin' w okresie wegetacji 2016 w dniu 29.08.2016r. - 127 dni od daty siewu



Zbiorów dokonano przy użyciu kombajnu poletkowego, w fazie dojrzałości pełnej nasion soi analizowanych odmian, w następujących terminach:

- w sezonie wegetacyjnym 2015 – 17 września,
- w sezonie wegetacyjnym 2016 – 30 września,
- w sezonie wegetacyjnym 2017 – 19 października,
- w sezonie wegetacyjnym 2018 – 21 września.

Poletka doświadczalne w trakcie badań prezentują fotografie 2 i 3.

### **3.5. METODYKA PROWADZONYCH BADAŃ**

#### **3.5.1. Plon nasion oraz cechy biometryczne**

Przed zbiorem nasion soi analizowanych odmian ‘Aldana’ oraz ‘Merlin’ na poletkach doświadczalnych Stacji Badawczej dokonano oceny cech biometrycznych i elementów struktury plonu bezpośrednio na poletkach doświadczalnych oraz analizując pobrane próby materiału roślinnego. Ocena ta uwzględniała takie parametry jak:

- wysokość roślin [cm],
- wysokość osadzenia najniższego strąka na roślinie [cm],
- liczba strąków na jednej roślinie [szt.],
- liczba nasion z jednej rośliny [szt.].

Po zbiorze omawianych odmian soi, analizie poddano plon nasion [ $t \cdot ha^{-1}$ ] w przeliczeniu na 15% wilgotności oraz masę tysiąca nasion [g].

W Katedrze Przyrodniczych Podstaw Rolnictwa i Ogrodnictwa Politechniki Bydgoskiej przy pomocy programu komputerowego ANALWAR-5.1.FR dokonano analizy wariancji otrzymanych wyników plonu nasion, masy tysiąca nasion oraz składowych oceny biometrycznej materiału roślinnego. Rezultaty zostały przedstawione w rozdziale - wyniki badań.

Natomiast w laboratorium Politechniki Bydgoskiej wykonano analizy składu chemicznego nasion soi omawianych odmian w latach 2015-2017. Oznaczono następujące parametry składu chemicznego:

- białko ogólne – za pomocą metody kolorymetrycznej na kolorymetrze przepływowym,
- tłuszcz surowy – za pomocą metody Soxhleta.

#### **3.5.2. Warunki klimatyczne**

Panujące w rejonie Bydgoszczy warunki klimatyczne w badanym okresie scharakteryzowano w oparciu o dane meteorologiczne dotyczące opadów atmosferycznych oraz temperatury powietrza w okresach wegetacji 2015-2018 oraz wieloleciu 1990-2020. Dane te pochodziły z punktu pomiarowego zlokalizowanego w Mochelku, znajdującego się na terenie wcześniej opisanej Stacji Badawczej i istniejącego od 1949 roku. Od roku 1996 opiekę nad punktem

pomiarowym sprawują pracownicy Katedry Przyrodniczych Podstaw Rolnictwa i Ogrodnictwa Politechniki Bydgoskiej.

Warunki termiczne w latach 2015-2018 w rejonie Bydgoszczy opisano poprzez sklasyfikowanie poszczególnych okresów stosując metodę Lorenc [Lorenc 1994, Lorenc i Suwalska-Bogucka 1996], opartą o kryterium standaryzowanego odchylenia od średniej (11 klas).

Ponadto warunki termiczne w omawianych okresach wegetacji, a ściślej zasoby termiczne scharakteryzowano przy użyciu wskaźnika agroklimatycznego - sum efektywnych temperatur w okresie od siewu do zbioru soi w poszczególnych latach doświadczenia. Stopniodni wzrostu (GDD) zostały obliczone według poniższego wzoru [McMaster i Wilhelm 1997]. Jako progową temperaturę powietrza przyjęto zgodnie z literaturą wartość 6°C.

$$GDD = \left[ \frac{(T_{\max} + T_{\min})}{2} \right] - T_{\text{base}}$$

gdzie:

GDD – sumy temperatur efektywnych [°C],

$T_{\max}$  – maksymalna dobowa temperatura powietrza [°C],

$T_{\min}$  – minimalna dobowa temperatura powietrza [°C],

$T_{\text{base}}$  – wartość progowa temperatury powietrza [°C].

W pracy dokonano także oceny warunków wodnych panujących w okresie 2015-2018 w rejonie Bydgoszczy. Jednym z parametrów była ocena ilości opadu w okresie prowadzenia doświadczeń polowych, którą wykonano przy użyciu wskaźnika RPI. Wykorzystano opartą na powyższym wskaźniku klasyfikację Kaczorowskiej [1962].

Z kolei niedobory opadów wyliczono wykorzystując metodę Klatta [Grabarczyk 1983]. Przyjęto następujące wartości opadów optymalnych podane przez Klatta dla roślin strączkowych (bobik, bób, fasola): maj 60 mm, czerwiec 75 mm, lipiec 70 mm i sierpień 65 mm. Zastosowano poprawki związane z temperaturą powietrza – na każdy 1°C różnicy temperatury w stosunku do podawanej jako normatywna przez Klatta, opady zwiększano lub zmniejszano o 5 mm.

Ponadto przeprowadzono bilans zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin w latach prowadzenia doświadczeń polowych w okresie od 1 czerwca do 31 sierpnia, a więc w okresie wzmożonych potrzeb wodnych rośliny. Dobowe wartości zużycia wody z górnej warstwy gleby na parowanie przyjęto według pracy Drupki [1976].

Wykonano również analizę warunków wodnych w latach prowadzenia doświadczeń polowych pod kątem ciągów dni bezopadowych, czyli kolejnych dni okresu wegetacji, w których nie wystąpiły opady atmosferyczne. Na potrzeby pracy za znaczące przyjęto ciągi mające 5 i więcej dni bezopadowych. Omówieniu poddano okres od 1 czerwca do 31 sierpnia, czyli wzmożonych potrzeb wodnych soi.

### 3.5.3. Ocena ekonomicznej efektywności deszczowania

W pracy analizie poddano także ocenę efektywności ekonomicznej nawadniania soi. Uzyskane w doświadczeniach polowych wyniki dotyczące efektywności produkcyjnej nawadniania rośliny posłużyły do opracowania oceny efektywności ekonomicznej nawadniania omawianych odmian soi przedstawionej w rozdziale wyniki badań. Na potrzeby opracowania przyjęto wielkość plonu nasion soi uzyskaną w poszczególnych latach doświadczeń polowych z poletek nienawadnianych i nawadnianych w wariancie z zastosowaną przedsięwzięciem dawką nawozu azotowego.

Do oceny ekonomicznej efektywności nawadniania wykorzystano metodę kalkulacji przyrostu nadwyżki bezpośredniej [Grabarczyk 1987]:

$$\Delta D = \Delta P - (Kd + \Delta Kr)$$

gdzie:

$\Delta D$  – przyrost nadwyżki bezpośredniej [ $\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$ ],

$\Delta P$  – wartość produkcji dodatkowej uzyskanej poprzez zastosowanie nawadniania deszczownianego [ $\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$ ],

$Kd$  – koszty nawadniania deszczownianego [ $\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$ ],

$\Delta Kr$  – dodatkowe koszty bezpośrednie, wynikające z uzyskania dodatkowej produkcji [ $\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$ ].

W obranej metodzie wartość przyrostu nadwyżki bezpośredniej uzyskanej w wyniku zastosowania nawadniania deszczownianego soi wyliczono poprzez odjęcie od przyrostu wartości produkcji, kosztów nawadniania oraz przyrostu kosztów bezpośrednich. Z kolei jako przyrost wartości produkcji przyjęto iloczyn efektów produkcyjnych nawadniania i średniej ceny skupu.

W analizie założono pięć wariantów powierzchni soi nawadnianych przy użyciu deszczowni: 1, 5, 10, 20 i 50 hektarów.

Na potrzeby badań cenę nasion soi przyjęto za lata 2019-2021 na podstawie danych pochodzących Krajowego Zrzeszenia Producentów Rzepaku i Roślin Białkowych zamieszczonych w branżowej witrynie internetowej. W poszczególnych latach ceny nasion soi oscylowały w następujących wartościach netto:

- rok 2019 -  $130,00 \text{ zł} \cdot \text{dt}^{-1}$  [źródło internetowe nr 5],
- rok 2020 -  $160,00 \text{ zł} \cdot \text{dt}^{-1}$  [źródło internetowe nr 6],
- rok 2021 -  $250,00 \text{ zł} \cdot \text{dt}^{-1}$  [źródło internetowe nr 7].

W związku z panującą w 2021r. sytuacją geopolityczną oraz ekonomiczną na świecie, z której wynika znacząca różnica pomiędzy ceną nasion soi w roku 2021, a latami 2019-2020 przyjęto dwa warianty oceny efektywności ekonomicznej nawadniania soi. W I wariancie jako cenę nasion soi przyjęto średnią z lat 2019-2021, tj.  $180,00 \text{ zł} \cdot \text{dt}^{-1}$ . Z kolei w II wariancie przyjęto cenę nasion w roku 2021, tj.  $250,00 \text{ zł} \cdot \text{dt}^{-1}$ .

Do określenia kosztów instalacji nawadniającej oraz późniejszych kosztów nawadniania wykorzystano dane z pracy Kledzika i in. [2015], pozyskane z firmy



Łukomet. Na potrzeby pracy doktorskiej, biorąc pod uwagę zmieniające się okoliczności ekonomiczne ostatnich lat, wyżej wspomniane wartości zwiększono o 15%. Ponadto przyjęto 15-letni okres użytkowania instalacji nawadniającej (stopę amortyzacji założono na poziomie 6,67%), oprocentowanie kapitału na poziomie 5%, a koszty materiałów i napraw na poziomie 2% kosztów inwestycji. Według założeń w instalacjach nawodnieniowych wykorzystano pompy o napędzie spalinowym, zasilane olejem napędowym. Cenę paliwa – oleju napędowego ustalono na poziomie średniej za rok 2021r. – 5,35 zł·l<sup>-1</sup> [źródło internetowe nr 8]. W ocenie uwzględniono także wzrost kosztów bezpośrednich spowodowanych przyrostem plonu. Przyjęto, iż wynosi on 30% wartości dodatkowo uzyskanej produkcji. W opracowaniu nie uwzględniono kosztów pracy oraz kosztów wody. Założono, iż pochodzi ona z własnego źródła - ujęcia powierzchniowego.

## **4. WARUNKI DOŚWIADCZENIA**

### **4.1. WARUNKI GLEBOWE**

Jak podaje informator „Oferta naukowo-badawcza UTP dla gospodarki” [2012] na terenie Stacji Badawczej w Mochelku zajmującej powierzchnię 25 hektarów i należącej do Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy (obecnie RZD Minikowo) na gruntach ornych znajdują się pola doświadczalne.

Poletka doświadczalna, na której prowadzono eksperymenty polowe dotyczące soi w omawianym okresie położone były na glebie płowej.

Gleby płowe są powszechnie użytkowane rolniczo [Kabała i Muszytyfaga 2015]. Jak podaje Żarski i in. [2011] gleba Stacji Badawczej jest glebą płową typową. Została wytworzona z piasków fluwioglacjalnych na płytce zalegającej glinie średniej. Glebę tą zakwalifikowano do klasy bonitacyjnej IVa i kompleksu przydatności rolniczej żytniego bardzo dobrego.

Według Koneckiej – Betley i in. [1999] gleba płowa typowa na gruntach ornych charakteryzuje się następującą budową profilu glebowego: Ap-Eet-Bt-C lub Cca oraz poniższą systematyką:

- Dział: Gleby autogeniczne
  - Rząd: Gleby brunatnoziemne
    - Typ: Gleby płowe
      - Podtyp: Typowe

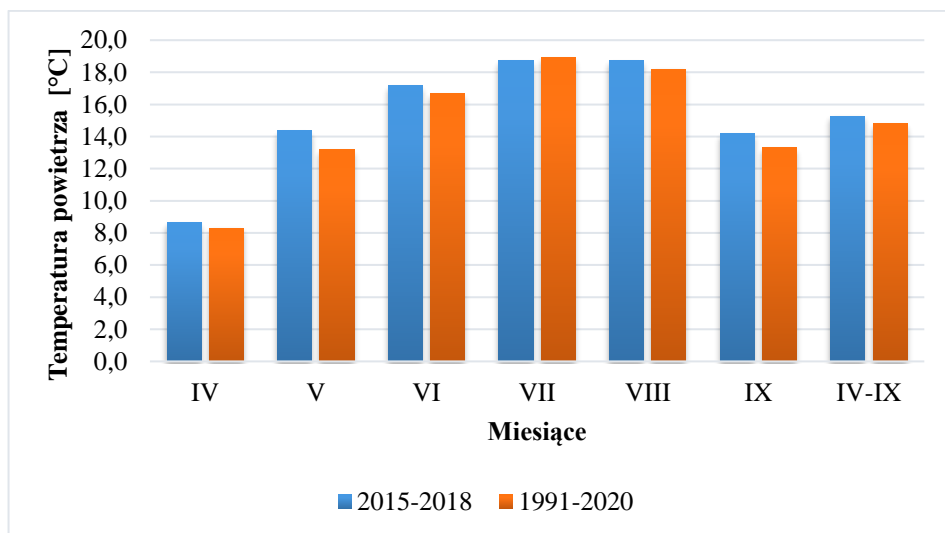
Gleba na poletkach doświadczalnych w miejscowości Mochelek należy do gleb lekkich na podłożu zwięzłym. Warstwa w przedziale od 0 do 50 cm charakteryzowała się zawartością części spławianych równą 18%. Z kolei warstwa w przedziale od 51 cm do 100 cm zawartością 46%. Zapas wody w 1 m warstwie gleby został oszacowany na 215 mm przy stanie polowej pojemności wodnej [Żarski i in. 2011].

### **4.2. WARUNKI KLIMATYCZNE**

Metodykę oraz wykorzystane dane do scharakteryzowania warunków klimatycznych w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018 opisano w rozdziale materiał i metody.

#### **4.2.1. Średnie temperatury powietrza w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018**

Doświadczenia polowe prowadzono w latach 2015-2018. Powyższy okres charakteryzował się wyższą średnią temperatury powietrza w rejonie Bydgoszczy w przedziale IV-IX w porównaniu z latami 1991-2020. Wyższe średnie temperatury powietrza zanotowano dla miesięcy kwiecień, maj, czerwiec, sierpień oraz wrzesień w odniesieniu do lat 1991-2020 (rysunek 8).



Opracowanie własne

Rys. 8. Porównanie średnich miesięcznych temperatur powietrza w rejonie Bydgoszczy okresów 2015-2018 oraz 1991-2020 [°C]

Analiza danych wykazała, iż średnia temperatura powietrza sezonu wegetacyjnego w rejonie Bydgoszczy dla okresu wielolecia 1991-2020 wynosiła 14,8°C, a dla okresu badań polowych 15,3°C.

Według tabeli 7 w okresie wegetacji 2015 średnia temperatura powietrza była identyczna jak w okresie wielolecia, tj. 14,8°C. W klasyfikacji według metody Lorenc, analizowany okres wegetacji został uznany za normalny. Najcieplejszym miesiącem w okresie wegetacji 2015 był sierpień z temperaturą 20,9°C, która była wyższa o 2,7°C od średniej temperatury dla wielolecia w tym miesiącu. W miesiącach kwiecień, maj, czerwiec oraz lipiec odnotowano niższą średnią temperaturę powietrza niż w wieloleciu. Z kolei w sierpniu oraz wrześniu w analizowanym okresie wegetacji odnotowano średnią temperaturę powietrza wyższą niż w latach 1991-2020. Według klasyfikacji metodą Lorenc kwiecień i czerwiec sklasyfikowano jako miesiące lekko chłodne. Maj, lipiec i wrzesień jako normalne, a sierpień jako bardzo ciepły. Natomiast analizując okres wegetacji 2015 roku w ujęciu dekadowym ustalono, iż najcieplejsze były I i II dekada sierpnia (22,6°C i 21,3°C).

Jak pokazuje tabela 8 w okresie wegetacji 2016 średnia temperatura powietrza sezonu wegetacyjnego była wyższa o 0,1°C niż w okresie wielolecia i wynosiła 14,9°C. W klasyfikacji według metody Lorenc, analizowany okres wegetacji uznano za normalny. Najcieplejszym miesiącem w okresie wegetacji 2016 był lipiec z temperaturą 18,3°C, która była niższa o 0,6°C w stosunku do średniej temperatury dla wielolecia w tym miesiącu. Również w sierpniu odnotowano niższą średnią temperaturę powietrza niż w wieloleciu. Z kolei w maju, czerwcu oraz wrześniu w roku 2016 odnotowano średnią temperaturę

powietrza wyższą niż w latach 1991-2020. Według klasyfikacji metodą Lorenc miesiące maj, czerwiec i wrzesień zostały sklasyfikowane jako lekko ciepłe. Kwiecień i lipiec jako normalne, a sierpień jako chłodny. Analizując okres wegetacji 2016 w ujęciu dekadowym ustalono, iż najcieplejsza była III dekada czerwca oraz lipca (19,8°C).

Tabela 7. Średnie dekadowe i miesięczne temperatury powietrza w rejonie Bydgoszczy w okresie wegetacyjnym 2015 r. [°C]

Okres	Dekada	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
<b>1991-2020</b>	<b>I-III</b>	<b>8,3</b>	<b>13,2</b>	<b>16,7</b>	<b>18,9</b>	<b>18,2</b>	<b>13,3</b>	<b>14,8</b>
<b>2015</b>	<b>I</b>	4,3	12,0	16,5	20,5	22,6	14,5	
	<b>II</b>	7,8	11,9	15,3	17,8	21,3	15,2	
	<b>III</b>	10,6	13,2	15,1	17,3	19,0	11,6	
	<b>I-III</b>	<b>7,5</b>	<b>12,4</b>	<b>15,7</b>	<b>18,5</b>	<b>20,9</b>	<b>13,8</b>	<b>14,8</b>
<b>Różnica <math>\Delta=(\text{rok-norma})</math></b>		-0,8	-0,8	-1,0	-0,4	+2,7	+0,5	0,0
<b>Odchylenie standardowe</b>		1,5	1,7	1,6	1,8	1,4	1,3	0,8
<b>Klasyfikacja według metody Lorenc</b>		-0,53 LCh	-0,47 N	-0,63 LCh	-0,22 N	1,93 BC	0,38 N	0,00 N

EC – ekstremalnie ciepły, AC – anomalnie ciepły, BC – bardzo ciepły, C – ciepły, LC – lekko ciepły, N – normalny, LCh – lekko chłodny, Ch – chłodny, BCh – bardzo chłodny, ACh – anomalnie chłodny, ECh – ekstremalnie chłodny. Opracowanie własne

Tabela 8. Średnie dekadowe i miesięczne temperatury powietrza w rejonie Bydgoszczy w okresie wegetacyjnym 2016 r. [°C]

Okres	Dekada	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
<b>1991-2020</b>	<b>I-III</b>	<b>8,3</b>	<b>13,2</b>	<b>16,7</b>	<b>18,9</b>	<b>18,2</b>	<b>13,3</b>	<b>14,8</b>
<b>2016</b>	<b>I</b>	9,6	13,4	17,1	17,3	16,6	16,5	
	<b>II</b>	9,2	11,8	16,2	17,6	14,9	15,0	
	<b>III</b>	6,0	18,5	19,8	19,8	17,6	11,3	
	<b>I-III</b>	<b>8,3</b>	<b>14,7</b>	<b>17,7</b>	<b>18,3</b>	<b>16,4</b>	<b>14,3</b>	<b>14,9</b>
<b>Różnica <math>\Delta=(\text{rok-norma})</math></b>		0,0	+1,5	+1,0	-0,6	-1,8	+1,0	+0,1
<b>Odchylenie standardowe</b>		1,5	1,7	1,6	1,8	1,4	1,3	0,8
<b>Klasyfikacja według metody Lorenc</b>		0,00 N	0,88 LC	0,63 LC	-0,33 N	-1,29 Ch	0,77 LC	0,13 N

EC – ekstremalnie ciepły, AC – anomalnie ciepły, BC – bardzo ciepły, C – ciepły, LC – lekko ciepły, N – normalny, LCh – lekko chłodny, Ch – chłodny, BCh – bardzo chłodny, ACh – anomalnie chłodny, ECh – ekstremalnie chłodny. Opracowanie własne

Jak pokazują dane z tabeli 9 w okresie wegetacji 2017 średnia temperatura powietrza była niższa o 0,6°C w stosunku do okresu wielolecia i wynosiła 14,2°C. Analizowany okres wegetacji został zakwalifikowany jako lekko chłodny według metody Lorenc. Najcieplejszymi miesiącami w tym okresie były lipiec i sierpień z temperaturą 17,7°C, która była niższa odpowiednio o 1,2°C oraz 0,5°C od średniej temperatury dla wielolecia w tych miesiącach. W miesiącach kwiecień, lipiec, sierpień, wrzesień odnotowano niższą średnią temperaturę powietrza niż w wieloleciu. Z kolei w maju oraz czerwcu w analizowanym okresie wegetacji odnotowano średnią temperaturę powietrza nieznacznie wyższą niż w latach 1991-2020. Według klasyfikacji metodą Lorenc kwiecień i lipiec sklasyfikowano jako lekko chłodne, a maj, czerwiec, sierpień i wrzesień jako normalne. Analizując okres wegetacji 2017 w ujęciu dekadowym ustalono, iż najcieplejsza była I dekada sierpnia (19,9°C). Przebieg temperatury był dość charakterystyczny, jednak od normy mocno odbiegała zwłaszcza niska temperatura w I dekadzie lipca.

Tabela 9. Średnie dekadowe i miesięczne temperatury powietrza w rejonie Bydgoszczy w okresie wegetacyjnym 2017 r. [°C]

Okres	Dekada	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
<b>1991-2020</b>	<b>I-III</b>	<b>8,3</b>	<b>13,2</b>	<b>16,7</b>	<b>18,9</b>	<b>18,2</b>	<b>13,3</b>	<b>14,8</b>
<b>2017</b>	<b>I</b>	9,9	8,5	15,6	16,5	19,9	14,4	
	<b>II</b>	4,7	15,2	17,4	17,3	17,6	12,3	
	<b>III</b>	5,8	16,3	17,4	19,0	15,9	12,4	
	<b>I-III</b>	<b>6,8</b>	<b>13,4</b>	<b>16,8</b>	<b>17,7</b>	<b>17,7</b>	<b>13,1</b>	
<b>Różnica <math>\Delta=(rok-norma)</math></b>		-1,5	+0,2	+0,1	-1,2	-0,5	-0,2	-0,6
<b>Odchylenie standardowe</b>		1,5	1,7	1,6	1,8	1,4	1,3	0,8
<b>Klasyfikacja według Lorenc</b>		-1,00 LCh	0,12 N	0,06 N	-0,67 LCh	-0,36 N	-0,15 N	-0,75 LCh

EC – ekstremalnie ciepły, AC – anomalnie ciepły, BC – bardzo ciepły, C – ciepły, LC – lekko ciepły, N – normalny, LCh – lekko chłodny, Ch – chłodny, BCh – bardzo chłodny, ACh – anomalnie chłodny, ECh – ekstremalnie chłodny. Opracowanie własne

W okresie wegetacji 2018 (tabela 10) średnia temperatura powietrza wynosiła 17,2°C i była wyższa o 2,4°C niż w okresie wielolecia. W klasyfikacji według metody Lorenc, analizowany okres wegetacji został uznany za ekstremalnie ciepły. Najcieplejszym miesiącem w roku 2018 był lipiec z temperaturą 20,5°C, która była wyższa o 1,6°C od średniej temperatury dla wielolecia w tym miesiącu. We wszystkich miesiącach, tj. od kwietnia do września w analizowanym okresie wegetacji odnotowano średnią temperaturę powietrza wyższą niż w latach 1991-2020. Największą różnicę odnotowano w kwietniu i maju (3,7°C), z kolei najmniejszą w lipcu (1,6°C).

Według klasyfikacji metodą Lorenc kwiecień i maj sklasyfikowano jako anomalnie ciepłe. Czerwiec i sierpień jako ciepłe, lipiec jako lekko ciepły, a sierpień jako bardzo ciepły. Analizując okres wegetacji 2018 w ujęciu dekadowym ustalono, iż najcieplejsza była I dekada sierpnia (23,3°C). Upalna okazała się także III dekada lipca.

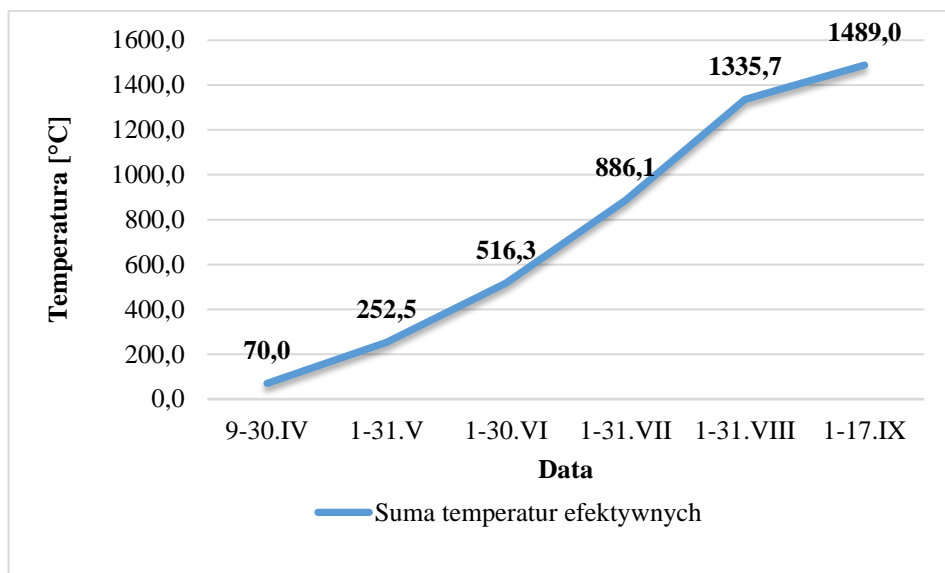
Tabela 10. Średnie dekadowe i miesięczne temperatury powietrza w rejonie Bydgoszczy w okresie wegetacyjnym 2018 r. [°C]

Okres	Dekada	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
<b>1991-2020</b>	<b>I-III</b>	<b>8,3</b>	<b>13,2</b>	<b>16,7</b>	<b>18,9</b>	<b>18,2</b>	<b>13,3</b>	<b>14,8</b>
<b>2018</b>	<b>I</b>	9,2	14,8	19,8	18,7	23,3	17,9	
	<b>II</b>	13,7	16,3	18,9	19,5	19,6	17,3	
	<b>III</b>	13,2	19,5	16,6	23,0	17,0	11,7	
	<b>I-III</b>	<b>12,0</b>	<b>16,9</b>	<b>18,4</b>	<b>20,5</b>	<b>19,9</b>	<b>15,6</b>	<b>17,2</b>
<b>Różnica <math>\Delta=(\text{rok-norma})</math></b>		+3,7	+3,7	+1,7	+1,6	+1,7	+2,3	+2,4
<b>Odchylenie standardowe</b>		1,5	1,7	1,6	1,8	1,4	1,3	0,8
<b>Klasyfikacja według Lorenc</b>		2,47 AC	2,18 AC	1,06 C	0,89 LC	1,21 C	1,77 BC	3 EC

EC – ekstremalnie ciepły, AC – anomalnie ciepły, BC – bardzo ciepły, C – ciepły, LC – lekko ciepły, N – normalny, LCh – lekko chłodny, Ch – chłodny, BCh – bardzo chłodny, ACh – anomalnie chłodny, ECh – ekstremalnie chłodny. Opracowanie własne

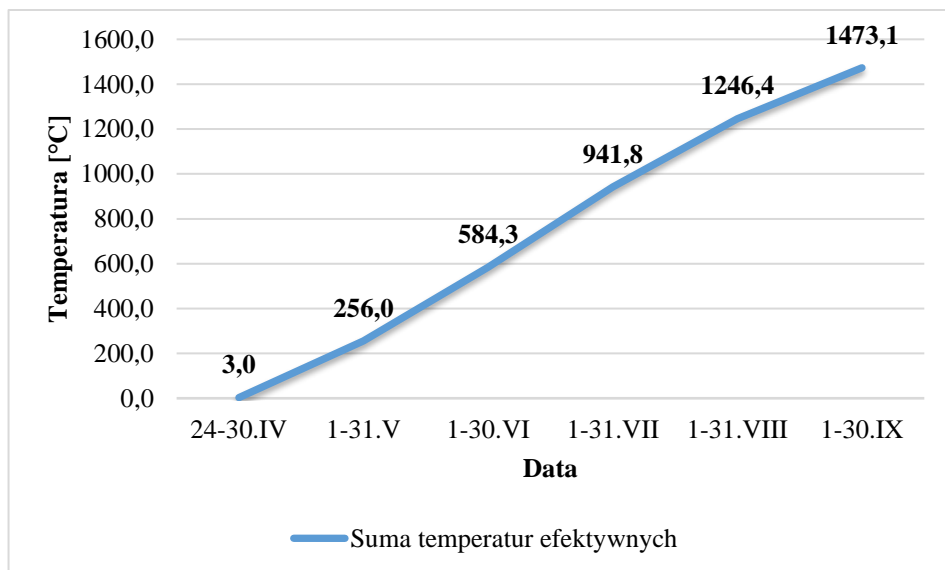
#### 4.2.2. Suma temperatur efektywnych w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018

W okresie wegetacji 2015 od siewu soi, który nastąpił w dniu 9 kwietnia do zbioru w dniu 17 września zanotowano sumę temperatur efektywnych o wartości 1489,0°C. Bardzo zbliżoną wartość analizowanego wskaźnika zanotowano w roku 2016, gdy wyniósł on 1473,1°C. Siew miał miejsce w dniu 24 kwietnia, a zbiór 30 września. Jak stwierdzono powyżej lata te były w klasyfikacji Lorenc uznane za normalne. Z kolei w roku 2017 siew soi nastąpił również w dniu 24 kwietnia, ale plon zebrano w dniu 19 października, gdy suma temperatur efektywnych wynosiła 1593,5°C. Należy podkreślić, iż rok 2017 sklasyfikowano jako lekko chłodny. W okresie wegetacji 2018 siew wykonano w dniu 8 maja. Natomiast zbiór w dniu 21 września przy łącznej wartości temperatur efektywnych w tym okresie wynoszącej 1749,5°C, a rok został uznany za ekstremalnie ciepły. Opisane powyżej na podstawie rysunków 9-12 sumy temperatur efektywnych przy temperaturze progowej mieszczą się w przedziale temperatur dla soi wskazywanych przez innych badaczy.



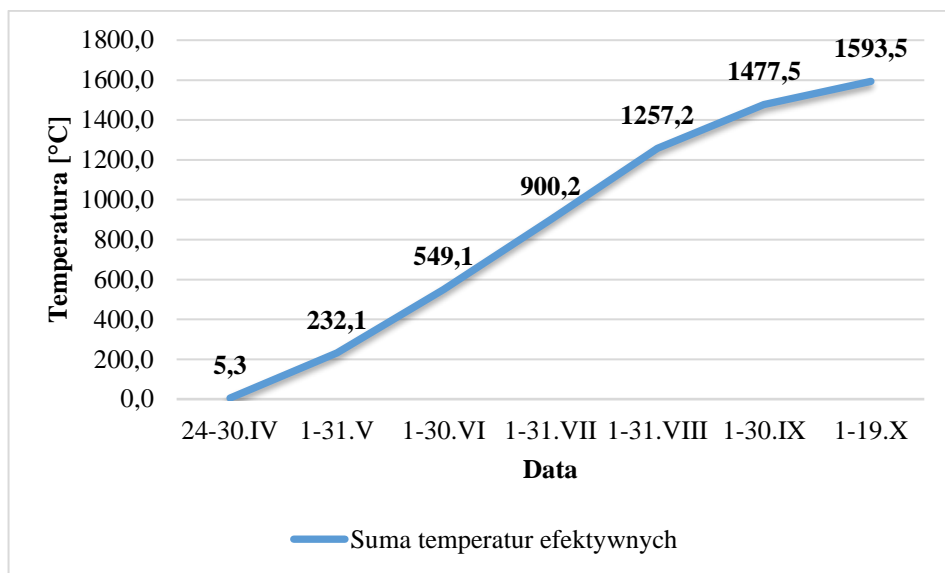
Opracowanie własne

Rys. 9. Suma temperatur efektywnych od siewu do zbioru soi w okresie wegetacji 2015 [°C]



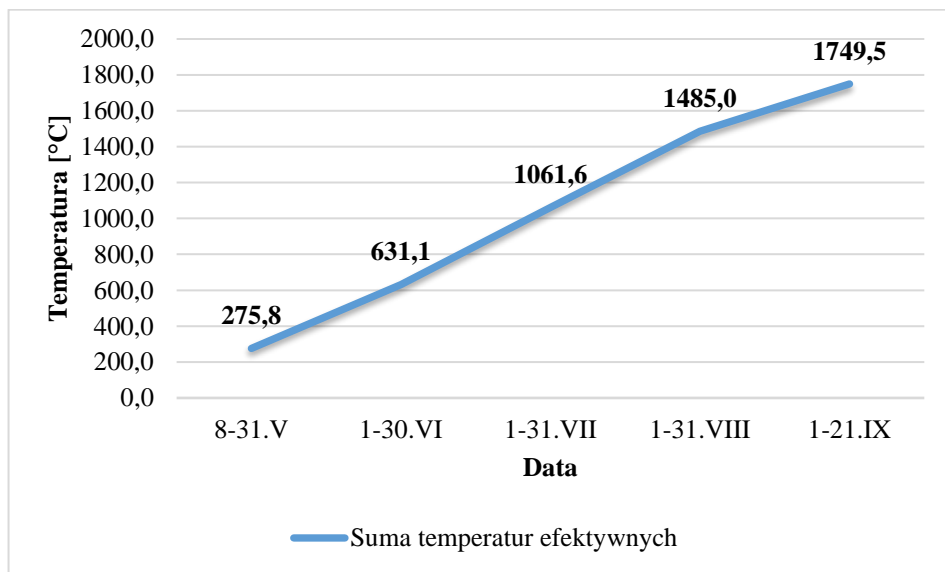
Opracowanie własne

Rys. 10. Suma temperatur efektywnych od siewu do zbioru soi w okresie wegetacji 2016 [°C]



Opracowanie własne

Rys. 11. Suma temperatur efektywnych od siewu do zbioru soi w okresie wegetacji 2017 [°C]



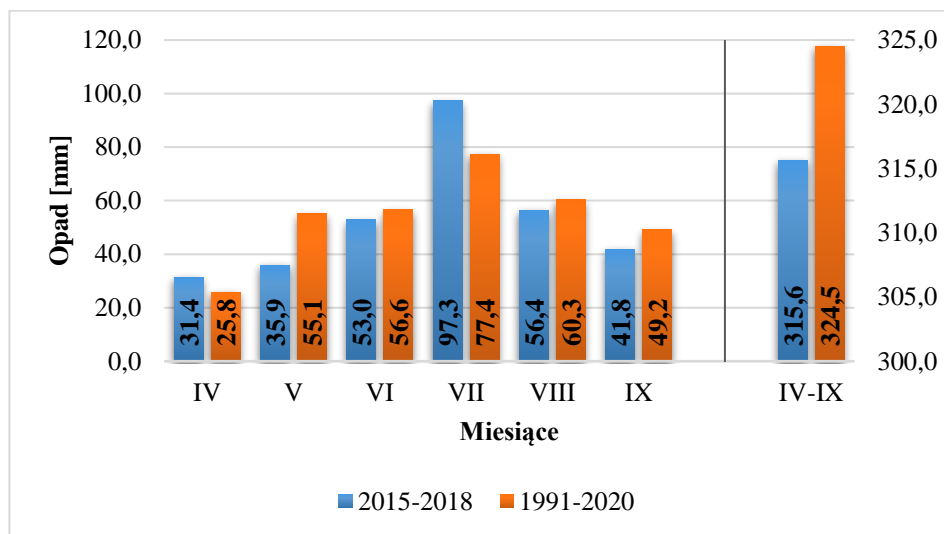
Opracowanie własne

Rys. 12. Suma temperatur efektywnych od siewu do zbioru soi w okresie wegetacji 2018 [°C]



### 4.2.3. Ilość opadów w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018

Okres 2015-2018 w rejonie Bydgoszczy charakteryzował się niższą średnią sumą opadów atmosferycznych w przedziale IV-IX w porównaniu z latami 1991-2020. Wyższe średnie opady atmosferyczne zanotowano w kwietniu i lipcu badanego periodu w odniesieniu do wielolecia (rysunek 13).



Opracowanie własne

Rys. 13. Porównanie średnich miesięcznych opadów atmosferycznych w rejonie Bydgoszczy okresów 2015-2018 oraz 1991-2020 [mm]

Przeprowadzone analizy danych wykazały, iż średni, sumaryczny opad atmosferyczny w rejonie Bydgoszczy dla okresu wielolecia 1991-2020 wynosił 324,5 mm. W badanym czteroleciu (2015-2018) średnia suma opadów sezonu wegetacyjnego wyniosła 315,6 mm.

Okres wegetacji 2015 charakteryzował się łącznym opadem o wartości 193,3 mm. Jest to o 131,2 mm mniej niż średnia wielolecia. Zgodnie z klasyfikacją RPI według Kaczorowskiej okres ten należy zaliczyć do bardzo suchych. Według powyższej metody maj i sierpień były miesiącami bardzo suchymi. Miesiące kwiecień, czerwiec i lipiec sklasyfikowano jako suche, a wrzesień jako normalny. Najwyższe opady miały miejsce we wrześniu, gdy spadło 52,4 mm wody (106,5% normy). Z kolei w czerwcu odnotowano najniższe opady atmosferyczne o wartości 15,6 mm (60,5% normy). Zanotowano jedną dekadę bez opadów, tj. III dekada września. Niewielki opad, wynoszący 2,3 mm zanotowano w I dekadzie czerwca (okres wzmożonego zapotrzebowania soi na wodę) co skutkowało zastosowaniem deszczowania interwencyjnego. Natomiast największy opad w ujęciu dekadowym analizowanego okresu wegetacji wystąpił w I dekadzie września (tabela 11).

Tabela 11. Sumy dekadowe i miesięczne opadów atmosferycznych w rejonie Bydgoszczy w okresie wegetacyjnym 2015r. [mm]

Okres	Dekada	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
<b>1991-2020</b>	<b>I-III</b>	<b>25,8</b>	<b>55,1</b>	<b>56,6</b>	<b>77,4</b>	<b>60,3</b>	<b>49,2</b>	<b>324,5</b>
<b>2015</b>	<b>I</b>	5,5	8,7	2,3	11,3	12,7	47,0	
	<b>II</b>	1,1	12,4	17,0	11,8	3,1	5,4	
	<b>III</b>	9,0	0,5	13,7	27,3	4,5	-	
	<b>I-III</b>	<b>15,6</b>	<b>21,6</b>	<b>33,0</b>	<b>50,4</b>	<b>20,3</b>	<b>52,4</b>	<b>193,3</b>
<b>% normy</b>		60,5	39,2	58,3	65,1	33,7	106,5	59,6
<b>Klasyfikacja RPI według Kaczorowskiej</b>		S	BS	S	S	BS	N	BS

SS – skrajnie suchy, BS – bardzo suchy, S – suchy, N – normalny, W – wilgotny, BW – bardzo wilgotny, SW – skrajnie wilgotny. Opracowanie własne

Tabela 12. Sumy dekadowe i miesięczne opadów atmosferycznych w rejonie Bydgoszczy w okresie wegetacyjnym 2016r. [mm]

Okres	Dekada	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
<b>1991-2020</b>	<b>I-III</b>	<b>25,8</b>	<b>55,1</b>	<b>56,6</b>	<b>77,4</b>	<b>60,3</b>	<b>49,2</b>	<b>324,5</b>
<b>2016</b>	<b>I</b>	6,5	15,8	3,1	29,4	38,3	19,4	
	<b>II</b>	15,3	13,2	71,3	63,9	3,7	-	
	<b>III</b>	6,9	22,4	23,7	40,5	13,3	-	
	<b>I-III</b>	<b>28,7</b>	<b>51,4</b>	<b>98,1</b>	<b>133,8</b>	<b>55,3</b>	<b>19,4</b>	<b>386,7</b>
<b>% normy</b>		111,2	93,3	173,3	172,9	91,7	39,4	119,2
<b>Klasyfikacja RPI według Kaczorowskiej</b>		N	N	BW	BW	N	BS	W

SS – skrajnie suchy, BS – bardzo suchy, S – suchy, N – normalny, W – wilgotny, BW – bardzo wilgotny, SW – skrajnie wilgotny. Opracowanie własne

Prowadzone pomiary opadów wykazały, iż w okresie wegetacji 2016 spadło łącznie 386,7 mm wody, jest to o 62,5 mm więcej niż wynosi średnia wartość dla lat 1991-2020. Wyżej wspomniany okres był według klasyfikacji Kaczorowskiej rokiem wilgotnym. Odnotowano jeden miesiąc bardzo suchy – wrzesień, trzy miesiące normalne – kwiecień, maj oraz sierpień oraz dwa bardzo wilgotne i były to czerwiec, a także lipiec. Najwyższy miesięczny opad miał miejsce w lipcu – 133,8 mm wody, co stanowiło 172,9% normy w stosunku do wielolecia. Zbliżony stosunek zanotowano także dla czerwca – 173,3% normy. Najniższy łączny opad wystąpił we wrześniu – 19,4 mm. W ujęciu dekadowym zanotowano dwie dekady bez opadów. Były to II i III dekada

września. Skąpe opady odnotowano także w I dekadzie czerwca i II dekadzie sierpnia. W II dekadzie lipca wystąpił z kolei najwyższy opad atmosferyczny wysokości 63,9 mm (tabela 12).

Tabela 13. Sumy dekadowe i miesięczne opadów atmosferycznych w rejonie Bydgoszczy w okresie wegetacyjnym 2017r. [mm]

Okres	Dekada	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
<b>1991-2020</b>	<b>I-III</b>	<b>25,8</b>	<b>55,1</b>	<b>56,6</b>	<b>77,4</b>	<b>60,3</b>	<b>49,2</b>	<b>324,5</b>
<b>2017</b>	<b>I</b>	6,3	38,7	17,4	14,2	41,8	64,2	
	<b>II</b>	23,8	5,3	12,3	48,5	44,6	9,3	
	<b>III</b>	10,7	12,3	24,6	56,2	39,7	4,9	
	<b>I-III</b>	<b>40,8</b>	<b>56,3</b>	<b>54,3</b>	<b>118,9</b>	<b>126,1</b>	<b>78,4</b>	
<b>% normy</b>		158,1	102,2	95,9	153,6	209,1	159,3	146,3
<b>Klasyfikacja RPI według Kaczorowskiej</b>		BW	N	N	BW	SW	BW	BW

SS – skrajnie suchy, BS – bardzo suchy, S – suchy, N – normalny, W – wilgotny, BW – bardzo wilgotny, SW – skrajnie wilgotny. Opracowanie własne

Tabela 14. Sumy dekadowe i miesięczne opadów atmosferycznych w rejonie Bydgoszczy w okresie wegetacyjnym 2018r. [mm]

Okres	Dekada	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
<b>1991-2020</b>	<b>I-III</b>	<b>25,8</b>	<b>55,1</b>	<b>56,6</b>	<b>77,4</b>	<b>60,3</b>	<b>49,2</b>	<b>324,5</b>
<b>2018</b>	<b>I</b>	18,2	7,6	7,2	2,0	9,6	0,3	
	<b>II</b>	12,8	4,5	-	74,9	6,9	2,3	
	<b>III</b>	9,4	2,1	19,2	9,1	7,2	14,4	
	<b>I-III</b>	<b>40,4</b>	<b>14,2</b>	<b>26,4</b>	<b>86,0</b>	<b>23,7</b>	<b>17,0</b>	
<b>% normy</b>		156,6	25,8	46,6	111,1	39,3	34,6	64,0
<b>Klasyfikacja RPI według Kaczorowskiej</b>		BW	BS	BS	N	BS	BS	BS

SS – skrajnie suchy, BS – bardzo suchy, S – suchy, N – normalny, W – wilgotny, BW – bardzo wilgotny, SW – skrajnie wilgotny. Opracowanie własne

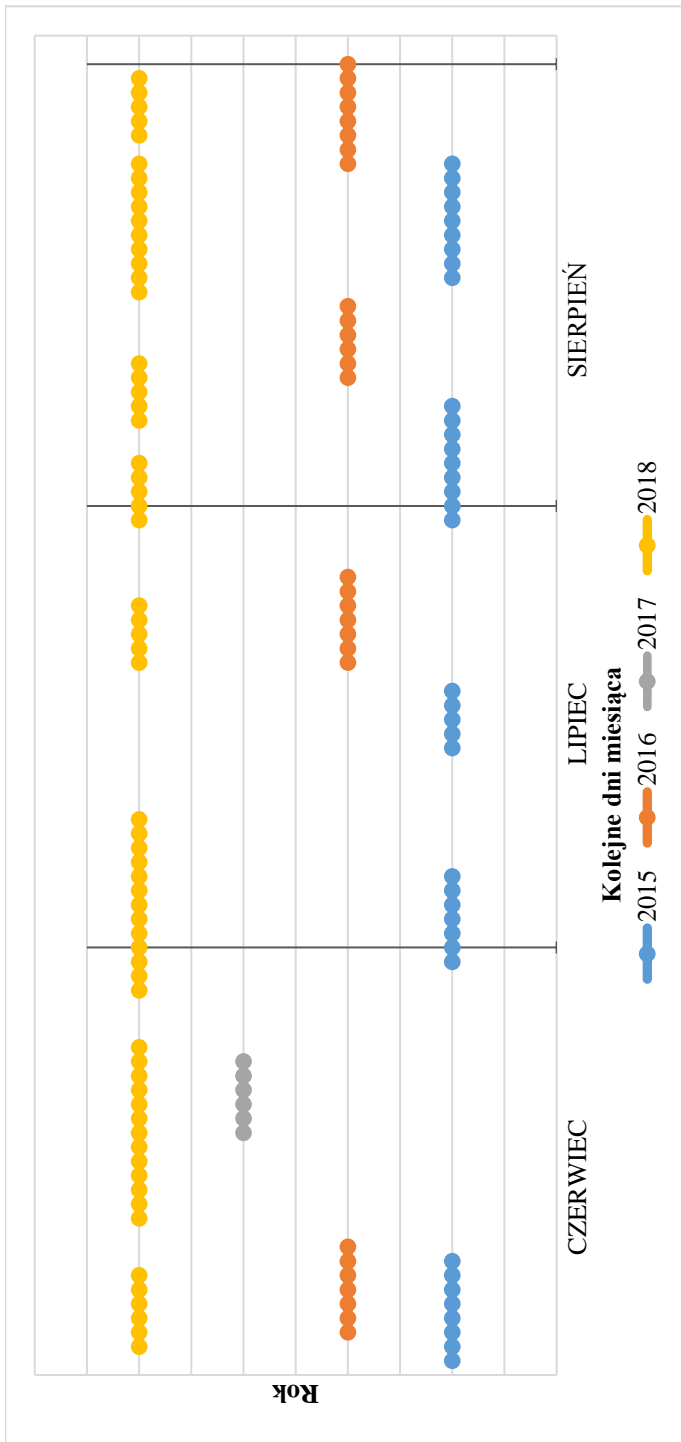
Jak pokazuje tabela 13 okres wegetacji 2017 był okresem bardzo wilgotnym w klasyfikacji RPI według Kaczorowskiej z sumarycznymi opadami atmosferycznymi wysokości 474,8 mm wody, tj. o 150,3 mm większymi niż średnia wielolecia. W omawianym okresie wystąpiły dwa miesiące sklasyfikowane według Kaczorowskiej jako normalne – maj i czerwiec. Ponadto kwiecień, lipiec i wrzesień były miesiącami bardzo wilgotnymi, a sierpień

skrajnie wilgotnym. Sierpień był miesiącem z największą sumą opadów oraz % normy wielolecia, wynoszącymi odpowiednio 126,1 mm oraz 209,1%. Najniższe opady zanotowano w III dekadzie września – 4,9 mm. Z kolei największe wynoszące 64,2 mm w I dekadzie września.

Okres wegetacji 2018 (tabela 14) został sklasyfikowany jako bardzo suchy z sumarycznymi opadami atmosferycznymi o wysokości 207,7 mm wody, tj. o 116,8 mm niższymi niż średnia wielolecia. W omawianym okresie maj, czerwiec, sierpień i wrzesień były miesiącami bardzo suchymi. Lipiec był miesiącem normalnym pod względem ilości opadów, a kwiecień okazała się bardzo wilgotny. Najwięcej opadów spadło w lipcu - łącznie 86,0 mm wody, natomiast najmniej w maju - 14,2 mm. Nie odnotowano opadów w II dekadzie czerwca. Z kolei największe, bardzo wysokie opady zanotowano w II dekadzie lipca – 74,9 mm.

#### **4.2.4. Ciągi dni bezopadowych w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018**

Analiza ciągów dni bezopadowych (5 i więcej dni) w miesiącach czerwiec-sierpień dla okresu prowadzenia doświadczeń polowych jednoznacznie wskazuje, iż lata 2015 i 2018 były latami o mniejszych opadach – gorszych warunkach wodnych niż lata 2016 i 2017. W roku 2015 wystąpiło 5 takich ciągów, a w roku 2018 aż 8. Natomiast w roku 2016 miały miejsce 4 takie przypadki (krótsze niż w 2015), a w 2017 tylko 1 (rysunek 14). Uzyskane wyniki są zbieżne z klasyfikacją RPI według Kaczorowskiej poszczególnych lat, gdzie lata 2015 i 2018 były latami bardzo suchymi. W tych latach zastosowano także nawadnianie o charakterze interwencyjnym w dawkach powyżej 200 mm wody.



Opracowanie własne

Rys. 14. Ciągi dni bezopadowych w miesiącach czerwiec-sierpień w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018

## 5. WYNIKI BADAŃ

### 5.1. POTRZEBY NAWADNIANIA ORAZ STEROWANIE ZABIEGIEM DESZCZOWANIA W UPRAWIE SOI W REJONIE BYDGOSZCZY W LATACH 2015-2018

#### 5.1.1. Niedobory opadów w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018

Na potrzeby pracy wyliczono średnie wartości (tabela 15) dla okresu prowadzenia doświadczeń polowych (2015-2018). Największą średnią wartość opadów optymalnych oszacowano dla miesiąca czerwca (80,75 mm), a najmniejszą dla maja (66,75 mm). W maju zanotowano także najmniejsze (35,88 mm) opady rzeczywiste. Z kolei największe w lipcu (97,28 mm). W omawianym okresie badań niedobory opadów zanotowano w maju, czerwcu i sierpniu, odpowiednio o średnich wartościach: -30,88 mm, -27,80 mm i -17,28 mm. Natomiast dla miesiąca lipca wyliczono nadmiar opadów (23,53 mm).

Tabela 15. Średnie miesięczne opady optymalne, rzeczywiste oraz niedobory lub nadmiary opadów w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018 [mm]

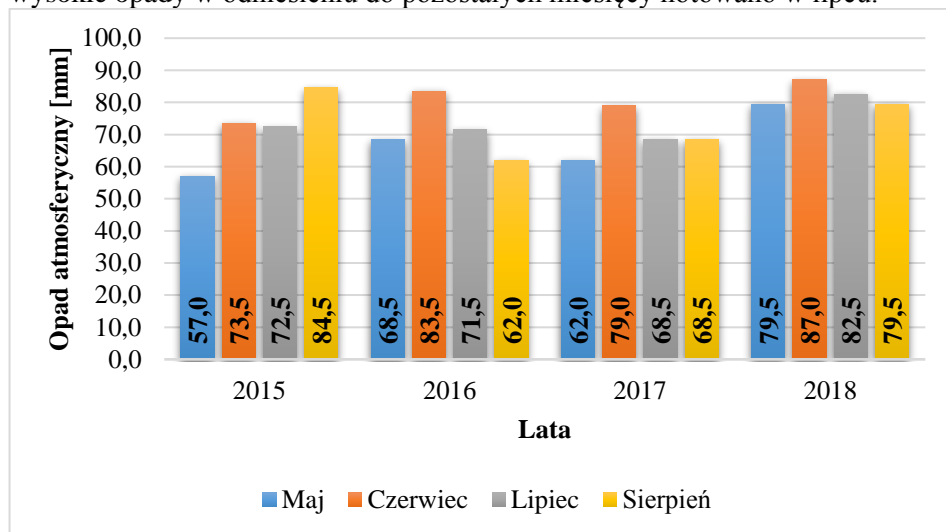
Miesiąc	Opady optymalne	Opady rzeczywiste	Niedobory lub nadmiary opadów
V	66,75	35,88	-30,88
VI	80,75	52,95	-27,80
VII	73,75	97,28	23,53
VIII	73,63	56,35	-17,28

Opracowanie własne

Przedstawione na rysunku 15 dane wskazują, iż wysokości opadów optymalnych i ich rozkład w miesiącach V-VIII kształtowały się zróżnicowanie, w zależności od roku badań. Opady optymalne o bardzo zbliżonej wysokości ustalono dla 3 z 4 lat badań. W roku 2015, sklasyfikowanym według metody Lorenc jako normalny opady optymalne określono na poziomie 287,5 mm, w roku 2016 (lekko chłodny) na 285,5 mm, a w roku 2017, który był rokiem normalnym według powyższej klasyfikacji na 278,0 mm. Natomiast zdecydowanie najwyższe opady optymalne wyliczono dla roku 2018, który według klasyfikacji Lorenc należy uznać za ekstremalnie ciepły i wyniosły one sumarycznie 328,5 mm w omawianych miesiącach.

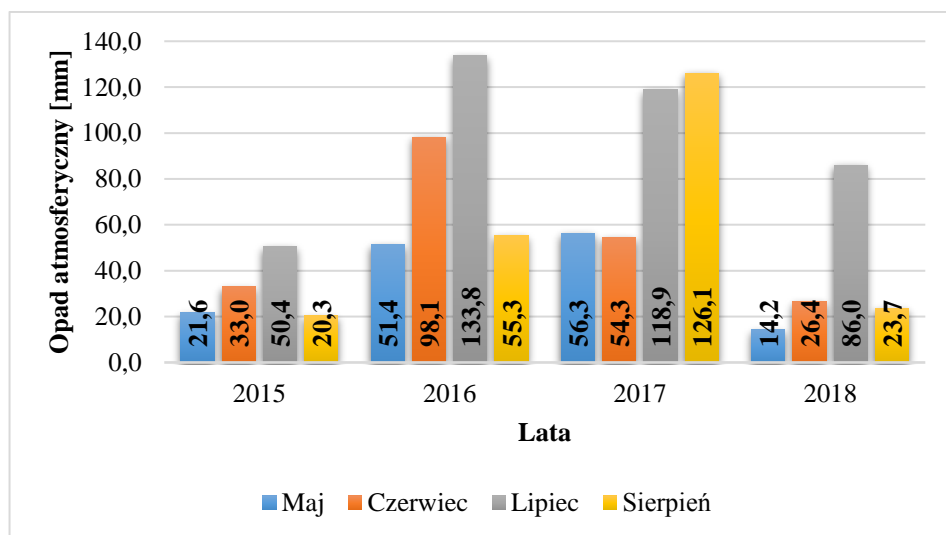
Według danych zobrazowanych na rysunku 16 opady rzeczywiste notowane w okresie prowadzenia doświadczeń polowych, tj. 2015-2018 wyraźnie wskazują, iż lata 2015 (łącznie w okresie V-VIII 125,3 mm) i 2018 (łącznie 150,3 mm) były latami o niskich opadach atmosferycznych - suchymi. Jest to zbieżne z zakwalifikowaniem tych lat jako bardzo suche zgodnie

z klasyfikacją RPI według Kaczorowskiej. Z kolei rok 2016 (łącznie 338,6 mm) i 2017 (łącznie 355,6 mm) zakwalifikowano odpowiednio jako wilgotny i bardzo wilgotny. Należy podkreślić, że w każdym z omawianych okresów wegetacji wysokie opady w odniesieniu do pozostałych miesięcy notowano w lipcu.



Opracowanie własne

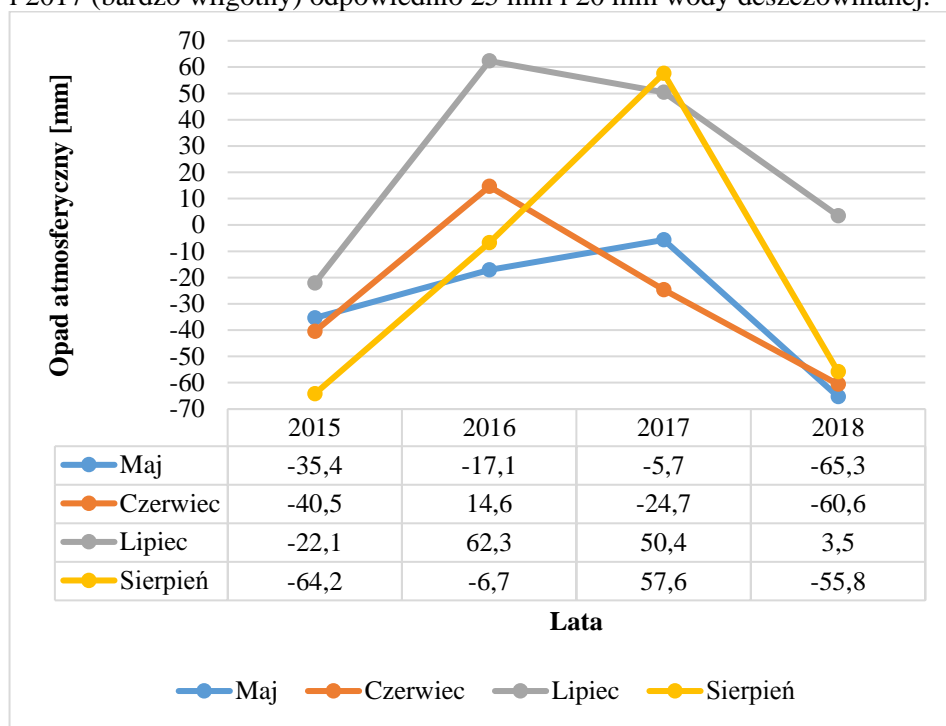
Rys. 15. Opady optymalne po korektach metodą Klatta w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018 [mm]



Opracowanie własne

Rys. 16. Opady rzeczywiste w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018 [mm]

W roku 2015 w każdym z omawianych miesięcy (V-VIII) wystąpiły niedobory opadów w przedziale od -22,1 mm do -64,2 mm. Także 2018 był rokiem z negatywnym wynikiem bilansu opadów rzeczywistych do optymalnych, gdzie tylko w lipcu zanotowano niewielki nadmiar opadów (3,5 mm). Natomiast w pozostałych miesiącach notowano niedobory na poziomie od -55,8 mm do -65,3 mm. Z kolei w latach 2016 i 2017 w ogólnym bilansie zanotowano nadmiar opadów atmosferycznych, ale wystąpiły też miesiące z niedoborem opadów (rysunek 17). Powyższe wyraźnie wskazuje, iż lata 2015 i 2018 były latami bardzo suchymi zgodnie z klasyfikacją RPI według Kaczorowskiej, z czego wynika interwencyjne zastosowanie zabiegu deszczowania w agrotechnice w tych sezonach wegetacji. W 2015 roku zastosowano łącznie 240 mm wody, a w roku 2018 210 mm wody. Z kolei w roku 2016 (wilgotnym) i 2017 (bardzo wilgotnym) odpowiednio 25 mm i 20 mm wody deszczowniczej.



Opracowanie własne

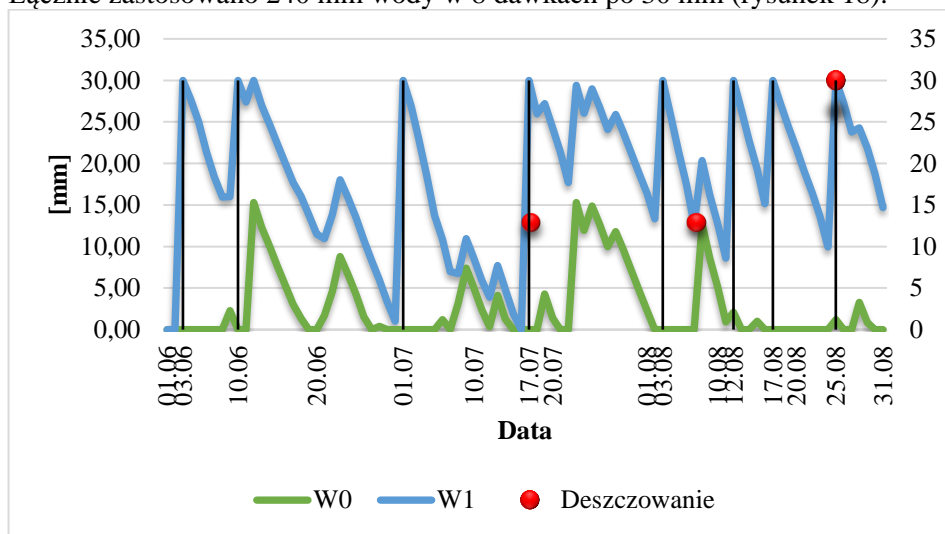
Rys. 17. Niedobory lub nadmiary opadów atmosferycznych w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018 [mm]

### 5.1.2. Bilans zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018

Z przeprowadzonego bilansu zapasu wody łatwo dostępnej wynika, iż w roku 2015 wystąpiło 48 dni z wyczerpanym zapasem wody. Kilkukrotnie

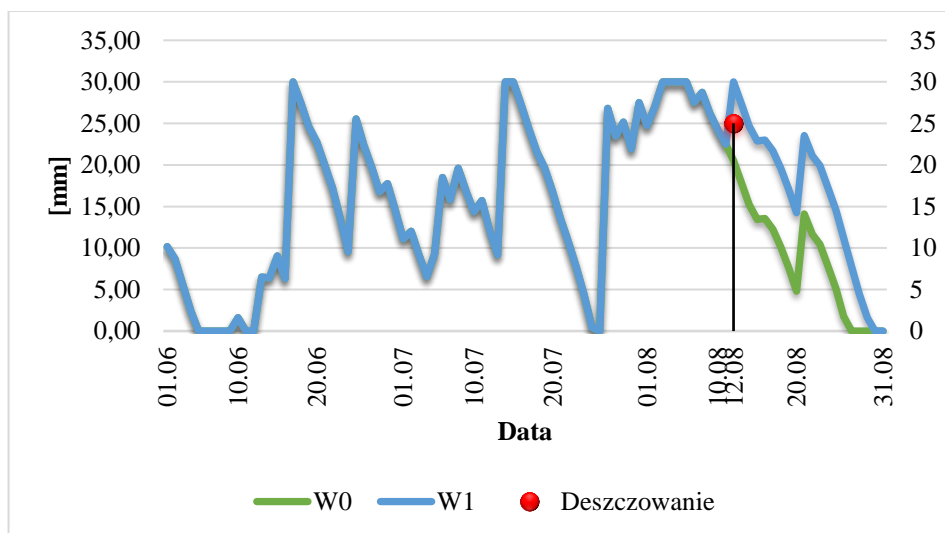


odnotowano okresy suszy atmosferycznej, trwające nawet do 8 dni (2rotnie – w czerwcu i sierpniu). Zanotowane opady atmosferyczne nie pokrywały potrzeb wodnych w analizowanym okresie. Wprowadzenie do agrotechniki deszczowania pozwoliło na zapewnienie zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin. Łącznie zastosowano 240 mm wody w 8 dawkach po 30 mm (rysunek 18).



Opracowanie własne

Rys. 18. Bilans zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin soi w roku 2015 [mm]

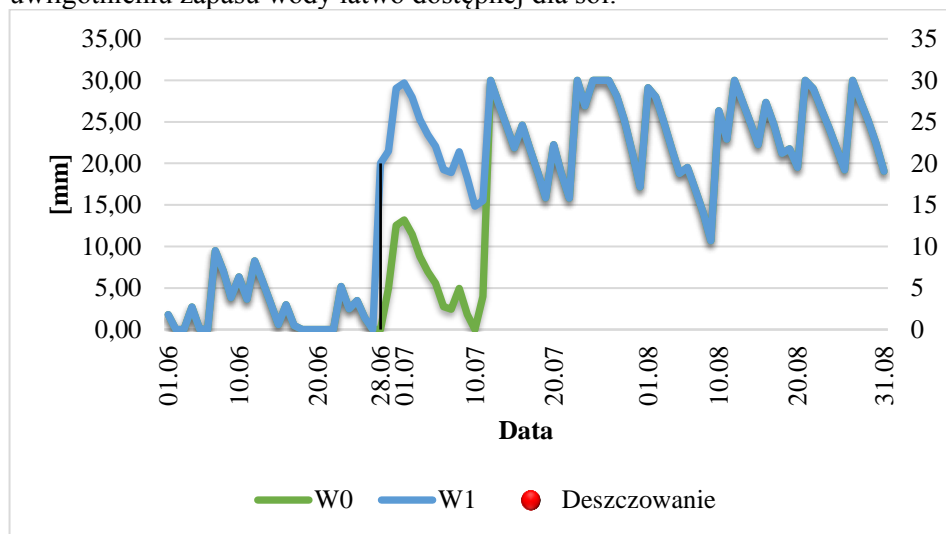


Opracowanie własne

Rys. 19. Bilans zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin soi w roku 2016 [mm]

Bilans pokazuje, iż w roku 2016 wystąpiło 13 dni z wyczerpanym zapasem wody, która jest łatwo dostępna dla roślin. Sytuacja taka miała miejsce na początku czerwca oraz w ostatnich dniach sierpnia. Ponadto wystąpił jeden taki dzień w lipcu (26 lipca). Opady atmosferyczne w czerwcu i lipcu zapewniały stosunkowo korzystny poziom wody w glebie. Zastosowano nawodnienie w dawce 25 mm w dniu 12 sierpnia, co pozwoliło zatrzymać spadkową tendencję zapasu wody łatwo dostępnej dla rośliny w tamtym okresie (rysunek 19).

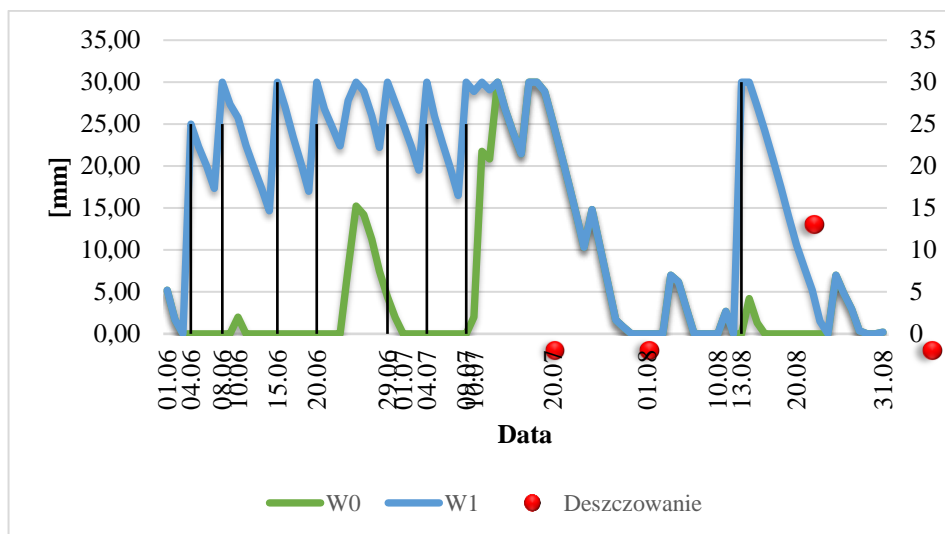
Jak pokazuje rysunek 20 analizowany okres w 2017 roku charakteryzował się łącznie 11 dniami z wyczerpanym zapasem wody w glebie, z czego 10 zanotowano w czerwcu. Zastosowanie deszczowania w dniu 28 czerwca w dawce 20 mm pozwoliło wraz z występującymi w późniejszym okresie opadami atmosferycznymi na zapewnienie w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu zapasu wody łatwo dostępnej dla soi.



Opracowanie własne

Rys. 20. Bilans zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin soi w roku 2017 [mm]

Z kolei w 2018 roku z bilansu zapasu wody łatwo dostępnej wynika, iż zanotowano łącznie 51 dni z wyczerpanym zapasem wody. Zanotowano kilka okresów suszy atmosferycznej, występujących w całym analizowanym okresie i trwających kilka dni. Opady atmosferyczne nie pokrywały potrzeb wodnych. Zastosowanie nawadniania interwencyjnego wydatnie poprawiało warunki wodne gleby, zapewniając zapas wody łatwo dostępnej dla roślin soi. Łącznie zastosowano 210 mm wody w 8 dawkach (rysunek 21).



Opracowanie własne

Rys. 21. Bilans zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin soi w roku 2018 [mm]

## 5.2. CECHY IŁOŚCIOWE NASION SOI

### 5.2.1. Plon nasion soi

Jak pokazuje tabela 16 średni plon nasion soi odmiany ‘Aldana’ w okresie 2015-2018 wyniósł  $2,20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W zależności od zastosowania nawadniania oraz dawki nawożenia azotem wahał się od  $1,60 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na obiektach nienawadnianych i nawożonych do  $3,05 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na obiektach nawadnianych i nawożonych. Zastosowanie deszczowania spowodowało istotny wzrost plonu nasion o 57,3%, tj.  $0,98 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , z  $1,71 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  do  $2,69 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Wynika z tego, iż 1 mm zastosowanej wody nawodnieniowej charakteryzował się średnią efektywnością na poziomie  $7,90 \text{ kg}$  nasion z hektara. Nawożenie azotem w omawianym okresie skutkowało tendencją wzrostu średniego plonu o  $0,26 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , tj. 12,6%. Zastosowanie 1 kg N skutkowało efektywnością na poziomie  $8,33 \text{ kg}$  nasion z hektara.

W poszczególnych latach badań, różniących się znacząco warunkami termiczno-opadowymi w okresie wegetacji soi, zarówno poziom plonów, jak i efektywność produkcyjna zastosowanych zabiegów były bardzo różne.

Rok 2015 cechował się średnim plonem nasion odmiany ‘Aldana’ na poziomie  $0,84 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  i była to najniższa wartość w okresie badań. W zależności od wariantu czynników wahał się w zakresie od  $0,35 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na poletkach nienawadnianych do  $1,62 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na poletkach nawadnianych i nawożonych azotem. Deszczowanie było działającym istotnie czynnikiem, skutkowało wzrostem plonu o 282,9%, tj.  $0,99 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Zastosowanie 1 mm wody nawodnieniowej powodowało wzrost na poziomie  $4,13 \text{ kg}$  nasion z hektara. Również nawożenie azotem okazało się czynnikiem istotnie różnicującym plon.

Zastosowanie zabiegu skutkowało wzrostem plonu nasion soi odmiany o 41,4%, tj. 0,29 t·ha<sup>-1</sup>. Uzyskane wyniki wskazują, iż 1 kg N charakteryzował się efektywnością na poziomie 9,67 kg nasion z hektara. Wyniki analizy statystycznej wykazały istotność interakcji czynników w kształtowaniu wysokości plonu nasion – zastosowana dawka nawożenia azotem prowadziła do wzrostu plonu tylko w warunkach deszczowania.

Wykonana analiza statystyczna wykazała, iż w roku 2016 zastosowane czynniki, deszczowanie oraz nawożenie azotem istotnie zróżnicowały plon nasion. Natomiast interakcja czynników doświadczenia była nieistotna. W omawianym roku soja odmiany 'Aldana' charakteryzowała się średnim plonem na poziomie 2,38 t·ha<sup>-1</sup>. Najniższy plon (2,09 t·ha<sup>-1</sup>) odnotowano na poletkach kontrolnych, a najwyższy (2,71 t·ha<sup>-1</sup>) - podobnie jak w roku 2015 - na poletkach nawadnianych i nawożonych azotem. Zarówno zastosowanie nawadniania, jak i nawożenia zwiększyło plon nasion analizowanej odmiany w roku 2016. Według uzyskanych wyników 1 mm wody z deszczowni charakteryzował się efektywnością na poziomie 17,2 kg nasion z hektara. Zastosowanie nawadniania skutkowało wzrostem plonu nasion soi średnio o 20,0%, tj. 0,43 t·ha<sup>-1</sup>. Także nawożenie azotem spowodowało wzrost plonu o 0,19 t·ha<sup>-1</sup> (8,3%) w stosunku do kontroli. Efektywność jednostkowa 1 kg N wyniosła 6,33 kg nasion z hektara.

Rok 2017 charakteryzował się średnim plonem nasion soi powyższej odmiany na poziomie 2,60 t·ha<sup>-1</sup>. Najniższy (1,97 t·ha<sup>-1</sup>) osiągnięto na poletkach nienawadnianych i nawożonych. Z kolei najwyższy plon (3,08 t·ha<sup>-1</sup>) na poletkach nawadnianych i nawożonych. Zastosowanie deszczowania istotnie wpływało na plon nasion soi, powodując wzrost o 33,2% - 0,74 t·ha<sup>-1</sup>. W roku tym osiągnięto najwyższą efektywność jednostkową nawadniania, stosując 1 mm wody uzyskano przyrost plonu wielkości 37,0 kg nasion z hektara. Przeprowadzona analiza nie wykazała istotności drugiego czynnika – nawożenia azotem.

Wyniki przeprowadzonego w roku 2018 doświadczenia wykazały, iż był to najlepszy (z czterech analizowanych) rok pod względem uzyskanego średniego plonu nasion ze wszystkich poletek, który wyniósł 2,98 t·ha<sup>-1</sup>. Tak jak w roku 2015 zarówno deszczowanie, nawożenie jak i interakcja czynników istotnie wpływały na zróżnicowanie plonu. W zależności od wariantu doświadczenia zbierano plon w zakresie od 1,85 t·ha<sup>-1</sup> (poletka nienawadniane i nawożone) do 4,80 t·ha<sup>-1</sup> (poletka nawadniane i nawożone). Wprowadzenie nawadniania do agrotechniki pozytywnie wpłynęło na plon nasion, powodując jego wzrost o 1,76 t·ha<sup>-1</sup>, tj. 83,8%. Zastosowanie 1 mm wody nawodnieniowej charakteryzowało się efektami na poziomie 8,38 kg nasion soi z hektara. Również nawożenie azotem miało istotny wpływ na uzyskany plon nasion rośliny omawianej odmiany. Na poletkach nawożonych był on wyższy o 26,6% - 0,70 t·ha<sup>-1</sup> w stosunku do poletek nienawożonych. Zastosowanie 1 kg N powodowało wzrost na poziomie 23,3 kg nasion z hektara.

Tabela 16. Plon nasion soi odmiany ‘Aldana’ [t·ha<sup>-1</sup>]

Warianty	2015	2016	2017	2018	Średnio
W <sub>0</sub> N <sub>0</sub>	0,35	2,09	2,48	2,34	1,82
W <sub>0</sub> N <sub>1</sub>	0,35	2,24	1,97	1,85	1,60
W <sub>1</sub> N <sub>0</sub>	1,05	2,48	2,86	2,91	2,33
W <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	1,62	2,71	3,08	4,80	3,05
Średnia W <sub>0</sub>	0,35	2,16	2,23	2,10	1,71
Średnia W <sub>1</sub>	1,34	2,59	2,97	3,86	2,69
<b>W<sub>1</sub> – W<sub>0</sub> w:</b>					
<b>t·ha<sup>-1</sup></b>	0,99	0,43	0,74	1,76	0,98
<b>%</b>	282,9	20,0	33,2	83,8	57,3
<b>kg·ha<sup>-1</sup>/mm</b>	4,13	17,20	37,00	8,38	7,90
Średnia N <sub>0</sub>	0,70	2,28	2,67	2,63	2,07
Średnia N <sub>1</sub>	0,99	2,47	2,53	3,33	2,33
<b>N<sub>1</sub> – N<sub>0</sub> w:</b>					
<b>t·ha<sup>-1</sup></b>	0,29	0,19	-	0,70	0,26
<b>%</b>	41,4	8,3	-	26,6	12,6
<b>kg·ha<sup>-1</sup>/kg N</b>	9,67	6,33	-	23,33	8,33
<b>Średnia dla odmiany</b>	0,84	2,38	2,60	2,98	2,20
<b>NIR<sub>0,05</sub> dla:</b>					
<b>Deszczowania</b>	0,160	0,202	0,165	0,730	0,543
<b>Nawożenia</b>	0,060	0,152	r.n.	0,306	r.n.
<b>Interakcji</b>	0,170	r.n.	r.n.	0,433	r.n.

Opracowanie własne: W<sub>0</sub> – bez deszczowania, W<sub>1</sub> – deszczowanie, N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – nawożenie azotem

W tabeli 17 przedstawiono jak w okresie trwania badań polowych kształtował się plon nasion soi odmiany ‘Merlin’ w zależności od zastosowanych czynników doświadczenia. W efekcie prowadzonych w latach 2015-2018 doświadczeń polowych uzyskano średni plon nasion soi odmiany ‘Merlin’ na poziomie 3,38 t·ha<sup>-1</sup>. Wahał się on od 2,60 t·ha<sup>-1</sup> do 4,19 t·ha<sup>-1</sup> w zależności od wariantu doświadczenia. Najniższy plon zanotowano na poletkach kontrolnych, a najwyższy na poletkach nawadnianych i nienawożonych azotem. Zastosowanie nawadniania skutkowało istotnym wzrostem średniego plonu nasion o 54,5%, tj. 1,45 t·ha<sup>-1</sup>, z 2,66 t·ha<sup>-1</sup> do 4,11 t·ha<sup>-1</sup>, a 1 mm wody z deszczowni charakteryzował się efektywnością na poziomie 11,69 kg nasion

z hektara. Zastosowane nawożenie azotem nie spowodowało istotnego zróżnicowania plonu nasion, nieistotna była również interakcja czynników doświadczenia w kształtowaniu omawianej cechy.

Podobnie jak w przypadku odmiany 'Aldana', również plon nasion odmiany 'Merlin' i jego zróżnicowanie pod wpływem zastosowanych w doświadczeniu czynników, cechowały się bardzo dużą zmiennością w poszczególnych latach badań.

W roku 2015 odnotowano najniższy, w stosunku do pozostałych lat z okresu badań, średni plon nasion rośliny powyższej odmiany, który wyniósł  $1,78 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Uzyskany plon wahał się w zależności od zastosowanego wariantu doświadczenia od  $0,77 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na obiektach nienawadnianych do  $2,80 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na obiektach nawadnianych i nienawożonych. Nawadnianie istotnie zwiększyło plon nasion soi o  $2,03 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , co daje wzrost 263,6% w porównaniu do poletek nienawadnianych. 1 mm wody nawodnieniowej charakteryzował się efektywnością  $8,46 \text{ kg}$  nasion z hektara. Zarówno wpływ nawożenia azotem, jak i interakcja zastosowanych czynników nie spowodowały istotnego zróżnicowania omawianej cechy.

Reakcja soi odmiany 'Merlin' na deszczowanie i nawożenie azotem była podobna w latach 2016 i 2017. Średni plon nasion odmiany 'Merlin' w roku 2016 wyniósł  $4,49 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  oraz  $3,65 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  w roku 2017. W zależności od czynników doświadczenia wahał się na poszczególnych poletkach od  $4,13 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  do  $4,84 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  w roku 2016 i od  $3,38 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  do  $4,04 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  w roku 2017. W omawianych latach najniższy plon odnotowano na poletkach nienawadnianych i nawożonych azotem, a najwyższy dla nawadnianych i nawożonych. Deszczowanie i nawożenie spowodowało istotne zróżnicowanie wysokości plonu nasion, jednak zastosowanie nawożenia powodowało spadek wielkości plonu nasion soi w obu latach. Z kolei nawadnianie deszczowniane zarówno w roku 2016, jak i 2017 skutkowało wzrostem plonu odpowiednio o 13,1% -  $0,55 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  oraz o 11,0% -  $0,38 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W roku 2016 efektywność produkcyjna 1 mm wody nawodnieniowej wynosiła  $22,0 \text{ kg}$  nasion na hektar, a w 2017 roku -  $19,0 \text{ kg}$  nasion na hektar. Interakcja czynników w omawianych latach nie wpływała istotnie na wysokość plonu nasion soi odmiany 'Merlin'.

W roku 2018 średni plon nasion ze wszystkich poletek wyniósł  $3,62 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W zależności od zastosowanego wariantu czynników doświadczenia uzyskano plon w zakresie od  $1,79 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na poletkach nienawadnianych i nienawożonych do  $5,09 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na poletkach nawadnianych i nienawożonych. Zastosowanie nawadniania deszczownianego skutkowało istotnym wzrostem plonu nasion omawianej odmiany o  $2,84 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , tj. 129,1%. Zastosowanie 1 mm deszczowanej wody charakteryzowało się efektami wielkości  $13,52 \text{ kg}$  nasion soi z hektara. Zaznaczyła się tendencja do wzrostu plonu pod wpływem zastosowania nawożenia azotem. Na poletkach nawożonych plon soi był wyższy o 10,5% -  $0,36 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , w porównaniu do poletek nienawożonych. Zastosowanie 1 kg N powodowało jednostkowy wzrost plonu na poziomie  $12,0 \text{ kg}$  nasion z hektara.

Tabela 17. Plon nasion soi odmiany ‘Merlin’ [t·ha<sup>-1</sup>]

Warianty	2015	2016	2017	2018	Średnio
W <sub>0</sub> N <sub>0</sub>	0,77	4,30	3,53	1,79	2,60
W <sub>0</sub> N <sub>1</sub>	0,77	4,13	3,38	2,61	2,72
W <sub>1</sub> N <sub>0</sub>	2,80	4,84	4,04	5,09	4,19
W <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	2,79	4,68	3,64	4,98	4,02
Średnia W <sub>0</sub>	0,77	4,21	3,46	2,20	2,66
Średnia W <sub>1</sub>	2,80	4,76	3,84	5,04	4,11
<b>W<sub>1</sub> – W<sub>0</sub> w:</b>					
<b>t·ha<sup>-1</sup></b>	2,03	0,55	0,38	2,84	1,45
<b>%</b>	263,6	13,1	11,0	129,1	54,5
<b>kg·ha<sup>-1</sup>/mm</b>	8,46	22,00	19,00	13,52	11,69
Średnia N <sub>0</sub>	1,79	4,57	3,78	3,44	3,40
Średnia N <sub>1</sub>	1,78	4,40	3,51	3,80	3,37
<b>N<sub>1</sub> – N<sub>0</sub> w:</b>					
<b>t·ha<sup>-1</sup></b>	-	-	-	0,36	-
<b>%</b>	-	-	-	10,5	-
<b>kg·ha<sup>-1</sup>/kg N</b>	-	-	-	12,00	-
<b>Średnia dla odmiany</b>	1,78	4,49	3,65	3,62	3,38
<b>NIR<sub>0,05</sub> dla:</b>					
<b>Deszczowania</b>	0,250	0,252	0,120	0,464	0,806
<b>Nawożenia</b>	r.n.	0,159	0,160	r.n.	r.n.
<b>Interakcji</b>	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.

Opracowanie własne: W<sub>0</sub> – bez deszczowania, W<sub>1</sub> – deszczowanie, N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – nawożenie azotem

### 5.2.2. Masa tysiąca nasion soi

Średnia masa tysiąca nasion soi odmiany ‘Aldana’ w okresie trwania doświadczenia wyniosła 152,50 g (tabela 18). W zależności od kombinacji czynników doświadczenia średnia masa tysiąca nasion dla badanego okresu wahała się od 142,83 g na poletkach kontrolnych do 162,50 g na poletkach nawadnianych i nawożonych azotem. Pod wpływem zastosowania nawadniania zaznaczyła się tendencja do niewielkiego wzrostu, bo o 2,4% - 3,56 g średniej masy tysiąca nasion, w porównaniu z poletkami nienawadnianymi. Tendencję

tę stwierdzono również pod wpływem nawożenia azotem. Nasiona roślin nawożonych cechowały się większą o 16,12 g (11,2%) masą tysiąca nasion, w porównaniu z nienawożonymi.

W roku 2015 masa tysiąca nasion soi odmiany ‘Aldana’ w zależności od kombinacji czynników doświadczenia wahała się od 108,40 g na poletkach kontrolnych do 150,52 g na poletkach nawadnianych i nawożonych azotem. Średnia masa tysiąca nasion wyniosła 129,42 g i była najniższa w 4-letnim okresie badań. Zastosowanie nawadniania okazało się istotnym czynnikiem i spowodowało wzrost o 36,8% - 40,23 g, w porównaniu z poletkami kontrolnymi. Działanie nawożenia azotem i jego współdziałanie z deszczowaniem w kształtowaniu masy tysiąca nasion było niestotne.

Tabela 18. Masa tysiąca nasion soi odmiany ‘Aldana’ [g]

<b>Warianty</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>Średnio</b>
<b>W<sub>0</sub>N<sub>0</sub></b>	108,40	150,90	151,80	160,23	142,83
<b>W<sub>0</sub>N<sub>1</sub></b>	110,22	177,30	164,28	182,65	158,61
<b>W<sub>1</sub>N<sub>0</sub></b>	148,55	154,90	140,28	140,45	146,05
<b>W<sub>1</sub>N<sub>1</sub></b>	150,52	181,30	139,03	179,15	162,50
<b>Średnia W<sub>0</sub></b>	109,31	164,10	158,04	171,44	150,72
<b>Średnia W<sub>1</sub></b>	149,54	168,10	139,66	159,80	154,28
<b>Średnia N<sub>0</sub></b>	128,48	152,90	146,04	150,34	144,44
<b>Średnia N<sub>1</sub></b>	130,37	179,30	151,66	180,90	160,56
<b>Średnia dla odmiany</b>	129,42	166,10	148,85	165,62	152,50
<b>NIR<sub>0,05</sub> dla:</b>					
<b>Deszczowania</b>	2,182	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
<b>Nawożenia</b>	r.n.	3,195	r.n.	11,555	r.n.
<b>Interakcji</b>	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.

Opracowanie własne: W<sub>0</sub> – bez deszczowania, W<sub>1</sub> – deszczowanie, N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – nawożenie azotem

Średnia masa tysiąca nasion omawianej odmiany soi na poletkach doświadczalnych w 2016 roku wyniosła 166,10 g. Była to najwyższa wartość w latach 2015-2018. Najniższą masę tysiąca nasion odnotowano na poletkach nienawadnianych i nienawożonych – 150,90 g, a najwyższą na poletkach nawadnianych i nawożonych – 181,30 g. Nawożenie azotem okazało się istotnym czynnikiem. Na poletkach nawożonych azotem masa tysiąca nasion była wyższa o 17,3% – 26,4 g niż na nienawożonych. Interakcja pomiędzy czynnikami oraz nawadnianie nie miały istotnego wpływu na omawianą cechę roślin, aczkolwiek



na poletkach nawadnianych jej wartość była o 2,4% – 4,0 g wyższa niż na obiektach kontrolnych.

W roku 2017 średnia masa tysiąca nasion soi powyższej odmiany wyniosła 148,85 g. Najniższą masę tysiąca nasion uzyskano z poletek nawadnianych i nawożonych – 139,03 g. Natomiast najwyższą z poletek nienawadnianych i nawożonych – 164,28 g. Analiza wariancji wykazała, iż w roku tym żaden z czynników doświadczenia, a także ich interakcja nie miała istotnego wpływu na masę tysiąca nasion rośliny.

W roku 2018 średnia masa tysiąca nasion wyniosła 165,62 g. Najniższą wartość cechy zanotowano na poletkach nawadnianych i nienawożonych – 140,45 g, a najwyższą na poletkach nienawadnianych i nawożonych – 182,65 g. Istotne było tylko działanie nawożenia azotem. Pod wpływem tego czynnika, masa tysiąca ziaren wzrosła średnio o 30,56g (20,3%) jak podano w tabeli 18.

Tabela 19. Masa tysiąca nasion soi odmiany ‘Merlin’ [g]

Warianty	2015	2016	2017	2018	Średnio
W <sub>0</sub> N <sub>0</sub>	151,63	156,90	174,10	122,75	151,35
W <sub>0</sub> N <sub>1</sub>	150,50	158,33	156,09	131,65	149,14
W <sub>1</sub> N <sub>0</sub>	173,28	179,00	133,10	118,65	151,01
W <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	173,50	166,23	122,76	117,10	144,90
Średnia W <sub>0</sub>	151,07	157,62	165,10	127,20	150,25
Średnia W <sub>1</sub>	173,39	172,62	127,93	117,88	147,96
Średnia N <sub>0</sub>	162,46	167,95	153,60	120,70	151,18
Średnia N <sub>1</sub>	162,00	162,28	139,43	124,38	147,02
Średnia dla odmiany	162,23	165,12	146,51	122,54	149,10
<b>NIR<sub>0,05</sub> dla:</b>					
<b>Deszczowania</b>	2,320	8,345	16,840	r.n.	r.n.
<b>Nawożenia</b>	r.n.	r.n.	8,090	r.n.	r.n.
<b>Interakcji</b>	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.

Opracowanie własne: W<sub>0</sub> – bez deszczowania, W<sub>1</sub> – deszczowanie, N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – nawożenie azotem

Zgodnie z danymi przedstawionymi w tabeli 19 średnia dla lat 2015-2018 masa tysiąca nasion soi odmiany ‘Merlin’ wyniosła 149,10 g. W zależności od zastosowanego wariantu doświadczenia średnia wartość cechy w latach badań wahała się od 144,90 g na poletkach nawadnianych i nawożonych azotem do 151,35 g na poletkach kontrolnych. Zaznaczyła się tendencja do obniżonej wartości masy tysiąca nasion w wyniku zarówno nawadniania, jak i nawożenia azotem. Zastosowanie nawadniania spowodowało spadek o 1,5% - 2,29 g

średniej masy tysiąca nasion w porównaniu z poletkami nienawadnianymi, a nawożenie azotem o 2,8% - 4,16 g, w porównaniu z nienawożonymi.

Średnia masa tysiąca nasion odmiany 'Merlin' w roku 2015 wyniosła 162,23 g. W zależności od kombinacji czynników doświadczenia wahała się od 150,50 g na poletkach nienawadnianych i nawożonych azotem do 173,50 g na poletkach nawadnianych i nawożonych. Zastosowanie nawadniania okazało się istotnym czynnikiem. Pod wpływem tego zabiegu nastąpił wzrost o 14,8% - 22,32 g masy tysiąca nasion w porównaniu z poletkami kontrolnymi. Nawożenie azotem, jak i interakcja pomiędzy czynnikami doświadczenia nie miały istotnego wpływu na omawianą cechę.

Z kolei w roku 2016 średnia masa tysiąca nasion soi omawianej odmiany wyniosła 165,12 g i była najwyższą w omawianym okresie 2015-2018. Najniższą masę tysiąca nasion odnotowano na obiektach kontrolnych – 156,90 g, a najwyższą na poletkach nawadnianych i nienawożonych 179,00 g. Tylko nawadnianie okazało się istotnym czynnikiem. Wprowadzenie do uprawy deszczowania skutkowało zwiększeniem masy tysiąca nasion o 9,5% - 15 g. Interakcja pomiędzy czynnikami oraz nawożenie azotem nie miały istotnego wpływu na masę tysiąca nasion.

Średnia masa tysiąca nasion powyższej odmiany w 2017 roku wyniosła 146,51 g. Najniższą masę tysiąca nasion uzyskano z poletek nawadnianych i nawożonych – 122,76 g, a najwyższą z poletek nienawadnianych i nienawożonych – 174,10 g. Nawadnianie oraz nawożenie azotem istotnie wpływały na masę tysiąca nasion soi. Na poletkach nawadnianych odnotowano niższą masę tysiąca nasion o 29,1% - 37,17 g niż na poletkach kontrolnych. Również na poletkach nawożonych azotem odnotowano niższą masę tysiąca nasion o 10,2% - 14,17 g niż na poletkach nienawożonych. Interakcja czynników nie miała istotnego wpływu na masę tysiąca nasion.

Średnia masa tysiąca nasion soi odmiany 'Merlin' w roku 2018 wyniosła 122,54 g i była najniższa w 4-letnim okresie badań. W zależności od wariantu zastosowanych czynników doświadczenia masa tysiąca nasion wahała się od 117,10 g na obiektach nawadnianych i nawożonych do 131,65 g na obiektach nienawadnianych i nawożonych azotem. Deszczowanie, nawożenie azotem jak i interakcja tych czynników nie miały istotnego wpływu na zróżnicowanie omawianej cechy.

### **5.2.3. Wysokość roślin soi**

Z tabeli 20 wynika, iż średnia wysokość roślin soi odmiany 'Aldana' w okresie 2015-2018 kształtowała się na poziomie 55,69 cm. Najniższą wartość odnotowano na poletkach kontrolnych i wynosiła 45,53 cm. Z kolei najwyższą, wynoszącą 64,50 cm na poletkach deszczowanych oraz nawożonych azotem. Zastosowanie w uprawie nawadniania istotnie wpłynęło na omawianą cechę, powodując wzrost wysokości o 28,3% - 13,79 cm w stosunku do roślin

nienawadnianych. Nawożenie azotem miało pozytywny wpływ na wysokość roślin w postaci wzrostu o 9,8% - 5,19 cm.

W pierwszym roku badań, 2015 średnia wysokość roślin soi powyższej odmiany wyniosła 37,76 cm i była najniższa w 4-letnim okresie prowadzenia doświadczenia. W zależności od zastosowanego wariantu czynników wartości wahały się od 22,97 cm na poletkach nienawadnianych i nawożonych do 52,65 cm na poletkach nawadnianych i nawożonych. Deszczowanie miało istotny wpływ na wysokość roślin soi, powodując wzrost cechy o 103,1% - 25,69 cm. Nawożenie azotem jak i interakcja czynników nie były istotne.

W roku 2016 średnia wysokość roślin ze wszystkich obiektów wyniosła 71,76 cm i była najwyższa w omawianych latach. W zależności od kombinacji czynników doświadczenia wysokość roślin mieściła się w zakresie od 58,20 cm na poletkach kontrolnych do 87,40 cm na poletkach deszczowanych i nawożonych, co potwierdza istotność interakcji czynników doświadczenia. Analiza wariancji wykazała, iż deszczowanie, nawożenie azotem oraz interakcja czynników były istotne. Zarówno zastosowanie deszczowania, jak i nawożenia azotem skutkowało wzrostem analizowanej cechy, odpowiednio o 16,5% - 10,93 cm oraz 29,2% - 18,27 cm.

Tabela 20. Wysokość roślin soi odmiany 'Aldana' [cm]

Warianty	2015	2016	2017	2018	Średnio
W <sub>0</sub> N <sub>0</sub>	26,85	58,20	58,00	39,05	45,53
W <sub>0</sub> N <sub>1</sub>	22,97	74,40	74,08	36,76	52,05
W <sub>1</sub> N <sub>0</sub>	48,55	67,05	73,20	53,85	60,66
W <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	52,65	87,40	61,95	56,00	64,50
Średnia W <sub>0</sub>	24,91	66,30	66,04	37,91	48,79
Średnia W <sub>1</sub>	50,60	77,23	67,58	54,93	62,58
Średnia N <sub>0</sub>	37,70	62,63	65,60	46,45	53,09
Średnia N <sub>1</sub>	37,81	80,90	68,02	46,38	58,28
Średnia dla odmiany	37,76	71,76	66,81	46,42	55,69
<b>NIR<sub>0,05</sub> dla:</b>					
<b>Deszczowania</b>	3,580	1,352	r.n.	4,897	10,307
<b>Nawożenia</b>	r.n.	1,300	r.n.	r.n.	r.n.
<b>Interakcji</b>	r.n.	1,838	r.n.	r.n.	r.n.

Opracowanie własne: W<sub>0</sub> – bez deszczowania, W<sub>1</sub> – deszczowanie, N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – nawożenie azotem

Na poletkach doświadczalnych w roku 2017 średnia wysokość roślin soi omawianej odmiany wyniosła 66,81 cm. Najniższą - 58,00 cm zanotowano na obiektach kontrolnych, a najwyższą – 74,08 cm na obiektach nienawadnianych oraz nawożonych. Żaden z badanych czynników nie miał istotnego wpływu na badaną cechę.

W roku 2018 średnia wysokość roślin powyższej odmiany wynosiła 46,42 cm. W zależności od kombinacji czynników cecha charakteryzowała się zakresem od 36,76 cm na poletkach nienawadnianych oraz nawożonych do 56,00 cm na poletkach nawadnianych i nawożonych. Na poletkach deszczowanych wysokość roślin była większa o 44,9% - 17,02 cm niż na niedeszczowanych.

Jak pokazuje tabela 21 średnia wysokość roślin soi odmiany ‘Merlin’ w okresie prowadzenia doświadczenia polowego wyniosła 65,89 cm. Najniższą wartość zanotowano na obiektach kontrolnych i wynosiła 56,05 cm. Natomiast najwyższą na obiektach nawadnianych oraz nawożonych azotem - 79,24 cm. Na poletkach deszczowanych wysokość roślin soi była istotnie wyższa niż na niedeszczowanych o 25,2% - 14,74 cm. W przypadku zastosowania nawożenia azotem zaznaczyła się tendencja do wzrostu wysokości roślin na poletkach nawożonych o 13,7% - 8,46 cm.

W roku 2015 średnia wysokość roślin odmiany ‘Merlin’ wyniosła 43,85 cm i była najniższa w okresie 2015-2018. W zależności od zastosowanej kombinacji czynników wartości wahały się od 30,90 cm na poletkach nienawadnianych i nawożonych do 59,85 cm na poletkach nawadnianych i nawożonych. Nawadnianie miało istotny wpływ na powyższą cechę i skutkowało wzrostem wysokości roślin o 77,5% - 24,50 cm. Natomiast nawożenie azotem, jak i interakcja czynników nie miały istotnego wpływu.

W drugim roku prowadzenia doświadczeń polowych, średnia wysokość roślin wynosiła 100,29 cm. Była to największa wartość w badanym okresie. Najniższą wysokość roślin zanotowano na poletkach nawadnianych i nienawożonych – 90,20 cm, a najwyższą na poletkach nienawadnianych i nawożonych – 108,10 cm. Deszczowanie nie miało istotnego wpływu na wartość omawianej cechy soi. Natomiast nawożenie azotem miało istotny wpływ, skutkując wzrostem wysokości roślin o 12,7% - 11,98 cm. Podobnie jak deszczowanie, tak i interakcja czynników doświadczenia w kształtowaniu wysokości roślin soi odmiany ‘Merlin’, była nieistotna.

Średnia wysokość roślin soi omawianej odmiany w roku 2017 wynosiła 61,77 cm. W zależności od zastosowanej kombinacji czynników wahała się od 51,40 cm na obiektach kontrolnych do 79,62 cm na obiektach nawadnianych i nawożonych azotem. Zarówno nawadnianie, nawożenie azotem jak i interakcja czynników istotnie wpłynęły na wysokość roślin soi. Wraz z zastosowaniem deszczowania wartość powyższej cechy wzrosła o 29,4% - 15,84 cm. Także zastosowanie nawożenia azotem spowodowało istotny wzrost roślin o 22,3% - 12,38 cm.

Ostatni, 2018 rok, prowadzenia badań charakteryzował się średnią wysokością roślin soi na poziomie 57,65 cm. Najniższą wysokość – 42,10 cm zaobserwowano na obiektach kontrolnych, na najwyższą – 73,05 cm na obiektach nawadnianych i nawożonych azotem. Podobnie jak w roku 2017, nawadnianie i nawożenie miały istotny wpływ na wysokość roślin. Na poletkach deszczowanych rośliny były wyższe o 54,1% - 24,55 cm, w porównaniu do niedeszczowanych, natomiast na poletkach nawożonych azotem o 11,8% - 6,40 cm w porównaniu do nienawożonych.

Tabela 21. Wysokość roślin soi odmiany ‘Merlin’ [cm]

Warianty	2015	2016	2017	2018	Średnio
W <sub>0</sub> N <sub>0</sub>	32,30	98,40	51,40	42,10	56,05
W <sub>0</sub> N <sub>1</sub>	30,90	108,10	56,30	48,65	60,99
W <sub>1</sub> N <sub>0</sub>	52,35	90,20	59,75	66,80	67,28
W <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	59,85	104,45	79,62	73,05	79,24
Średnia W <sub>0</sub>	31,60	103,25	53,85	45,38	58,52
Średnia W <sub>1</sub>	56,10	97,33	69,69	69,93	73,26
Średnia N <sub>0</sub>	42,33	94,30	55,58	54,45	61,66
Średnia N <sub>1</sub>	45,38	106,28	67,96	60,85	70,12
Średnia dla odmiany	43,85	100,29	61,77	57,65	65,89
<b>NIR<sub>0,05</sub> dla:</b>					
<b>Deszczowania</b>	6,840	r.n.	9,350	6,241	10,064
<b>Nawożenia</b>	r.n.	7,086	3,750	3,109	r.n.
<b>Interakcji</b>	r.n.	r.n.	5,310	r.n.	r.n.

Opracowanie własne: W<sub>0</sub> – bez deszczowania, W<sub>1</sub> – deszczowanie, N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – nawożenie azotem

#### 5.2.4. Wysokość osadzenia najniższego strąka na roślinie soi

W okresie prowadzenia badań, średnia wysokość osadzenia najniższego strąka na roślinie soi odmiany ‘Aldana’ wyniosła 10,16 cm (tabela 22). Analizowana cecha najniższą wartość osiągnęła na obiektach nienawadnianych i nawożonych azotem – 9,04 cm, natomiast najwyższą na poletkach nawadnianych i nawożonych – 11,86 cm. Zastosowanie nawadniania i nawożenia azotem nie spowodowało istotnego zróżnicowania wysokości osadzenia najniższego strąka na roślinie. Zaznaczyła się tendencja do wyższego osadzenia strąka, zarówno pod wpływem deszczowania, jak i nawożenia azotem.

W poszczególnych latach badań średnia wysokość osadzenia najniższego strąka na roślinie odmiany ‘Aldana’ była bardzo różna – od 6,06 cm w 2015 roku

do 15,73 w 2018 roku. Działanie deszczowania było istotne tylko w ostatnim roku badań, przyczyniając się do wyższego osadzenia najniższego strąka. Wpływ nawożenia azotem nie był istotny w żadnym roku przeprowadzania eksperymentu polowego. W roku 2018 istotną okazała się interakcja czynników w kształtowaniu omawianej cechy. Na poletkach niedeszczowanych, nawożenie azotem przyczyniło się do niższego osadzenia najniższego strąka, podczas gdy w warunkach nawadniania spowodowało, że osadzenie to było wyższe.

Tabela 22. Wysokość osadzenia najniższego strąka na roślinie soi odmiany ‘Aldana’ [cm]

Warianty	2015	2016	2017	2018	Średnio
W <sub>0</sub> N <sub>0</sub>	4,62	7,70	11,35	15,65	9,83
W <sub>0</sub> N <sub>1</sub>	5,22	7,30	10,65	13,00	9,04
W <sub>1</sub> N <sub>0</sub>	7,47	8,65	10,60	12,90	9,91
W <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	6,92	9,03	10,15	21,35	11,86
Średnia W <sub>0</sub>	4,92	7,50	11,00	14,33	9,44
Średnia W <sub>1</sub>	7,20	8,84	10,38	17,13	10,88
Średnia N <sub>0</sub>	6,05	8,18	10,98	14,28	9,87
Średnia N <sub>1</sub>	6,07	8,17	10,40	17,18	10,45
Średnia dla odmiany	6,06	8,17	10,69	15,73	10,16
<b>NIR<sub>0,05</sub> dla:</b>					
<b>Deszczowania</b>	r.n.	r.n.	r.n.	1,417	r.n.
<b>Nawożenia</b>	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
<b>Interakcji</b>	r.n.	r.n.	r.n.	5,727	r.n.

Opracowanie własne: W<sub>0</sub> – bez deszczowania, W<sub>1</sub> – deszczowanie, N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – nawożenie azotem

Według danych z tabeli 23 w okresie 2015-2018 średnia wysokość osadzenia najniższego strąka na roślinie soi odmiany ‘Merlin’ wyniosła 11,32 cm. Najmniejszą wartość tej cechy osiągnięto na poletkach nawadnianych i nawożonych – 10,98 cm, a najwyższą na poletkach kontrolnych – 11,94 cm. Podobnie jak w przypadku odmiany ‘Aldana’, również w uprawie odmiany ‘Merlin’ czynniki doświadczenia oraz ich interakcja nie wpłynęły istotnie na zróżnicowanie analizowanej cechy.

W poszczególnych latach badań średnia wysokość osadzenia najniższego strąka na roślinie odmiany ‘Merlin’ była bardzo różna – od 7,74 cm w 2015 roku do 14,34 w 2016 roku. Działanie deszczowania było istotne tylko w 2017 roku, przyczyniając się do niższego osadzenia najniższego strąka. Wpływ nawożenia azotem był istotny w roku 2015 i 2018, powodując odpowiednio niższe albo wyższe osadzenie najniższego strąka. W ostatnim roku badań stwierdzono także

istotny wpływ interakcji czynników na kształtowanie omawianej cechy. Nawożenie azotem wpłynęło na wyższe osadzenie najniższego strąka w większym stopniu na stanowiskach niedeszczowanych, w porównaniu z deszczowanymi.

Tabela 23. Wysokość osadzenia najniższego strąka na roślinie soi odmiany ‘Merlin’ [cm]

Warianty	2015	2016	2017	2018	Średnio
W <sub>0</sub> N <sub>0</sub>	8,05	16,22	12,10	11,40	11,94
W <sub>0</sub> N <sub>1</sub>	6,55	12,30	10,55	15,45	11,21
W <sub>1</sub> N <sub>0</sub>	8,55	15,10	10,20	10,75	11,15
W <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	7,80	13,75	10,35	12,00	10,98
Średnia W <sub>0</sub>	7,30	14,26	11,33	13,43	11,58
Średnia W <sub>1</sub>	8,18	14,43	10,28	11,38	11,07
Średnia N <sub>0</sub>	8,30	15,66	11,15	11,08	11,55
Średnia N <sub>1</sub>	7,18	13,03	10,45	13,73	11,10
Średnia dla odmiany	7,74	14,34	10,80	12,40	11,32
<b>NIR<sub>0,05</sub> dla:</b>					
<b>Deszczowania</b>	r.n.	r.n.	0,980	r.n.	r.n.
<b>Nawożenia</b>	0,940	r.n.	r.n.	1,674	r.n.
<b>Interakcji</b>	r.n.	r.n.	r.n.	2,367	r.n.

Opracowanie własne: W<sub>0</sub> – bez deszczowania, W<sub>1</sub> – deszczowanie, N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – nawożenie azotem

### 5.2.5. Średnia liczba strąków i nasion z jednej rośliny soi

Średnia w latach badań liczba strąków na jednej roślinie obu odmian soi była bardzo podobna i wynosiła 16,29 szt. u odmiany ‘Aldana’ oraz 16,45 szt. w przypadku odmiany ‘Merlin’ (tabela 24). Zbliżona była także średnia liczba nasion z pojedynczej rośliny, która kształtowała się na poziomie 29,44-30,92 szt. w zależności od odmiany. Spośród czynników doświadczenia, istotny był wpływ deszczowania na liczbę zarówno strąków, jak i nasion tylko w przypadku odmiany ‘Merlin’. Rośliny deszczowane wykształciły więcej strąków (średnio na jednej roślinie 6,79 szt.) oraz więcej nasion (średnio 17,93 szt.). W uprawie odmiany ‘Aldana’ zarsysowała się tendencja do większej liczby strąków i nasion pod wpływem deszczowania. Taka sama tendencja dotyczyła roślin obu odmian soi nawożonych azotem, w stosunku do nienawożonych. Nie stwierdzono istotnego wpływu współdziałania wody i azotu w kształtowaniu liczebności strąków i nasion na pojedynczej roślinie soi.

Tabela 24. Liczba strąków i nasion z jednej rośliny soi – średnio w latach 2015-2018 [szt.]

Warianty	Liczba strąków		Liczba nasion	
	Aldana	Merlin	Aldana	Merlin
W <sub>0</sub> N <sub>0</sub>	13,19	13,51	22,93	22,96
W <sub>0</sub> N <sub>1</sub>	17,36	12,59	30,76	20,95
W <sub>1</sub> N <sub>0</sub>	16,31	18,50	28,53	37,75
W <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	18,31	21,18	35,53	42,03
Średnia W <sub>0</sub>	15,28	13,05	26,85	21,96
Średnia W <sub>1</sub>	17,31	19,84	32,03	39,89
Średnia N <sub>0</sub>	14,75	16,01	25,73	30,36
Średnia N <sub>1</sub>	17,84	16,89	33,15	31,49
Średnia dla odmiany	16,29	16,45	29,44	30,92
<b>NIR<sub>0,05</sub> dla:</b>				
<b>Deszczowania</b>	r.n.	6,193	r.n.	11,406
<b>Nawożenia</b>	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
<b>Interakcji</b>	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.

Opracowanie własne: W<sub>0</sub> – bez deszczowania, W<sub>1</sub> – deszczowanie, N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – nawożenie azotem

### 5.3. CECHY JAKOŚCIOWE NASION SOI

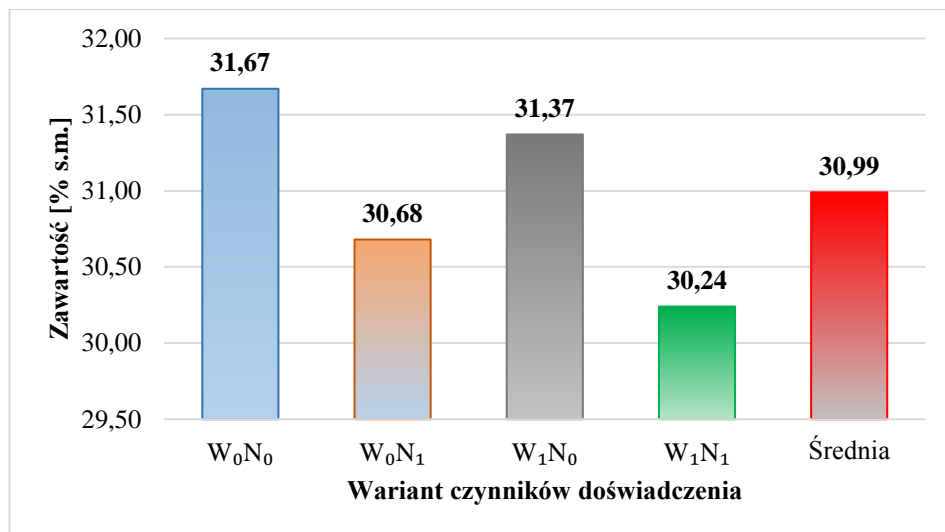
#### 5.3.1. Zawartość białka ogólnego w nasionach soi

Jak pokazuje rysunek 22 średnia zawartość białka ogólnego w nasionach soi odmiany ‘Aldana’ w trzech pierwszych latach prowadzenia badań polowych, tj. 2015-2017 wyniosła 30,99% s.m. W zależności od zastosowanych czynników zawartość składnika utrzymywała się na poziomie od 30,24% s.m. na poletkach nawadnianych i nawożonych do 31,67% s.m. na poletkach kontrolnych. Zarówno zastosowanie deszczowania, jak i nawożenia azotem nie spowodowało zatem znaczącego zróżnicowania badanej cechy. Można stwierdzić, że zmniejszyło zawartość białka ogólnego w suchej masie w okresie badań odpowiednio o 0,36% s.m. oraz 1,06% s.m.

Z kolei średnia zawartość białka ogólnego w nasionach soi odmiany ‘Merlin’ w latach prowadzenia badań 2015-2017 wyniosła 29,40% s.m. Najniższą zanotowano dla poletek nawadnianych i nawożonych – 28,83% s.m., a najwyższą dla poletek kontrolnych - 30,56% s.m. Podobnie jak w przypadku odmiany ‘Aldana’, nawadnianie jak i nawożenie azotem spowodowało

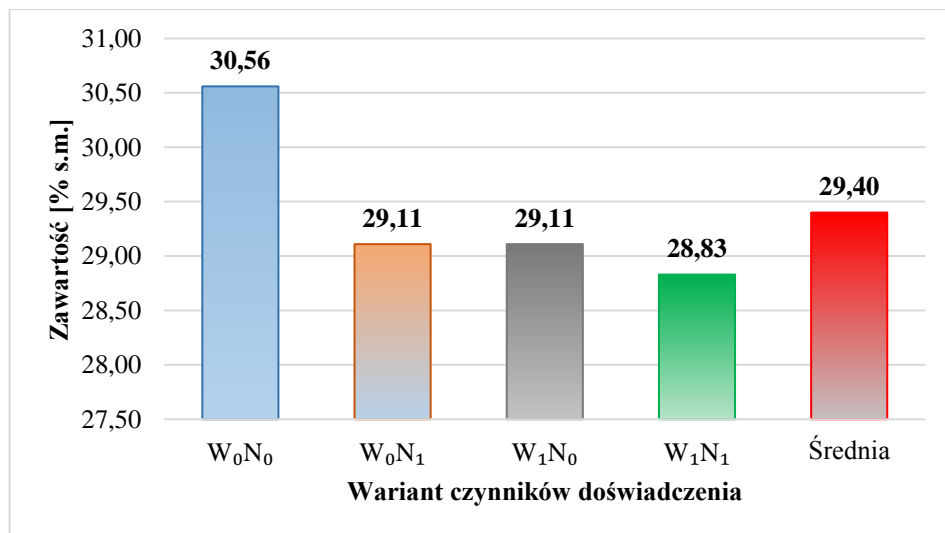


zmniejszenie zawartości białka ogólnego w nasionach odmiany ‘Merlin’ odpowiednio o 0,86% s.m. oraz 0,87% s.m. (rysunek 23).



Opracowanie własne: W<sub>0</sub> – bez deszczowania, W<sub>1</sub> – deszczowanie, N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – nawożenie azotowe

Rys. 22. Zawartość białka ogólnego w nasionach soi odmiany ‘Aldana’ [% s.m.]



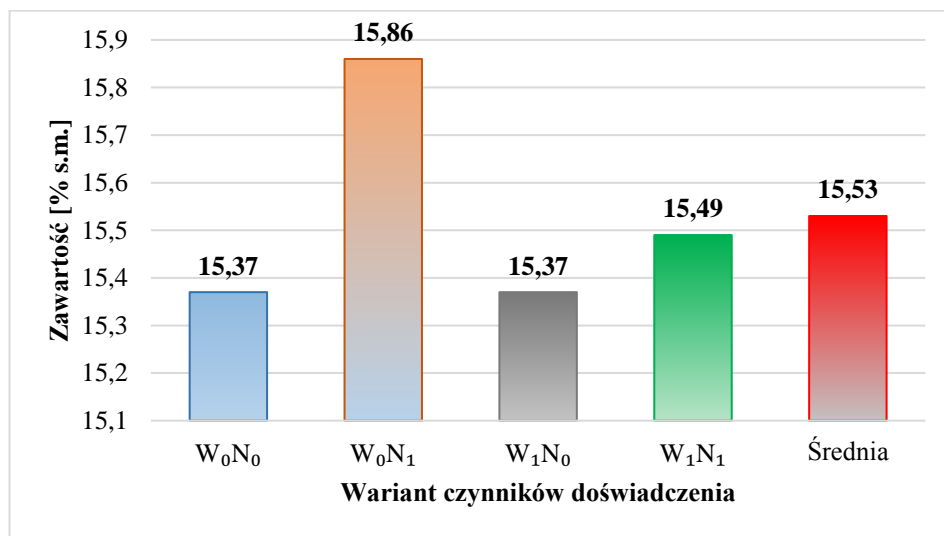
Opracowanie własne: W<sub>0</sub> – bez deszczowania, W<sub>1</sub> – deszczowanie, N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – nawożenie azotowe

Rys. 23. Zawartość białka ogólnego w nasionach soi odmiany ‘Merlin’ [% s.m.]

### 5.3.2. Zawartość tłuszczu surowego w nasionach soi

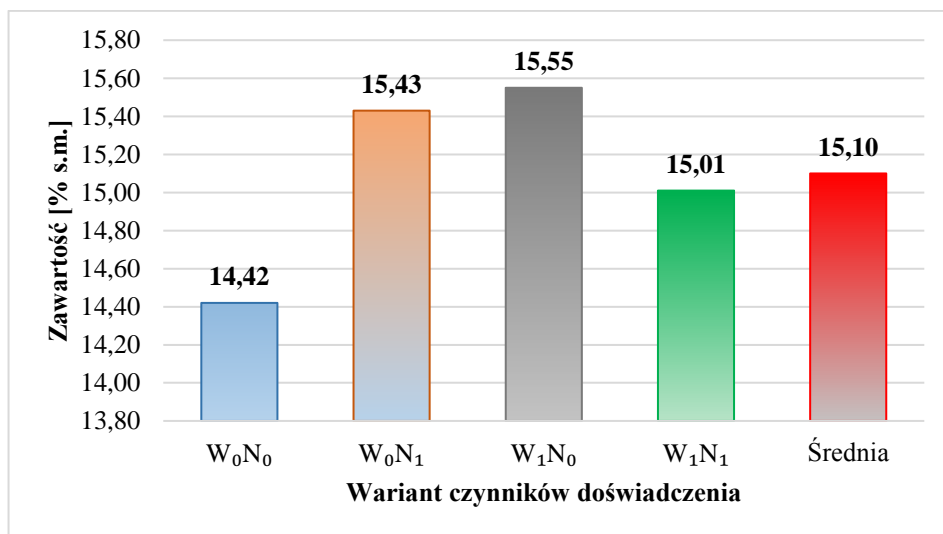
Według danych przedstawionych na rysunku 24 średnia zawartość tłuszczu surowego w nasionach soi odmiany 'Aldana' w latach 2015-2017 wyniosła 15,53% s.m. Zależności od kombinacji czynników zawartość tłuszczu utrzymywała się na poziomie od 15,37% s.m. na poletkach kontrolnych oraz nawadnianych i nienawożonych do 15,86% s.m. na poletkach nienawadnianych i nawożonych. Czynniki doświadczenia nie spowodowały znaczącego zróżnicowania badanego składnika. Można zauważyć, że deszczowanie obniżyło jego zawartość w nasionach odmiany o 0,19% s.m. Natomiast nawożenie azotem zwiększyło zawartość tłuszczu surowego o 0,31% s.m.

Jak pokazują dane przedstawione na rysunku 25 średnia zawartość tłuszczu surowego w nasionach soi odmiany 'Merlin' w latach 2015-2017 wyniosła 15,10% s.m. Zależnie od zastosowanych czynników zawartość omawianego składnika wahała się w zakresie od 14,42% s.m. na poletkach kontrolnych do 15,55% s.m. na poletkach nawadnianych i nienawożonych. Nawadnianie skutkowało zwiększeniem zawartości tłuszczu surowego w nasionach o 0,36% s.m. Także nawożenie azotem zwiększyło zawartość składnika o 0,23% s.m.



Opracowanie własne: W<sub>0</sub> – bez deszczowania, W<sub>1</sub> – deszczowanie, N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – nawożenie azotowe

Rys. 24. Zawartość tłuszczu surowego w nasionach soi odmiany 'Aldana' [% s.m.]



Opracowanie własne: W<sub>0</sub> – bez deszczowania, W<sub>1</sub> – deszczowanie, N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – nawożenie azotowe

Rys. 25. Zawartość tłuszczu surowego w nasionach soi odmiany ‘Merlin’ [% s.m.]

## 5.4. PROGOZOWANIE EFEKTÓW DESZCZOWANIA SOI

Założono, że uzyskane w doświadczeniach polowych prowadzonych w latach 2015-2018 efekty produkcyjne deszczowania badanych odmian soi zależały od różnych warunków opadowych i termiczno-opadowych w poszczególnych sezonach wegetacji. Warunki te określono ilością opadów atmosferycznych w czterech okresach wzrostu i rozwoju roślin: V-VIII, VI-VIII, VI-VII i VII-VIII oraz wysokością niedoborów rzeczywistych opadów atmosferycznych w stosunku do opadów optymalnych określonych przez Klatta, w tych samych okresach. Ze względu na minimalną liczebność próby (N=4 lata badań) wartość krytyczna współczynnika korelacji na poziomie  $p=0,95$  wynosi 0,95, a determinacji 0,9025.

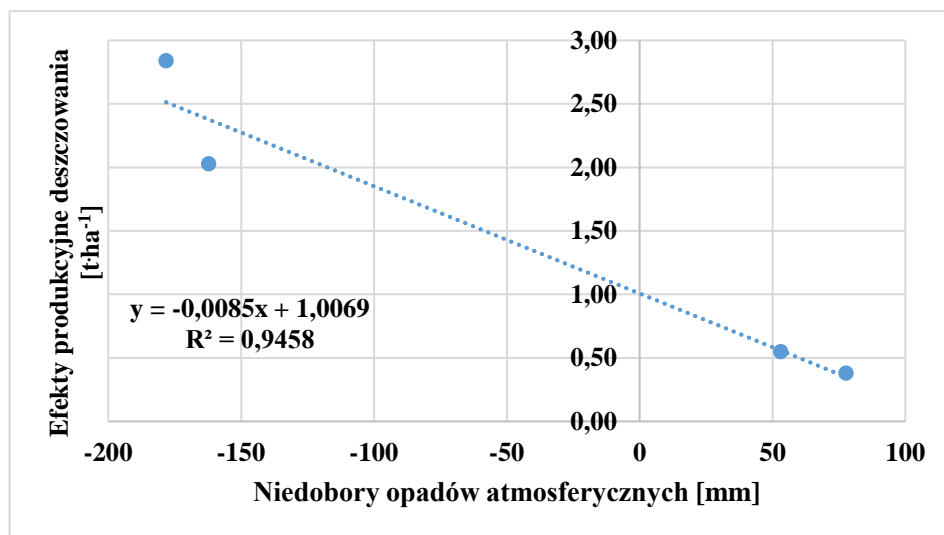
Jak wynika z przeprowadzonej analizy korelacji i regresji (tabela 25), istotną statystycznie zależność uzyskano określając wysokość średnich dla zastosowanych wariantów nawozowych przyrostów plonów nasion odmiany ‘Merlin’ pod wpływem deszczowania w funkcji sumy niedoborów opadowych w okresie od maja do sierpnia (V-VIII). Efekty produkcyjne deszczowania odmiany ‘Merlin’ znacznie lepiej korelowały z warunkami meteorologicznymi, w porównaniu z osiągniętymi pod wpływem deszczowania odmiany ‘Aldana’. Ponadto zwraca uwagę fakt, iż lepsza korelacja dotyczyła dłuższych okresów wzrostu i rozwoju (V-VIII) oraz (VI-VIII), w porównaniu z krótszymi (VI-VII oraz VII-VIII). Ogólnie wyższe współczynniki determinacji cechowały zależność efektów produkcyjnych deszczowania obu odmian soi od wysokości niedoborów opadów atmosferycznych, w porównaniu do zależności

od wysokości samych opadów. Niedobory opadów stanowią bardziej kompleksowy wyróżnik warunków pogodowych bowiem zależą nie tylko od ilości opadów rzeczywistych, ale również od temperatury powietrza.

Tabela 25. Współczynniki determinacji charakteryzujące zależność efektów produkcyjnych deszczowania soi od wysokości opadów i niedoborów opadów atmosferycznych

Odmiana	Okres wzrostu i rozwoju roślin			
	V-VIII	VI-VIII	VI-VII	VII-VIII
<b>Zależność od wysokości opadów atmosferycznych</b>				
Aldana	0,5466	0,5063	0,5123	0,3284
Merlin	0,8715	0,8383	0,6488	0,7336
<b>Zależność od wysokości niedoborów opadów atmosferycznych</b>				
Aldana	0,6557	0,5818	0,6616	0,4014
Merlin	0,9458*	0,8934	0,7807	0,7944

Opracowanie własne. Wartość krytyczna współczynnika determinacji  $p=0,95$   $R^2=0,9025$

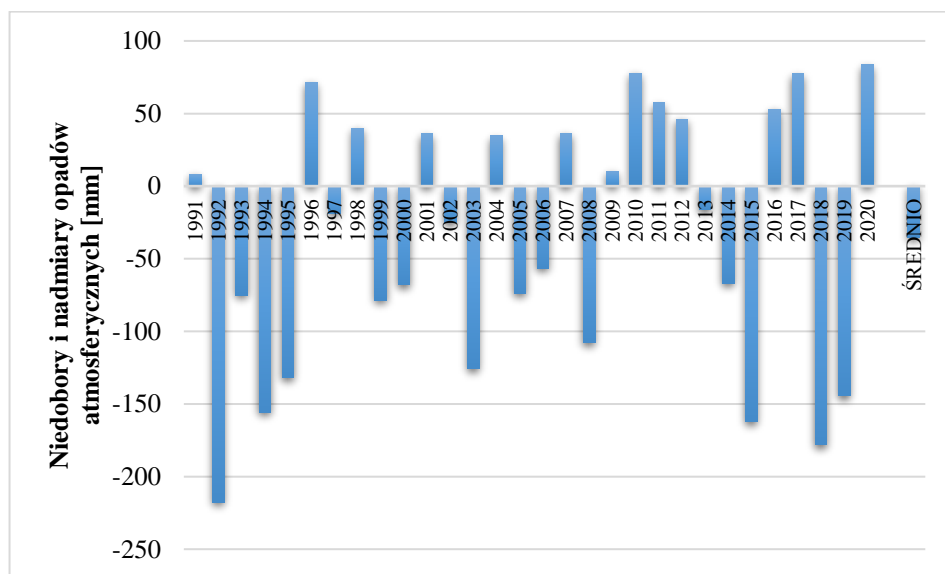


Opracowanie własne

Rys. 26. Zależność przyrostów plonów nasion soi odmiany 'Merlin' od wysokości niedoborów opadów atmosferycznych w okresie V-VIII

Istotną zależność przyrostów plonów nasion soi odmiany 'Merlin' od wysokości niedoborów opadów atmosferycznych w okresie V-VIII przedstawiono na rysunku 26. Z równania regresji liniowej wynika, że każdy

1 mm deficytu opadów w wymienionym okresie (w przedziale od -178,2 do 77,6 mm) powodował przyrost plonu nasion o  $8,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Stwierdzona na podstawie badań istotna zależność upoważnia do modelowania efektów produkcyjnych deszczowania na podstawie znajomości wymienionego wskaźnika agrometeorologicznego, zgodnie z zależnością typu pogoda-plon. Zaprezentowany prosty, jednoczynnikowy model może służyć do prognozowania efektów deszczowania soi w różnych latach różniących się warunkami opadowymi (zmiennosc czasowa), jak i w różnych strefach opadowych (zmiennosc przestrzenna).



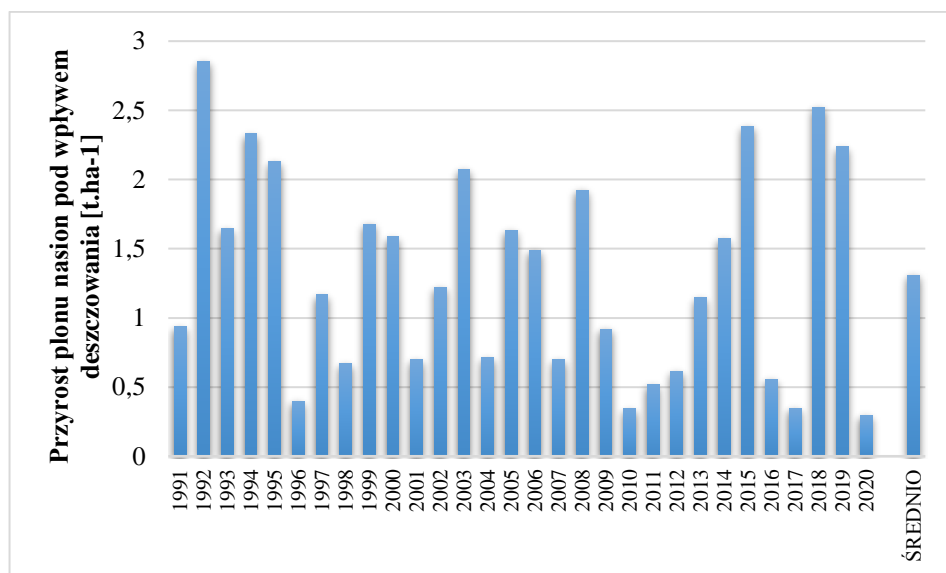
Opracowanie własne

Rys. 27. Niedobory i nadmiary opadów atmosferycznych w uprawie soi w okresie V-VIII w latach 1991-2020 na podstawie danych meteorologicznych w Mochelku w rejonie Bydgoszczy

Jak wynika z rysunku 27 warunki opadowe w okresie wegetacji soi (V-VIII) cechują się w rejonie Bydgoszczy wyjątkowo dużą zmiennością czasową. Średni niedobór opadów atmosferycznych w uprawie soi wynosi  $35,7 \text{ mm}$ , wahając się od maksymalnego niedoboru  $-217,6 \text{ mm}$  w 1992 roku do maksymalnego nadmiaru opadów  $83,6 \text{ mm}$  w roku 2020. W analizowanym okresie normalnym wystąpiło 17 lat z niedoborami opadów w uprawie soi, w tym 4 (1992, 1994, 2015 i 2018) z niedoborami powyżej  $150 \text{ mm}$  i dalsze 4 (1995, 2003, 2008 i 2019) z niedoborami w zakresie od  $-100$  do  $-150 \text{ mm}$ . Niedobory przekraczające  $-50 \text{ mm}$ , ale mniejsze od  $-100 \text{ mm}$  stwierdzono w 6 sezonach wegetacji: 1993, 1999, 2000, 2005, 2006 i 2014. Można zatem przyjąć, że w rejonie Bydgoszczy bardzo duże potrzeby deszczowania soi (niedobory opadów co najmniej  $-150 \text{ mm}$ )

występują z częstością 13,3%, z taką samą częstością pojawiają się lata z dużymi potrzebami nawadniania (niedobory opadów w przedziale od -100 do -150 mm), a sezony o umiarkowanych potrzebach nawadniania (niedobory w zakresie od -50 do -100 mm) występują z częstością 20,0%. W analizowanym okresie normalnym 1991-2020 wystąpiło 13 lat z nadmiarami opadów atmosferycznych w uprawie soi, przy czym nadmiary przekraczające 50 mm stwierdzono w 6 latach: 1996, 2010, 2011, 2016, 2017 i 2020.

Zwraca uwagę fakt, iż cztery lata prowadzenia doświadczeń z deszczowaniem soi cechowały diametralnie różne warunki opadowe: sezony 2015 i 2018 charakteryzowały się bardzo dużymi potrzebami deszczowania, a w sezonach 2016 i 2017 wystąpiły znaczące (powyżej 50 mm) nadmiary opadów.



Opracowanie własne

Rys. 28. Przyrosty plonów nasion soi odmiany ‘Merlin’ pod wpływem deszczowania w latach 1991-2020

Na podstawie zależności pokazanej na rysunku 26 i znajomości niedoborów opadowych, możliwe było przedstawienie przyrostów plonów nasion soi odmiany ‘Merlin’ pod wpływem deszczowania. Średni wieloletni przyrost plonu w rejonie Bydgoszczy wynosi 1,31 t·ha<sup>-1</sup>, maksymalny 2,86, a minimalny 0,30 t·ha<sup>-1</sup>. W latach o bardzo dużych potrzebach deszczowania soi, można oczekiwać efektu produkcyjnego przekraczającego 2,28 t·ha<sup>-1</sup>, w sezonach o dużych potrzebach zastosowania deszczowania – 1,86 t·ha<sup>-1</sup>, a w latach o umiarkowanych potrzebach nawodnieniowych – 1,43 t·ha<sup>-1</sup> (rysunek 28).

## 5.5. OCENA EKONOMICZNEJ EFEKTYWNOŚCI DESZCZOWANIA

### 5.5.1. Koszty deszczowania soi

Wyniki przedstawione w tabeli 26 pokazują, iż wraz ze wzrostem powierzchni nawadnianej przy użyciu deszczowni rosły całkowite koszty inwestycji. Odnotowano ponad 6-krotny wzrost z 34.500,00 zł dla powierzchni 1 hektara do 212.750,00 zł dla powierzchni 50 hektarów. W przypadku jednostkowych kosztów inwestycji w przeliczeniu na 1 hektar wystąpiła zależność odwrotna. Wraz ze wzrostem powierzchni nawadnianej z 1 do 50 hektarów koszty te spadały ponad 8-krotnie, z 34.500,00 zł $\cdot$ ha $^{-1}$  do 4.255,00 zł $\cdot$ ha $^{-1}$ .

Tabela 26. Koszty nawadniania deszczownianego soi odmian ‘Aldana’ oraz ‘Merlin’

<b>Koszty nawadniania deszczownianego soi</b>					
<b>Nawadniana powierzchnia [ha]</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>
<b>Całkowity koszt inwestycji [zł]</b>	34 500,00	40 250,00	63 250,00	103 500,00	212 750,00
<b>Koszty inwestycji [zł<math>\cdot</math>ha<math>^{-1}</math>]</b>	34 500,00	8 050,00	6 325,00	5 175,00	4 255,00
<b>Koszty roczne [zł<math>\cdot</math>ha<math>^{-1}</math>]</b>					
<b>Amortyzacja 6,65% [zł<math>\cdot</math>ha<math>^{-1}</math>]</b>	2 294,25	535,33	420,61	344,14	282,96
<b>Oprocentowanie kapitału 5% [zł<math>\cdot</math>ha<math>^{-1}</math>]</b>	1 725,00	402,50	316,25	258,75	212,75
<b>Koszty napraw i materiałów 2% [zł<math>\cdot</math>ha<math>^{-1}</math>]</b>	690,00	161,00	126,50	103,50	85,10
<b>Koszty paliwa [zł<math>\cdot</math>ha<math>^{-1}</math>]</b>	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00
<b>Razem koszty [zł<math>\cdot</math>ha<math>^{-1}</math>]</b>	4 959,25	1 348,83	1 113,36	956,39	830,81

Opracowanie własne

W każdym z badanych wariantów nawadnianej powierzchni amortyzacja stanowiła największą część rocznych kosztów wynikających z użytkowania systemu deszczowni. Zaobserwowano ujemną korelację kosztów rocznych do powierzchni nawadniania. Najwyższe koszty roczne odnotowano dla powierzchni 1 hektara i wyniosły 4.959,25 zł $\cdot$ ha $^{-1}$ , z czego koszt amortyzacji stanowił 46% całości. Z kolei najniższe koszty zanotowano dla powierzchni 50 hektarów (830,81 zł $\cdot$ ha $^{-1}$ ), a amortyzacja stanowiła 34% ogółu.

### 5.5.2. Efektywność produkcyjna deszczowania

Jak pokazuje tabela 27 w badanym okresie średni wzrost plonu nasion soi odmiany ‘Aldana’ w wyniku wprowadzenia do agrotechniki zabiegu nawadniania deszczownianego wyniósł 1,45 t·ha<sup>-1</sup>. Była to zwyżka plonu rzędu 91%. Efektywność nawadniania zanotowano na poziomie 11,7 kg·mm<sup>-1</sup>. Na poletkach nienawadnianych zanotowano bardziej niestabilny plon, o czym świadczy współczynnik zmienności wynoszący 53,1%. Zastosowanie nawadniania zwiększyło stabilizację plonowania, jednak współczynnik zmienności nadal był wysoki i wyniósł 43,2%.

Natomiast w przypadku odmiany ‘Merlin’ zastosowanie nawadniania skutkowało 37-procentowym wzrostem średniego plonu nasion, tj. o 1,30 t·ha<sup>-1</sup>. Każdy 1 mm zaaplikowanej przy użyciu nawodnień wody spowodował wzrost plonu średnio o 10,5 kg·ha<sup>-1</sup>. Odmiana charakteryzowała się na poletkach nienawadnianych niestabilnym plonem. Cechował ją praktycznie taki sam współczynnik zmienności (53,0%) jak odmianę ‘Aldana’. Deszczowanie poletek spowodowało wyraźną stabilizację plonowania, gdyż wartość współczynnika zmienności spadła do 24,9% (tabela 27).

Tabela 27. Średnie efekty produkcyjne nawadniania deszczownianego soi odmian ‘Aldana’ oraz ‘Merlin’ w latach 2015-2018

Odmiana	Bez nawadniania		Z nawadnianiem		Zwyżka plonu pod wpływem nawadniania		
	Wysokość plonu [t·ha <sup>-1</sup> ]	w.z. [%]	Wysokość plonu [t·ha <sup>-1</sup> ]	w.z. [%]	[t·ha <sup>-1</sup> ]	[%]	[kg·mm <sup>-1</sup> ]
‘Aldana’	1,60	53,1	3,05	43,2	1,45	91	11,7
‘Merlin’	2,72	53,0	4,02	24,9	1,30	37	10,5

w.z. – współczynnik zmienności. Opracowanie własne

### 5.5.3. Efektywność ekonomiczna deszczowania

Analiza efektywności ekonomicznej nawadniania deszczownianego soi odmiany ‘Aldana’ w wariancie I wykazała, iż poza powierzchnią 1 hektara (-3.132,25 zł·ha<sup>-1</sup>) uzyskano dodatnią wartość nadwyżki bezpośredniej, w przedziale od 478,18 zł·ha<sup>-1</sup> dla 5 hektarów do 996,19 zł·ha<sup>-1</sup> dla 50 hektarów (tabela 28).

Również w przypadku wariantu II zastosowanie nawadniania nie było ekonomicznie uzasadnione na powierzchni 1 hektara, gdyż skutkowało stratami ekonomicznymi o wartości -2.421,75 zł·ha<sup>-1</sup>. Podobnie jak w przypadku wariantu I dodatnią wartość nadwyżki bezpośredniej uzyskano w przedziale od 1.188,68 zł·ha<sup>-1</sup> dla 5 hektarów do 1.706,69 zł·ha<sup>-1</sup> dla 50 hektarów (tabela 29).



Tabela 28. Efektywność ekonomiczna nawadniania deszczownianego soi odmiany ‘Aldana’ w wariancie I – średnia ceny nasion soi z lat 2019-2021

Nawadniana powierzchnia [ha]	Przyrost plonu pod wpływem nawadniania [t $\cdot$ ha $^{-1}$ ]	Wartość dodatkowa uzyskana dzięki nawadnianiu [zł $\cdot$ ha $^{-1}$ ]	Koszty nawadniania [zł $\cdot$ ha $^{-1}$ ]	Przyrost kosztów rolniczych [zł $\cdot$ ha $^{-1}$ ]	Nadwyżka bezpośrednia [zł $\cdot$ ha $^{-1}$ ]
1	1,45	2 610,00	4 959,25	783,00	-3 132,25
5			1 348,83		478,18
10			1 113,36		713,64
20			956,39		870,61
50			830,81		996,19

Opracowanie własne

Tabela 29. Efektywność ekonomiczna nawadniania deszczownianego soi odmiany ‘Aldana’ w wariancie II – średnia ceny nasion soi z roku 2021

Nawadniana powierzchnia [ha]	Przyrost plonu pod wpływem nawadniania [t $\cdot$ ha $^{-1}$ ]	Wartość dodatkowa uzyskana dzięki nawadnianiu [zł $\cdot$ ha $^{-1}$ ]	Koszty nawadniania [zł $\cdot$ ha $^{-1}$ ]	Przyrost kosztów rolniczych [zł $\cdot$ ha $^{-1}$ ]	Nadwyżka bezpośrednia [zł $\cdot$ ha $^{-1}$ ]
1	1,45	3 625,00	4 959,25	1 087,50	-2 421,75
5			1 348,83		1 188,68
10			1 113,36		1 424,14
20			956,39		1 581,11
50			830,81		1 706,69

Opracowanie własne

Analogicznie jak wyżej wygląda ocena efektywności ekonomicznej nawadniania deszczownianego soi odmiany ‘Merlin’ w badanych wariantach. W wariancie I tylko nawadnianie powierzchni 1 hektara było ekonomicznie nieopłacane, gdyż uzyskano stratę wartości -3.321,25 zł $\cdot$ ha $^{-1}$ . W pozostałych, analizowanych arealach uzyskano dodatnią wartość nadwyżki bezpośredniej, w przedziale od 289,18 zł $\cdot$ ha $^{-1}$  dla 5 hektarów do 807,19 zł $\cdot$ ha $^{-1}$  dla 50 hektarów (tabela 30).

Jak pokazuje tabela 31 także w wariancie II deszczowanie nie było ekonomicznie opłacalne na powierzchni 1 hektara, gdyż skutkowało stratami ekonomicznymi o wartości -2.684,25 zł $\cdot$ ha $^{-1}$ . Ponadto podobnie jak w wyżej

analizowanych przypadkach dodatnią wartość nadwyżki bezpośredniej uzyskano w przedziale od 926,18 zł·ha<sup>-1</sup> dla 5 hektarów do 1.444,19zł·ha<sup>-1</sup> dla 50 hektarów.

Tabela 30. Efektywność ekonomiczna nawadniania deszczownianego soi odmiany ‘Merlin’ w wariancie I – średnia ceny nasion soi z lat 2019-2021

Nawadniana powierzchnia [ha]	Przyrost plonu pod wpływem nawadniania [t·ha <sup>-1</sup> ]	Wartość dodatkowa uzyskana dzięki nawadnianiu [zł·ha <sup>-1</sup> ]	Koszty nawadniania [zł·ha <sup>-1</sup> ]	Przyrost kosztów rolniczych [zł·ha <sup>-1</sup> ]	Nadwyżka bezpośrednia [zł·ha <sup>-1</sup> ]
1	1,30	2 340,00	4 959,25	702,00	-3 321,25
5			1 348,83		289,18
10			1 113,36		524,64
20			956,39		681,61
50			830,81		807,19

Opracowanie własne

Tabela 31. Efektywność ekonomiczna nawadniania deszczownianego soi odmiany ‘Merlin’ w wariancie II – średnia ceny nasion soi z roku 2021

Nawadniana powierzchnia [ha]	Przyrost plonu pod wpływem nawadniania [t·ha <sup>-1</sup> ]	Wartość dodatkowa uzyskana dzięki nawadnianiu [zł·ha <sup>-1</sup> ]	Koszty nawadniania [zł·ha <sup>-1</sup> ]	Przyrost kosztów rolniczych [zł·ha <sup>-1</sup> ]	Nadwyżka bezpośrednia [zł·ha <sup>-1</sup> ]
1	1,30	3 250,00	4 959,25	975,00	-2 684,25
5			1 348,83		926,18
10			1 113,36		1 161,64
20			956,39		1 318,61
50			830,81		1 444,19

Opracowanie własne

## 6. Dyskusja Wyników

Jak podają liczni autorzy, w tym Boczar [2016], soja ze względu na skład chemiczny nasion, dająca możliwość wykorzystania jako substytut białka zwierzęcego stanowi ważny element światowego rolnictwa. Ponadto dzięki zdolności życia w symbiozie z bakteriami brodawkowymi i wiązanie wolnego azotu pozytywnie wpływa na zawartość składników pokarmowych w glebie. Powyższe korzyści, jak i wiele innych opisanych w niniejszej rozprawie doktorskiej, mogą prowadzić do zwiększenia areалу uprawy badanej, innowacyjnej rośliny na glebach Polski.

Głównym celem przeprowadzonych badań w okresach wegetacji 2015-2018 była ocena wpływu nawadniania deszczownianego, nawożenia azotem oraz ich interakcji na wysokość i jakość plonu oraz cechy biometryczne roślin soi odmian 'Aldana' oraz 'Merlin'. Badania zrealizowano na polach doświadczalnych Stacji Badawczej Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy w miejscowości Mochełek, na glebie lekkiej.

Klimat Polski, umiarkowany przejściowy, stawia pewne bariery w uprawie soi na terenie kraju. Czynnikiem determinującym wzrost i rozwój rośliny jest przebieg pogody w okresie wegetacji. Dla regionu Bydgoszczy prowadzono badania naukowe nad wpływem warunków pogodowych na plonowanie roślin uprawnych [Bojar i in. 2013] oraz oceny klimatycznego ryzyka uprawy soi [Żarski i in. 2019].

Soja należy do grupy roślin ciepłolubnych. Siew nasion badanych odmian w okresie prowadzenia doświadczeń polowych wykonano w miesiącach: kwiecień (lata 2015-2017) oraz maj (rok 2018). Według metody Lorenc kwiecień sklasyfikowano jako: lekko chłodny w roku 2015, normalny w roku 2016 oraz lekko chłodny w roku 2017. Natomiast maj roku 2018 jako anomalnie ciepły. Zastosowane terminy siewu pokrywają się z ustaleniami Augustyńskiej i Bębenisty [2019]. Średnia temperatura powietrza w rejonie prowadzenia doświadczeń polowych w latach 2015-2018 w przedziale IV-IX była wyższa, w porównaniu z okresem 1991-2020. W latach 2015 i 2016, uznanych według klasyfikacji Lorenc za normalne, średnia temperatura powietrza wyniosła odpowiednio 14,8°C oraz 14,9°C. W roku doświadczalnym 2017, który zakwalifikowany został jako lekko chłodny wartość ta wyniosła 14,2°C. Z kolei za ekstremalnie ciepły uznano rok 2018, ze średnią na poziomie 17,2°C. Powyższe wyniki są tożsame, bądź niewiele niższe od założeń prezentowanych przez badaczy, którzy jak m.in. Łykowski [1984] wskazują, iż najniższą wartością termiczną powietrza pozwalającą na normalny przebieg wegetacji soi jest 10°C. Natomiast Kasperska-Wołowicz i in. [2021] w swojej pracy minimalną wartość średniej temperatury powietrza w czasie wzrostu omawianej rośliny wskazują na poziomie 15°C.

W rozwoju roślin niezwykle ważnym wskaźnikiem termicznym jest suma efektywnych temperatur w okresie od siewu do zbioru soi. W roku 2015 we wspomnianym okresie zanotowano sumę temperatur efektywnych o wartości 1489°C zakładając progową temperaturę powietrza na poziomie 6°C. W roku 2016 wartość ta wyniosła 1473,1°C, a w 2017 roku było to 1593,5°C. Natomiast ostatni rok doświadczenia polowego charakteryzował się wartością na poziomie 1749,5°C. Uzyskane w roku 2016 wyniki w Radzikowie przy temperaturze progowej 6°C wskazują dla odmiany 'Aldana' sumę temperatur efektywnych na poziomie 1375°C, a dla odmiany 'Merlin' 1511°C [źródło internetowe nr 2]. Natomiast Lewandowska [2016] jako sumę temperatur efektywnych dla odmiany 'Merlin' wskazuje 1500°C. W ujęciu kontynentalnym Berschneider [2016] dla warunków panujących w Europie, przyjmując temperaturę progową o wartości 6°C wskazuje, iż roślina soi charakteryzuje się sumą efektywnych temperatur od 1500°C do 1800°C. Opisane w rozprawie doktorskiej wyniki dla regionu Bydgoszczy mieszczą się w założeniach powyższych badaczy.

Drugim, ale nie mniej ważnym determinantem uprawy soi jest woda. Badacze w literaturze tematycznej [Żarski i in. 2014] podkreślają, iż opady atmosferyczne są najważniejszym czynnikiem agrometeorologicznym wpływającym na wielkość i jakość plonu roślin. Opady w warunkach rejonu Bydgoszczy cechują się dużą zmiennością wysokości oraz rozkładem w latach. Występowanie i rozkład opadów atmosferycznych, zasobność gleby w wodę łatwo dostępną, mogącą pokryć zapotrzebowanie roślin czy też występujące okresy posuszne oddziałują na wzrost i rozwój soi. Soja należy do roślin o wysokich wymaganiach wodnych, na co wskazują w swoich pracach Nowak i Wróbel [2010], Zarychta [2014], Eteng i Nwagbara [2014] czy też Aminah i in. [2021]. Żarski i in. [2019] jako krytyczne miesiące w aspekcie zapotrzebowania na wodę soi wskazują maj, lipiec oraz sierpień. Natomiast jak podają Luca i in. [2003] w okresie wegetacji największe zapotrzebowanie na wodę zanotowano w lipcu. Z kolei Augustyńska i Bębenista [2019] podają, iż soja w fazie wschodów przypadającej na miesiące kwiecień-maj charakteryzuje się wysokimi potrzebami wodnymi. W okresach wskazanych przez powyższych badaczy wystąpienie niedoborów wody może prowadzić do upośledzenia prawidłowego wzrostu i rozwoju rośliny, a co za tym idzie spadku plonu nasion soi oraz pogorszenia jego jakości. Jak podkreślają liczni badacze, w warunkach stresu wodnego spada plon nasion soi oraz jego składowe [Randelović i in. 2010, Kobraei i in. 2011 oraz Mandić i in. 2015].

W latach prowadzenia badań zanotowano niższą średnią opadów atmosferycznych w miesiącach IV-IX w odniesieniu do lat 1991-2020. Rok 2015 zgodnie z klasyfikacją RPI według Kaczorowskiej został uznany za bardzo suchy, łączny opad atmosferyczny zanotowano na poziomie 193,3 mm. Miesiące krytyczne w uprawie soi, tj. maj, lipiec i sierpień sklasyfikowano odpowiednio jako bardzo suchy, suchy oraz bardzo suchy. Z kolei rok 2016 był rokiem wilgotnym według wyżej wspomnianej klasyfikacji, z opadami łącznymi 386,7 mm. Maj zakwalifikowano jako miesiąc normalny, lipiec jako bardzo

wilgotny, a sierpień jako normalny. Również w 2017 roku zanotowano wysokie opady atmosferyczne na poziomie 474,8 mm, co spowodowało iż miesiąc ten został sklasyfikowany według klasyfikacji RPI jako bardzo wilgotny. Miesiące krytyczne zostały uznane jako normalny (maj), bardzo wilgotny (lipiec) i skrajnie wilgotny (sierpień). Ostatni rok doświadczeń polowych z opadami na poziomie 207,7 mm był rokiem suchym. Maj i sierpień sklasyfikowano jako bardzo suche, a lipiec jako normalny.

Na potrzeby badań przeprowadzono bilans zapasu wody łatwo dostępnej dla soi celem określenia potrzeb deszczowania. Jak podają Dudek i in. [2013] jest to wskaźnik pośredni, którego zaletą ale i wadą jest uniwersalność. Powyższa metoda nie określa potrzeb konkretnej uprawy, ale różnicę pomiędzy zapotrzebowaniem, a przychodami wody. Wynika z niego, iż w roku 2015 wystąpiło 48 dni z wyczerpanym zapasem wody. Suszę atmosferyczną trwającą 8 dni odnotowano, m.in. w sierpniu, a więc miesiącu krytycznym dla prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin. Rok 2016 charakteryzował się 13 dniami z wyczerpanym zapasem wody, m.in. w lipcu i sierpniu. W roku 2017 takich dni zanotowano 11, z czego 1 w lipcu. W ostatnim, 2018 roku prowadzenia doświadczeń polowych wystąpiło łącznie 51 dni z wyczerpanym zapasem wody łatwo dostępnej dla soi. Susze atmosferyczne wystąpiły w miesiącach krytycznych, tj. lipcu oraz sierpniu.

Rejon Bydgoszczy charakteryzuje się największym w skali kraju deficytem opadów, a co za tym idzie największymi potrzebami stosowania nawadniania, które ma charakter interwencyjnego uzupełnienia niedoborów opadów w stosunku do potrzeb roślin, co potwierdzają badania Kuśmierek-Tomaszewskiej i in. [2019], Żarskiego i in. [2020] czy też Kuśmierek-Tomaszewskiej i Żarskiego [2021]. W roku 2015, który był bardzo suchym z opadami w miesiącach IV-IX na poziomie 193,3 mm (poniżej średniej z lat 1991-2020) zastosowano deszczowanie w 8 dawkach łączną ilością 240 mm wody. Jak pokazuje bilans, terminy deszczowania były odpowiednio dostosowane, a zabieg pozwolił na utrzymanie dodatniego poziomu wody łatwo dostępnej. Na poletkach deszczowanych wyczerpanie zapasu wody nastąpiło na początku czerwca oraz w dniach 1 i 17 lipca, wtedy też zastosowano interwencyjnie nawadnianie w dawkach 30 mm. Rok 2016 (wilgotny) charakteryzował się opadem łącznym wysokości 386,7 mm. Zastosowano 1 dawkę, 25 mm deszczowania. Występujący na początku czerwca oraz w dniu 26 lipca stan wyczerpania zapasu wody w glebie, został zneutralizowany opadami atmosferycznymi. Wykonane 12 sierpnia nawadnianie (przy dodatnim bilansie wody) pozwoliło zatrzymać spadkową tendencję zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin co pokazują warunki wodne w kolejnych dniach na poletkach bez nawadniania. Trzeci rok (2017) prowadzenia badań własnych był rokiem bardzo wilgotnym z sumą opadów w okresie IV-IX na poziomie 474,8 mm. Czerwiec był jedynym miesiącem, gdy suma opadów była niższa niż średnia dla wielolecia. Nieregularny rozkład opadów we wspomnianym miesiącu skutkowało wystąpieniem 10 dni z wyczerpanym zapasem wody dostępnej dla roślin

w glebie. Powyższe wskazuje, iż deszczowanie zastosowane w dniu 28 czerwca w dawce 20 mm powinno zostać wprowadzone do uprawy soi w terminie wcześniejszym. Zastosowane nawadniania wraz z opadami zapewniło w glebie dostęp do wody rośliną, gdyż na obiektach niedeszczowanych w dniu 10 lipca, a więc okresie krytycznym dla soi wystąpił stan wyczerpania zapasu wody. Jak wspomniano w niniejszej pracy rok 2018 był rokiem bardzo suchym z łącznymi opadami wysokości 207,7 mm. W roku tym zastosowano łącznie 210 mm wody deszczownianej w 8 dawkach. Jak pokazuje bilans wody łatwo dostępnej na początku czerwca miało miejsce wyczerpanie zapasu wody w glebie. Zastosowane dawki nawadniania od 4 czerwca do 9 lipca oraz opady atmosferyczne stabilizowały warunki wodne. W okolicy 1 i 10 dnia sierpnia nastąpiło wyczerpanie zasobów wodnych, uregulowane w dniu 13 sierpnia dawką 30 mm wody z nawodnień. Powyższe może wskazywać na opóźnione zastosowanie deszczowania. Opisane w niniejszej pracy zróżnicowane dawki nawadniania w zależności od roku badań potwierdzają, iż w lokalizacji prowadzenia doświadczeń własnych, w zależności od warunków agroklimatycznych w danym roku zabieg ten miał charakter awaryjny, a nie stały - jak ma to miejsce w innych regionach klimatycznych świata.

W niniejszej rozprawie doktorskiej założono, iż opady atmosferyczne były uzupełniane przez deszczowanie w dawkach opisanych powyżej w poszczególnych latach (w okresie IV-IX) prowadzenia doświadczeń polowych. W myśl powyższej koncepcji rośliny soi odmian 'Aldana' i 'Merlin' w latach 2015-2018 miały do dyspozycji odpowiednio: 433,3 mm, 411,7 mm, 494,8 mm oraz 417,7 mm wody. Rok 2017 był rokiem o wyjątkowo wysokich opadach atmosferycznych – 146% średniej dla lat 1991-2020. Uzasadnionym jest więc określenie potrzeb wodnych soi w rejonie Bydgoszczy na poziomie 410 mm. Kasperska-Wołowicz i in. [2021] w badaniach dotyczących terenu województwa kujawsko-pomorskiego prowadzonych dla okresu 1981-2010 ustalili zapotrzebowanie na wodę soi wyrażone wartością ewapotranspiracji potencjalnej na poziomie 391 mm. Dane FAO bez uwzględnienia warunków pogodowych konkretnej lokalizacji zapotrzebowanie na wodę dla roślin soi w okresie wegetacji określają pomiędzy 450 a 700 mm [źródło internetowe nr 3]. Warty podkreślenia jest, iż Dudek i in. [2013] prowadząc badania w latach 2010-2012 w tej samej lokalizacji co badania własne autora niniejszej pracy, potrzeby wodne dla bobiku ustalili na poziomie 400 mm. Bobik podobnie jak soja należy do roślin strączkowych.

Jak podają w swojej pracy Bury i Nawracała [2004] wpływ panujących warunków wodnych, wyrażonych ilością i rozkładem opadów atmosferycznych jest kluczowy w kontekście plonowania soi. Badania przeprowadzone na trzech odmianach soi ('Nawiko', 'Gaj' i 'Augusta') wykazały, iż średnio plon rośliny w roku 2001 wyniósł  $1,48 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  i był wyższy niż w roku 2002 –  $1,21 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Należy podkreślić, iż w roku 2002 w całym okresie wegetacji soi panował niedobór opadów, z kolei w 2001 roku taki stan miał miejsce w maju oraz lipcu. Również badania prowadzone przez Śliwę i in. [2015] w sezonie wegetacyjnym 2014

w trzech lokalizacjach na odmianie soi ‘Merlin’ potwierdzają, iż plon w poszczególnych obiektach badań był zróżnicowany i zależny od wielkości oraz rozkładu opadów.

Wyniki uzyskane w doświadczeniach własnych, prowadzonych w latach 2015-2018 wyrażone wysokością plonu nasion soi odmian ‘Aldana’ i ‘Merlin’ potwierdzają celowość wprowadzenia zabiegu nawadniania do uprawy soi. W obu omawianych odmianach zastosowanie deszczowania skutkowało istotnym wzrostem plonu, zarówno w poszczególnych latach, jak i średniego dla odmiany w okresie badań. W przypadku odmiany ‘Aldana’ deszczowanie przyczyniło się do wzrostu plonu nasion odpowiednio o: 0,99 t·ha<sup>-1</sup> (282,9%) w 2015 roku, 0,43 t·ha<sup>-1</sup> (20,0%) w roku 2016, 0,74 t·ha<sup>-1</sup> (33,2%) w roku 2017, 1,76 t·ha<sup>-1</sup> (83,8%) w roku 2018 oraz średniego plonu z lat o 0,98 t·ha<sup>-1</sup> (57,3%). Analogiczne wyniki zaobserwowano dla odmiany ‘Merlin’. Nawadnianie skutkowało wzrostem średniego plonu nasion w latach badań o 1,45 t·ha<sup>-1</sup> (54,5%) oraz w poszczególnych latach o: 2,03 t·ha<sup>-1</sup> (263,6%) w 2015, w roku 2016 o 0,55 t·ha<sup>-1</sup> (13,1%), 0,38 t·ha<sup>-1</sup> (11,0%) w 2017 i 2,84 t·ha<sup>-1</sup> (129,1%) w roku 2018. Pozytywny wpływ nawadniania na plon nasion soi potwierdzają wyniki badań zrealizowanych na terenie Europy. Borówczak i in. [1996] w badaniach prowadzonych w okresie 1989-1992 w warunkach Wielkopolski uzyskali przyrost plonu nasion soi odmiany ‘Progres’ na poziomie 0,84 t·ha<sup>-1</sup> (z 0,49 t·ha<sup>-1</sup> do 1,33 t·ha<sup>-1</sup>) wraz z zastosowaniem deszczowania uprawy. Karges i in. [2022] prowadząc w latach 2015-2017 badania w warunkach klimatycznych Niemiec informują, iż nawadnianie soi odmian: ‘Sultana’, ‘Merlin’ i ‘Protibus’ zwiększyło średni plon nasion o 41%. Liczne badania potwierdzające powyższy trend przeprowadzono na terenie Serbii. Babovic i in. [2009] uzyskali wyniki wskazujące, iż produktywność soi w warunkach nawadniania wzrosła 2,7 razy, z 1,3 t·ha<sup>-1</sup> do 3,5 t·ha<sup>-1</sup>. Zastosowanie nawadniania w uprawie polowej założonej w Rimski Sancevi skutkowało wzrostem plonu nasion soi o 2,0 t·ha<sup>-1</sup> z 2,9 t·ha<sup>-1</sup> do 4,9 t·ha<sup>-1</sup> [Babovic i in. 2008]. Pejić i in. [2012] prowadząc w powyższej lokalizacji badania w okresie 1993-2014 wskazują, iż średni przyrost plonu soi pod wpływem nawadniania w latach badań wyniósł 0,82 t·ha<sup>-1</sup>. Dragović i in. [2004] w latach suchych uzyskali przyrost plonu nasion na poziomie 2,2 t·ha<sup>-1</sup>. Aydinsakir [2018] prowadząc badania na terenie Turcji wraz z zastosowaniem pełnej dawki nawadniania uzyskiwał przyrost plonu nasion na poziomie 2,09 t·ha<sup>-1</sup> w roku 2014 oraz 2,30 t·ha<sup>-1</sup> w roku 2015. Natomiast badania Demirtaş i in. [2010], również na terenie Turcji wskazują iż zastosowanie pełnego nawadniania skutkowało wzrostem plonu nasion soi o 65,3% – 1,58 t·ha<sup>-1</sup> (z 2,42 t·ha<sup>-1</sup> do 4,00 t·ha<sup>-1</sup>) w roku 2005 oraz o 72,5% - 1,50 t·ha<sup>-1</sup> (z 2,07 t·ha<sup>-1</sup> do 3,57 t·ha<sup>-1</sup>) w roku 2006.

Opisane we wcześniejszym rozdziale niniejszej pracy wyniki badań wskazują, iż w przypadku odmiany ‘Aldana’ 1 mm wody nawodnieniowej charakteryzował się średnią efektywnością na poziomie 7,90 kg nasion z hektara w latach 2015-2018. W poszczególnych latach było to odpowiednio: 4,13 kg,

17,20 kg, 37,00 kg oraz 8,38 kg nasion z hektara. Warty podkreślenia jest fakt, iż lata 2016 oraz 2017 w klasyfikacji RPI według Kaczorowskiej zostały sklasyfikowane jako wilgotny i bardzo wilgotny. W tych latach efektywność nawadniania była większa niż w latach 2015 i 2018, które sklasyfikowano jako bardzo suche. Analogiczne wyniki otrzymano dla odmiany 'Merlin', w 2015 roku 1 mm wody z deszczowni charakteryzował się efektywnością 8,46 kg nasion z hektara, w 2016 roku 22,00 kg, w 2017 roku 19,00 kg, a w 2018 roku 13,52 kg. Średnia efektywność dla okresu badania wyniosła dla odmiany 11,69 kg nasion z hektara. Omówione wyniki są w większości przypadków wyższe niż uzyskane przez Borówczaka i in. [1996] w warunkach Wielkopolski w latach 1989-1992, gdy jeden 1 mm wody deszczowanej charakteryzował się efektywnością 9,30 kg nasion z hektara. Z kolei Aydingsakir [2018] uzyskał efektywność 1 mm wody na poziomie (w zależności od dawki nawadniania) od 5,2 do 8,7 kg nasion z hektara w 2014 roku oraz od 5,6 do 8,3 kg nasion z hektara w 2015 roku. Pejić i in. [2012] w swojej pracy podają, iż w badaniach prowadzonych w latach 1993-2004 efektywność zużycia wody użytej do nawadniania soi wahała się od 0,11 kg na m<sup>3</sup> do 1,04 kg na m<sup>3</sup>, średnio wyniosła 0,56 kg na m<sup>3</sup>.

Liczne badania prowadzone nad wpływem nawożenia azotem na plon nasion soi potwierdzają pozytywny wpływ tego zabiegu na powyższą cechę. Szostak i in. [2020] w badaniach nad odmianami 'Amandine' i 'Merlin' na terenie Zamojszczyzny w latach 2015-2016 przy dawce startowej 30 kg N·ha<sup>-1</sup> zanotowali średni plon soi badanych odmian na poziomie 2,77 t·ha<sup>-1</sup>, podczas gdy przy dawce kontrolnej odnotowano 2,31 t·ha<sup>-1</sup>. Nawożenie azotem w dawce 30 kg N·ha<sup>-1</sup> w sposób istotny wpływało na wzrost plonu nasion soi w badaniach Głowackiej i Kasiczak [2019]. Również w pracy Mandić i in. [2020] dotyczącej dwóch odmian soi uprawianych w latach 2009-2010 na terenie Serbii zastosowanie dawki 30 kg N·ha<sup>-1</sup> dało wzrost plonu nasion o 0,35 t·ha<sup>-1</sup> z 3,58 t·ha<sup>-1</sup> do 3,93 t·ha<sup>-1</sup>. Odmienne wyniki osiągnęli Assefa i in. [2019], gdyż zastosowanie dawki 10-50 kg N·ha<sup>-1</sup> nie skutkowało wzrostem plonu nasion soi, ten nastąpił dopiero wraz z zastosowaniem nawożenia w dawce powyżej 100 kg N·ha<sup>-1</sup>. W badaniach własnych autora zastosowanie nawożenia azotem w dawce startowej 30 kg N·ha<sup>-1</sup> w uprawie soi odmiany 'Aldana' w trzech z czterech lat badań skutkowało wzrostem plonu nasion. W latach 2015, 2016 i 2018 plon nasion wzrastał odpowiednio o 0,29 t·ha<sup>-1</sup> (41,4%), 0,19 t·ha<sup>-1</sup> (8,3%) i 0,70 t·ha<sup>-1</sup> (26,6%). Średnio w okresie prowadzenia doświadczeń plon nasion wzrastał o 0,25 t·ha<sup>-1</sup> (12,0%) pod wpływem zastosowania nawożenia azotem. W roku 2017 aplikacja powyższej dawki skutkowałą spadkiem plonu nasion odmiany o 0,14 t·ha<sup>-1</sup>. Diametralnie różne wyniki uzyskano dla odmiany 'Merlin', w przypadku której startowa dawka azotu tylko w roku doświadczalnym 2018 skutkowałą wzrostem plonu nasion soi, o 0,36 t·ha<sup>-1</sup> (10,5%). W pozostałych latach nawożenie oddziaływało negatywnie, w latach 2016 i 2017 powodując istotne zmniejszenie plonu w stosunku do roślin nie nawożonych azotem. Uzyskane wyniki wskazują, iż wpływ nawożenia azotem może zależeć od przebiegu warunków meteorologicznych w poszczególnych



latach czy też zastosowanej odmiany soi. Wyniki potwierdzające powyższe osiągnęli Pisulewska i in. [1999] w latach 1995-1997 oraz Lorenc-Kozik i Pisulewska [2003] w latach 1995-1998 prowadząc badania z zastosowaniem nawożenia w dawce  $30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  na odmianach 'Aldana' oraz 'Nawiko'. Odmiana 'Aldana' w każdym roku badań reagowała wzrostem plonu nasion na zastosowane nawożenie azotem. Natomiast w przypadku odmiany 'Nawiko' bywały lata, gdy wpływ czynnika był negatywny.

W badanym okresie dla odmiany 'Aldana' najwyższy plon nasion zanotowano w roku 2018, na poziomie  $4,80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  (poletka nawadniane i nawożone azotem co potwierdza powyższe ustalenia), a najniższy w roku 2015 i wyniósł  $0,35 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  na poletkach nienawadnianych i nawożonych oraz nienawadnianych i nienawożonych. Również w 2015 roku na powyższych poletkach zanotowano najniższy plon nasion soi ( $0,77 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) odmiany 'Merlin', a najwyższy na poletkach nawadnianych i nienawożonych ( $5,09 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). W pracy Borówcza i in. [1996] najwyższy plon soi zanotowano na poletkach nawadnianych i nawożonych azotem, a najniższy na poletkach nienawadnianych oraz nienawożonych.

W zależności od panujących warunków pogodowych w poszczególnych latach doświadczeń polowych, badanej odmiany soi oraz zastosowanych czynników doświadczenia analizowane w niniejszej rozprawie doktorskiej cechy biometryczne kształtowały się na zróżnicowanym poziomie. Faligowska i Szukala [2010] wskazują, iż warunki pogodowe istotnie wpływają na cechy biometryczne roślin soi, różnicując je w poszczególnych latach.

Jak podają Macák i Candráková [2013] niski poziom opadów atmosferycznych w sierpniu skutkuje zmniejszeniem masy tysiąca nasion soi. Wpływ opadów atmosferycznych na powyższą cechę podkreślają również Borowska i Prusiński [2021]. Wyniki badań prowadzonych w latach 2016-2019 na 4 odmianach soi, w tym 'Aldana' i 'Merlin' wskazują, iż lepsze warunki wodne (wysokie i równomierne opady) w latach 2016 i 2017 skutkowały wyższą masą tysiąca nasion, odpowiednio 176 g i 183 g w porównaniu do lat 2018 (151 g) i 2019 (163 g).

W okresie 2015-2018 jak wskazują wyniki własne zastosowanie nawadniania w przypadku masy tysiąca nasion soi odmiany 'Aldana' skutkowało wzrostem cechy o 2,4% - 3,56 g. Jednak w przypadku odmiany 'Merlin' zanotowano spadek o 1,5% - 2,29 g. Nawadnianie omawianych odmian soi dało różne rezultaty w zależności od roku badań. Zarówno odmiana 'Aldana', jak i odmiana 'Merlin' w 2015 i 2016 pod wpływem nawadniania cechowały się wzrostem masy tysiąca nasion odpowiednio o 36,8% - 40,23 g i 17,3% - 26,40 g dla odmiany 'Aldana' oraz o 14,8% - 22,32 g i 9,5% - 15,00 g dla odmiany 'Merlin'. Natomiast w latach 2017 i 2018 nawadnianie skutkowało spadkiem cechy o 13,2% - 18,38 g i 7,3% - 11,64 g w przypadku odmiany 'Aldana' oraz o 29,1% - 37,17 g i 7,9% - 9,32 g w przypadku odmiany 'Merlin'. Chafi i in. [2014] w badaniach prowadzonych na terenie Indii uzyskali wyniki wskazujące na pozytywny wpływ (wzrost o 13,7%) nawadniania na masę tysiąca

nasion. Pozytywny wpływ zabiegu potwierdzają także wyniki Demirtaş i in. [2010] uzyskane na terenie Turcji, gdy zastosowanie pełnego nawaniania skutkowało wzrostem masy tysiąca nasion o 5,7% – 7,1 g (z 125,1 g do 132,2 g) w roku 2005 oraz o 9,6% - 11,4 g (z 119,1 g do 130,5 g) w roku 2006. Galić Subašić i in. [2022] w badaniach w latach 2013-2015 na terenie Chorwacji prowadzonych na 4 odmianach soi wskazują, iż wraz z zastosowaniem nawadniania (kontrola, 105 mm – 3 dawki oraz 210 mm – 6 dawek) wzrastała średnia masa tysiąca nasion soi (169,6 g  $\pm$ 3.42, 177,5 g  $\pm$ 3.40 i 179,0 g  $\pm$ 3.61). Szczegółowe wyniki uzyskane przez powyższych badaczy wskazują, iż soja reagowała w zależności od roku zróżnicowanie na dawki wody. W latach 2013 i 2014 zwiększenie dawki ze 105 do 210 mm skutkowało spadkiem masy tysiąca nasion.

Wyniki Josipović i in. [2011] wskazują, iż w zależności od roku prowadzenia doświadczeń dwie odmiany soi różnie reagowały na czynniki doświadczenia. Zastosowanie nawożenia azotem w dawce 30 kg skutkowało wzrostem na obiektach nienawadnianych. Jednak wprowadzenie nawadniania do uprawy w jednym roku, w przypadku jednej odmiany dało efekt ujemny. Basal i Szabó [2020a] badając w okresach wegetacji 2017-2019 na terenie Węgier soję uzyskali wyniki potwierdzające, iż zastosowanie pełnego nawadniania i nawożenia azotem w dawce 35 kg N·ha<sup>-1</sup> skutkowało zwiększeniem masy tysiąca nasion soi na obiektach z wprowadzonymi do uprawy czynnikami doświadczenia w porównaniu do obiektów kontrolnych. Zróżnicowanie wpływu czynników doświadczenia w zależności od roku potwierdzają wyniki własne. Dla odmiany ‘Aldana’ najwyższą masę tysiąca nasion zanotowano w roku 2018 na poletkach nienawadnianych oraz nawożonych – 182,65 g, a najniższą w 2015 roku – 108,40 g na poletkach nienawadnianych i nawożonych. Z kolei dla odmiany ‘Merlin’ najwyższą – 179,00 g w 2016 roku na poletkach nawadnianych i nienawożonych, a najniższą w roku 2018 na poletkach nawadnianych i nawożonych i wyniosła 117,10 g.

Rezultaty uzyskane przez Mandić i in. [2020] w badaniach na terenie Serbii w latach 2009-2010 wskazują, iż dawka 30 kg N·ha<sup>-1</sup> skutkowała wzrostem masy tysiąca nasion soi z 152,3 g do 153,7 g. Nawożenie azotem w dawce startowej soi odmiany ‘Aldana’ w okresie badań własnych spowodowało wzrost masy tysiąca nasion średnio dla odmiany o 11,2% - 16,12 g. W poszczególnych latach skutkowało wzrostem cechy o: 1,5% - 1,89 g w 2015r., 2,4% - 4,00 g w 2016r., 3,8% - 5,62 g w 2017r. oraz 20,3% - 30,56 g w 2018r. Natomiast średnia masa tysiąca nasion soi odmiany ‘Merlin’ w latach badań pod wpływem nawożenia spadła o 2,8% - 4,16 g. Nawożenie azotem w roku 2015 skutkowało spadkiem masy tysiąca nasion o 0,3% - 0,46 g, w roku 2016 o 3,5% - 5,67g, a w roku 2017 o 10,2% - 14,17 g. Natomiast w 2018 roku spowodowało wzrost masy tysiąca nasion odmiany o 3,0% - 3,68 g. Powyższe potwierdzają wyniki Lorenc-Kozik i Pisulewskiej [2003] uzyskane w latach 1995-1998 dla odmian ‘Aldana’ i ‘Nawiko’ przy zastosowaniu nawożenia azotem w dawce 30 kg N·ha<sup>-1</sup>.

W zależności od roku i odmiany nawożenie nie zawsze skutkowało wzrostem masy tysiąca nasion, a wręcz powodowało jej spadek.

Wysokość roślin soi to kolejna cecha biometryczna, na którą istotnie wpływają warunki pogodowe. Potwierdzają to wyniki uzyskane przez Śliwę i in. [2015], którzy prowadzili badania w sezonie wegetacji 2014 w trzech różnych lokalizacjach. Rośliny soi w zależności od występujących w miejscu badań warunków agroklimatycznych, szczególnie wysokości i rozkładu opadów osiągały wysokość: 50,7 cm, 76,7 cm oraz 80,0 cm.

Prezentowane w literaturze wyniki badań prowadzonych na terenie m.in. Serbii potwierdzają celowość zastosowania nawadniania soi pod kątem poprawy wysokości roślin. Kresović i in. [2016] prowadząc badania w okresie 2006-2008 uzyskali rezultaty, z których wynika iż wraz z zastosowaniem nawadniania (80-85% pojemności wodnej) wzrasta średnia wysokość roślin soi o 46,7% - 43,0 cm (z 92,0 cm do 135,0 cm). Powyższe wyniki są zgodne z uzyskanymi przez Ikanović i in. [2015] w latach 2011-2012. Zastosowanie nawadniania w 2 wariantach (2 i 3 dawki po 70 litrów wody każda) skutkowało wzrostem średniej wysokości roślin soi odpowiednio o 49,7% (wartość cechy 125,45 cm) oraz 56,1% (wartość cechy 130,60 cm). Bez nawadniania uzyskiwano rośliny o wysokości 83,65 cm. Także badania na terenie Turcji wskazują, iż zastosowanie pełnego nawadniania spowodowało wzrost wysokości roślin soi o 61,3% - 36,9 cm (z 60,2 cm do 97,1 cm) w roku 2005 oraz o 36,0% - 20,5 cm (z 57,0 cm do 77,5 cm) w roku 2006 [Demirtaş i in. 2010]. Prowadzone w latach 2015-2018 własne doświadczenia polowe wykazały, iż średnia wysokość roślin soi odmiany 'Aldana' pod wpływem nawadniania wzrastała o 28,3% - 13,79 cm, a w przypadku odmiany 'Merlin' o 25,2% - 14,74 cm. Powyższe rezultaty są tożsame z wynikami zawartymi w literaturze tematu. W poszczególnych latach badań zastosowanie deszczowania dawało pozytywny efekt, powodując wzrost wysokości roślin soi odmiany 'Aldana' w 2015 roku o 103,1% - 25,69 cm, w 2016 roku o 16,5% - 10,93 cm, w roku 2017 o 2,3% - 1,54 cm i w 2018 roku o 44,9% - 17,02 cm oraz odmiany 'Merlin' w roku 2015 o 77,5% - 24,50 cm, w roku 2017 o 29,4% - 15,84 cm i w 2018 roku o 54,1% - 24,55 cm. Rok 2016 w przypadku drugiej odmiany soi, był rokiem gdy zastosowanie nawadniania skutkowało spadkiem wysokości roślin o 6,1% - 5,92 cm.

Wyniki uzyskane przez autora wskazują, iż drugi czynnik, nawożenie azotem dawką startową w wysokości 30 kg N·ha<sup>-1</sup> w przypadku omawianych odmian w latach badań zwiększyło wysokość roślin soi odmiany 'Aldana' i 'Merlin' odpowiednio o 9,8% - 5,18 cm i 13,7% - 8,45 cm. Wysokość roślin odmiany 'Aldana' pod wpływem nawożenia azotem rosła w latach: 2015 o 0,3% - 0,11 cm, 2016 o 29,2% - 18,27 cm oraz 2017 o 3,7% - 2,42 cm. Z kolei w 2018 roku wartość cechy spadła o 0,2% - 0,07 cm. Wysokość nasion drugiej badanej odmiany, tj. 'Merlin' pod wpływem nawożenia wzrastała w kolejnych latach badań odpowiednio o: 7,2% - 3,05 cm, 12,7% - 11,98 cm, 22,3% - 12,38 cm oraz 11,8% - 6,40 cm. Opracowania innych autorów również wskazują na pozytywny wpływ nawożenia azotem na wysokość roślin soi. Faligowska i Szukala [2010]

w swojej pracy nad odmianą soi 'Nawiko' stosując przedsięwzięcie dawkę 35 kg·ha<sup>-1</sup> nawozu azotowego uzyskali wzrost wysokości roślin soi o 12,3% - 4,9 cm (z 38,7 cm do 43,6 cm). Również Mandić i in. [2020] w swoich badaniach wskazują, iż dawka 30 kg N·ha<sup>-1</sup> skutkowało wzrostem omawianej cechy z 109,5 cm do 114,1 cm. Z kolei Popović i in. [2018] prowadząc prace na terenie Bośni i Hercegowiny wskazują, iż zastosowanie nawożenia azotem w dawkach 50 i 100 kg N·ha<sup>-1</sup> skutkuje wzrostem wysokości roślin, gdzie rośliny z obiektów kontrolnych osiągnęły wysokość 52,16 cm, a z obiektów nawożonych odpowiednio 54,97 cm i 55,16 cm. Nawożenie w dawce 150 kg N·ha<sup>-1</sup> dawało niższą wartość cechy niż przy dawce 100 kg N·ha<sup>-1</sup>, tj. 54,10 cm.

Basal i Szabó [2020b] prowadząc badania w okresach wegetacji 2017-2019 na Węgrzech uzyskali wyniki świadczące, iż zastosowanie pełnego nawadniania i nawożenia azotem w dawce 35 kg N·ha<sup>-1</sup> skutkowało zwiększeniem wysokości roślin soi z 80,7 cm (± 9.8 ) na obiektach kontrolnych do 90.6 cm (± 14.3) na obiektach z wprowadzonymi do uprawy czynnikami doświadczenia. W pracy własnej autora rośliny odmiany 'Aldana' najwyższą wysokość osiągnęły w roku 2016 na poletkach nawadnianych i nawożonych (co potwierdza powyższe) - 87,40 cm, a najniższą w roku 2015 - 22,97 na poletkach nienawadnianych i nawożonych. Także w 2016 najwyższą wysokość osiągnęły rośliny odmiany 'Merlin' - 108,10 cm na poletkach nienawadnianych i nawożonych, a najniższe w roku 2015 - 30,90 cm na poletkach nienawadnianych i nawożonych.

Badania własne wskazują, iż wysokość osadzenia najniższego strąka na roślinie soi zarówno odmiany 'Aldana' jak i odmiany 'Merlin' była zróżnicowana. Wpływ czynników doświadczenia na powyższą cechę zależał od roku prowadzenia badań. Rośliny w zależności od odmiany, w zmienny sposób reagowały na czynniki doświadczenia. Dla odmiany 'Aldana' najwyższą wysokość osadzenia najniższego strąka na roślinie zanotowano w roku 2015 na poletkach kontrolnych i wyniosła 4,62 cm, a najniższą w roku 2018 na poletkach nawadnianych i nawożonych, gdy wyniosła 21,35 cm. Z kolei odmiana 'Merlin' najwyższy poziom opisywanej cechy osiągnęła w roku 2015 na poletkach nienawadnianych i nawożonych - 6,55 cm, a najniższy w roku 2016 na obiektach kontrolnych - 16,22 cm. Zaprezentowane w literaturze stanowiska potwierdzają, iż lokalizacja doświadczenia, a co za tym idzie zróżnicowane warunki atmosferyczne w cyklu życia rośliny mogą determinować wartość omawianej cechy. Wpływ opadów atmosferycznych potwierdzają wyniki zaprezentowane przez Borowską i Prusińskiego [2021], którzy podają iż w latach o wysokich i równomiernych opadach, 2016 i 2017 średnia wysokość osadzenia najniższego strąka na roślinie badanych odmian soi (m.in. 'Aldana' i 'Merlin') wyniosła 12,8 cm oraz 9,95 cm. Z kolei w latach o gorszych warunkach pogodowych, 2018 i 2019 było to odpowiednio 7,46 cm oraz 5,77 cm. Również Śliwa i in. [2015] w swojej pracy wskazują, iż w zależności od lokalizacji uprawy, a więc różnych warunków pogodowych rośliny soi odmiany 'Merlin' osiągały różną (7,27 cm, 10,73 cm i 12,50 cm) wysokość osadzenia najniższego strąka.

Zależnie od odmiany nawadnianie różnie wpływało na wysokość osadzenia najniższego strąka na roślinie soi. Średnio w latach 2015-2018 w przypadku odmiany 'Aldana' wartość omawianej cechy pod wpływem deszczowania wzrosła o 9,6% - 0,95 cm. Powyższe potwierdzają wyniki osiągnięte na terenie Turcji w badaniach Demirtaş i in. [2010], gdy zastosowanie pełnego nawadniania skutkowało wzrostem cechy o 37,6% - 5 cm (z 13,3 cm do 18,3 cm) w roku 2005 oraz o 66,7% - 6,6 cm (z 9,9 cm do 16,5 cm) w roku 2006. Natomiast wyniki własne pokazują, iż w przypadku odmiany 'Merlin' wartość cechy spadła o 4,6% - 0,51 cm. W poszczególnych latach skutki oddziaływania nawadniania były zróżnicowane w zależności od roku i odmiany. Rośliny odmiany 'Aldana' w latach 2015, 2016 i 2018 reagowały wzrostem wysokości osadzenia najniższego strąka odpowiednio o: 46,3% - 2,28 cm, 17,9% - 1,34 cm i 19,5% - 2,80 cm. W 2017 roku natomiast odnotowano spadek o 6,0% - 0,62 cm. Pozytywne oddziaływanie deszczowania zanotowano w latach 2015 i 2016 dla odmiany 'Merlin', gdy cecha wzrosła o 12,1% - 0,88 cm i 1,2% - 0,17 cm. W latach 2017 i 2018 wpływ był negatywny na poziomie 10,2% - 1,05 cm oraz 18,0% - 2,05 cm.

Także nawożenie azotem w dawce startowej w zależności od odmiany soi, ale także zależnie od roku badań własnych zróżnicowanie wpływało na wysokość osadzenia najniższego strąka na roślinie soi. W okresie badań dla odmiany 'Aldana' zanotowano wzrost o 5,9% - 0,58 cm. Z kolei dla odmiany 'Merlin' spadek o 4,1% - 0,45 cm. W przypadku odmiany 'Aldana' czynnik ten 2015 i 2018 oddziaływał pozytywnie, skutkując wzrostem cechy o 0,3% - 0,02 cm i 20,3% - 2,90 cm. W latach 2016 i 2017 dawka startowa nawożenia spowodowała spadek o 0,1% - 0,01 cm oraz 5,6% - 0,58 cm. Rośliny soi odmiany 'Merlin' negatywnie reagowały na zastosowania czynnika w latach 2015, 2016 i 2017, gdy wysokość osadzenia najniższego strąka spadała odpowiednio o: 15,6% - 1,12 cm, 20,2% - 2,63 cm i 6,7% - 0,7 cm. Natomiast ostatni rok badań wskazuje na odmienny wpływ zabiegu agrotechnicznego, gdyż skutkowało on wzrostem cechy o 23,9% - 2,65 cm. Badania prowadzone na terenie Serbii wskazują na korzystny wpływ nawożenia azotem na wysokość osadzenia najniższego strąka na roślinie soi. W badaniach Mandić i in. [2020] zastosowanie dawki 30 kg N·ha<sup>-1</sup> dało wzrost wartości cechy o 14,1% - 1,9 cm, z 13,5 cm do 15,4 cm. Także dolistne nawożenie mocznikiem w dawce 46 kg N·ha<sup>-1</sup> dwóch odmian w latach 2008-2009 skutkowało wzrostem średniej wartości o 7,1% - 0,8 cm ('Balkan') i o 4% - 0,4 cm ('Bečejka') jak podają Mandić i in. [2015].

Kolejną zbadaną w pracy cechą biometryczną była liczba strąków na jednej roślinie soi, na którą czynniki doświadczenia zróżnicowanie oddziaływały w zależności od odmiany. Badacze bydgoskiego ośrodka, Borowska i Prusiński [2021] podają, iż na liczbę strąków na jednej roślinie soi mogą wpływać warunki pogodowe. W swoich badaniach prowadzonych m.in. na odmianach 'Aldana' i 'Merlin' wskazują, iż lepsze warunki wodne (wysokie i równomierne opady) w latach 2016 i 2017 skutkowały wyższą liczbą strąków, odpowiednio 22,8 szt. i 25,0 szt. w porównaniu do lat 2018 (15,1 szt.) i 2019 (21,2 szt.). Na zależność

wspomnianej cechy biometrycznej od warunków klimatycznych, związanych z lokalizacją uprawy wskazują Śliwa i in. [2015], których badania wskazują iż odmiana 'Merlin' w zależności od miejsca uprawy charakteryzowała się liczbą strąków na jednej roślinie na poziomie 25,33 szt., 19,60 szt. oraz 20,81 szt.

Warunki wodne odgrywają kluczową rolę w prawidłowym rozwoju roślin soi. Jak wskazują Javan i in. [2013] stres wodny zanotowany 15 dni przed kwitnieniem skutkuje spadkiem liczby strąków na roślinę, a 22 dni po kwitnieniu może skutkować spadkiem liczby strąków oraz nasion w strąku rośliny. Jest to zgodne ze stanowiskiem Korte i in. [1983], którzy podają iż nawadnianie soi w fazie kwitnienia skutkowało wzrostem liczby strąków na jednej roślinie. Korzystny wpływ nawadniania potwierdzają badania Demirtaş i in. [2010], gdy wprowadzenie do uprawy soi pełnego nawadniania dało wzrost liczby strąków na jednej roślinie o 91,9% – 27,3 szt. (z 29,7 szt. do 57,0 szt.) w roku 2005 oraz o 46,0% - 12,5 szt. (z 27,2 szt. do 39,7 szt.) w roku 2006. Także Kresović i in. [2016] w badaniach prowadzonych w latach 2006-2008 wskazują, iż nawadnianie (80-85% pojemności wodnej) skutkowało wzrostem średniej liczby strąków na jednej roślinie soi o 47,9% - 35 szt. (z 73 szt. do 108 szt.). Opisany powyżej wpływ nawadniania potwierdzają także wyniki doświadczeń własnych w latach 2015-2018. W okresie prowadzonych badań średnia liczba strąków na jednej roślinie soi odmiany 'Aldana' wzrastała o 13,3% - 2,03 szt., a w przypadku odmiany 'Merlin' o 52,0% - 6,79 szt. pod wpływem zastosowanego deszczowania.

Nawożenie azotem także wywarło pozytywny wpływ na poprawę wskazanej cechy biometrycznej. W latach 2015-2018 średnia liczba strąków na jednej roślinie soi odmiany 'Aldana' wykazała tendencję do wzrostu o 20,9% - 3,09 szt., a w przypadku odmiany 'Merlin' o 5,5% - 0,88 szt. pod wpływem dawki 30 kg N·ha<sup>-1</sup>. Lorenc-Kozik i Pisulewska [2003] stosując dawkę 30 kg N·ha<sup>-1</sup> w uprawie odmian 'Aldana' i 'Nawiko' zaobserwowali wzrost średniej liczby strąków na jednej roślinie soi wskazanych odmian odpowiednio o 15,2% - 3,12 szt. z 20,55 szt. do 23,68 szt. oraz o 5,9% - 1,57 szt. z 26,73 szt. do 28,30 szt. Należy podkreślić, iż w zależności od roku i odmiany nawożenie nie zawsze skutkowało wzrostem cechy, a wręcz powodowało jej spadek. Wzrost o 61,3% - 4,8 szt. (z 7,6 szt. do 12,4 szt.) liczby strąków na roślinie soi odmiany 'Nawiko' stosując przedsejwnie dawkę 35 kg·ha<sup>-1</sup> nawozu azotowego opisują w swojej pracy Faligowska i Szukała [2010]. Brevendana i in. [1978] podkreślają, iż zwiększenie poziomu azotu w okresie kwitnienia soi daje wzrost liczby strąków na roślinie o 22%. Liczba strąków na jednej roślinie wzrosła także o 11,3% - 6,4 szt. (odmiana 'Balkan') i o 14,3% - 6,7 szt. (odmiana 'Bečejka') przy zaaplikowaniu dolistnie mocznika w dawce 46 kg N·ha<sup>-1</sup> [Mandić i in. 2015]. Natomiast Mandić i in. [2020], wskazują iż wprowadzenie do uprawy dawki 30 kg N·ha<sup>-1</sup> skutkowało wzrostem liczby strąków na jednej roślinie soi o 3,3% - 1,4 szt. z 42,8 szt. do 44,2 szt.

Wyniki Basal i Szabó [2020a] podobnie jak rezultaty własnych badań autora wskazują na celowość zastosowania nawadniania i nawożenia azotem pod kątem

wzrostu liczby strąków na jednej roślinie soi. Autorzy w swoich badaniach wskazują, iż zastosowanie pełnego nawadniania i nawożenia azotem w dawce  $35 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  skutkowało zwiększeniem liczby strąków na roślinie soi z 40,5 szt. ( $\pm 1,8$ ) na obiektach kontrolnych do 52,8 szt. ( $\pm 5,9$ ) na obiektach z wprowadzonymi do uprawy czynnikami doświadczenia i była to najwyższa wartość cechy.

Badania prowadzone w różnych miejscach globu wskazują, iż zastosowanie nawadniania w uprawie soi zwiększa liczbę nasion z jednej rośliny. Galić Subašić i in. [2022] prowadząc badania na 4 odmianach soi w okresie 2013-2015 na terenie Chorwacji wskazują, iż wraz z zastosowaniem nawadniania (kontrola, 105 mm – 3 dawki oraz 210 mm – 6 dawek) wzrastała średnia liczba nasion z jednej rośliny soi (odpowiednio 127,4 szt.  $\pm 3,42$ , 133,5 szt.  $\pm 5,74$  i 157,5 szt.  $\pm 5,56$ ). Badania Kresović i in. [2016] w latach 2006-2008 potwierdzają powyższe, iż wraz z zastosowaniem nawadniania (80-85% pojemności wodnej) wzrasta średnia liczba nasion z jednej rośliny o 44,3% - 60,0 szt. (z 135,3 szt. do 195,3 szt.). Wyżej opisane oddziaływanie wody z nawodnień potwierdzają wyniki osiągnięte na terenie Turcji w pracy Demirtaş i in. [2010]. Wskazują oni, iż zastosowanie pełnego nawadniania skutkowało wzrostem liczby nasion z jednej rośliny soi o 97,7% – 76,6 szt. (z 78,4 szt. do 155,0 szt.) w roku 2005 oraz o 53,5% - 38,9 szt. (z 72,7 szt. do 111,6 szt.) w roku 2006. Wpływ odpowiednich warunków wodnych w okresie krytycznym soi podkreślają Korte i in. [1983]. Nawadnianie soi w fazie kwitnienia skutkowało wzrostem liczby nasion z jednej rośliny. Wyniki własnych doświadczeń polowych są tożsame z wyżej opisanymi stanowiskami prezentowanymi w literaturze i wskazują, iż zastosowanie deszczowania soi obu odmian skutkowało wzrostem średniej liczby nasion z jednej rośliny w latach badań. W przypadku odmiany ‘Aldana’ był to wzrost o 19,3% - 5,18 szt., a w przypadku odmiany ‘Merlin’ o 81,6% - 17,93 szt.

Także drugi czynnik korzystnie oddziaływał na poziom omawianej cechy soi. Pozytywny wpływ nawożenia azotem podkreślają w swojej pracy nad odmianą soi ‘Nawiko’ Faligowska i Szukala [2010]. Przedsięwna dawka  $35 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  nawozu azotowego skutkowała wzrostem liczby nasion z jednej rośliny soi o 60,4% - 9,0 szt. (z 13,7 szt. do 22,7 szt.). Według wyników własnych badany okres charakteryzował się przyrostem średniej liczby nasion z rośliny o 28,8% - 7,42 szt. (odmiana ‘Aldana’) oraz o 3,7% - 1,13 szt. (odmiana ‘Merlin’) w wyniku zastosowania nawożenia azotem. Lorenc-Kozik i Pisulewska [2003] dla odmiany ‘Aldana’ i ‘Nawiko’ przy zastosowaniu nawożenia azotem w dawce  $30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  w zależności od roku i odmiany podkreślają, iż nawożenie nie zawsze skutkowało wzrostem liczby nasion z rośliny, a wręcz powodowało jej spadek. Dla odmian ‘Aldana’ średnia wartość cechy spadła z 44,6 szt. do 42,4 szt. o 4,9% - 2,2 szt. Natomiast dla odmian ‘Nawiko’ nastąpił wzrost o 2,3% - 0,9 szt. z 38 szt. do 38,9 szt.

W uprawie soi, jako rośliny o pożądanym składzie chemicznym niezwykle duży nacisk kładzie się nie tylko na ilościowy aspekt plonu nasion, ale także

na jakościowy, w niniejszej pracy wyrażony zawartością białka ogólnego i tłuszczu surowego w suchej masie nasion soi odmiany 'Aldana' oraz 'Merlin'. Powyższe cechy jakościowe są determinowane przez różne składowe, m.in. warunki agroklimatyczne występujące w okresie wzrostu i rozwoju roślin. Wpływ warunków pogodowych (wysokie temperatury oraz umiarkowane sumy opadów) na zawartość białka w nasionach soi podkreśla Vollmann i in. [2000]. Borowska i Prusiński [2021] wskazują na znaczenie opadów w kształtowaniu zawartości białka w nasionach. Prowadząc badania w latach 2016-2019 z wykorzystaniem 4 odmian soi (w tym 'Aldana' i 'Merlin') badacze uzyskali wyniki potwierdzające, iż lepsze warunki wodne (wysokie i równomierne opady) w latach 2016 i 2017 skutkowały wyższą zawartością powyższego składnika, odpowiednio 36,8% i 36,0% w porównaniu do lat 2018 (32,8%) i 2019 (38,2%).

Wyniki własnych badań wskazują, iż zarówno zastosowanie deszczowania jak i nawożenia azotem przedsięwzięte w dawce 30 kg N·ha<sup>-1</sup> skutkowało spadkiem zawartości białka ogólnego w nasionach odmiany 'Aldana' (odpowiednio o 0,36% s.m. i 1,06% s.m.) oraz 'Merlin' (odpowiednio o 0,86% s.m. i 0,87% s.m.). Dla odmiany 'Aldana' najniższą zawartość białka - 30,24% s.m. odnotowano na poletkach nawadnianych i nawożonych, a najwyższą - 31,67% s.m. na poletkach kontrolnych. Analogicznie dla odmiany 'Merlin', najniższą zawartość - 28,83% s.m. odnotowano na poletkach nawadnianych i nawożonych, a najwyższą - 30,56% s.m. na poletkach kontrolnych. Inne wyniki prezentują Basal i Szabó [2020a], którzy w swoich badaniach zastosowali pełne nawadnianie oraz nawożenie azotem w dawce 35 kg N·ha<sup>-1</sup>. Najniższą zawartość białka w nasionach soi uzyskali na obiektach kontrolnych (35,8% ± 1.2) oraz nienawadnianych i nawożonych azotem (35,8% ± 1.0). Natomiast najwyższą na obiektach nawadnianych i nienawożonych (37,7% ± 2.2). Powyższe wskazuje na negatywny wpływ nawożenia azotem oraz pozytywny nawadniania na zawartość omawianego składnika. Przedstawione w literaturze wyniki nie wskazują jednoznacznie na wyższej opisane oddziaływanie nawadniania na zawartość białka. Kresović i in. [2017] prowadząc badania w sezonie 2015 na terenie Serbii wskazują, iż zawartość białka rośnie wraz z zastosowaniem nawadniania. Jednak pełne nawadnianie - brak deficytu wodnego skutkuje spadkiem zawartości składnika (36,50%) nawet w porównaniu do próby kontrolnej - 37,00%. Natomiast Tatić i in. [2016] wskazują, iż na terenach nawadnianych zanotowano wyższą zawartość białka w nasionach soi - 40,44% niż na obiektach nienawadnianych - 40,37% prowadząc badania w Serbii w roku 2012.

Odnośnie nawożenia azotem w literaturze dominuje pozytywny wydzźwięk oddziaływania czynnika na zawartość białka ogólnego w nasionach soi. Mandić i in. [2020] w swoich badaniach wskazują, iż dawka 30 kg N·ha<sup>-1</sup> skutkowała wzrostem zawartości procentowej składnika w nasionach soi o 0,1% z 37,3% do 37,4%. Na pozytywny wpływ nawożenia azotem (dawka 30 kg N·ha<sup>-1</sup>) na zawartość białka w nasionach soi wskazują Randelović i in. [2010] w swoich badaniach prowadzonych na terenie Serbii w latach 2008-2009.



Pod wpływem nawożenia zawartość białka wzrastała z 32,51% do 33,12% (odmiana 'Laura') oraz z 31,73% do 32,17% (odmiana 'Lana').

Nawadnianie i nawożenie azotem miało zróżnicowany wpływ na zawartość tłuszczu surowego w nasionach badanych przez autora odmian soi. W przypadku odmiany 'Aldana' deszczowanie skutkowało spadkiem zawartości tłuszczu w nasionach odmiany o 0,19% s.m. Z kolei nawożenie azotem zwiększyło zawartość tłuszczu surowego o 0,31% s.m. Natomiast w przypadku odmiany 'Merlin' wzrost zawartości składnika zaobserwowano przy zastosowaniu nawadniania o 0,36% s.m. oraz nawożenia o 0,23% s.m. Najniższą (15,37% s.m.) zawartość tłuszczu w nasionach soi odmiany 'Aldana' odnotowano na poletkach kontrolnych oraz nawadnianych i nienawożonych, a najwyższą (15,86% s.m.) na poletkach nienawadnianych i nawożonych. W przypadku odmiany 'Merlin' najniższą zawartość składnika (14,42% s.m.) zaobserwowano na poletkach kontrolnych, a najwyższą (15,55% s.m.) na poletkach nawadnianych i nienawożonych. W badaniach Basal i Szabó [2020a] przy zastosowaniu pełnego nawadniania i nawożenia azotem w dawce 35 kg N·ha<sup>-1</sup> najniższą (21,5% ± 0.7) zawartość tłuszczu w nasionach soi zanotowano na obiektach nawadnianych i nawożonych, a najwyższą na obiektach kontrolnych (22,5% ± 0.9) oraz nienawadnianych i nawożonych azotem (22,5% ± 0.8). Uzyskane wyniki w badaniach własnych, dotyczące wpływu nawadniania na zawartość tłuszczu surowego w nasionach soi znajdują potwierdzenie w literaturze. Kresović i in. [2017] wskazują, iż zastosowanie pełnego nawadniania skutkuje wzrostem zawartości tłuszczu z 20,10% do 20,30% w uprawie na terenie Serbii. Natomiast Tatić i in. [2016] w badaniach również na terenie Serbii podają, iż nawadnianie zmniejszyło zawartość tłuszczu w nasionach z 21,84% do 19,64%. Pisulewska i in. [1999] wskazują, iż zastosowania nawożenia azotem w dawce 30 kg N·ha<sup>-1</sup> skutkowało wzrostem średniej zawartości tłuszczu z 20,27% do 21,00% (odmiana 'Aldana') oraz z 20,00% do 20,17% (odmiana 'Nawiko'). Natomiast Mandić i in. [2020] przedstawiają, iż nawożenie w dawce 30 kg N·ha<sup>-1</sup> skutkowało spadkiem zawartości tłuszczu w nasionach soi o 0,4% z 21,4% do 21,0%. Wyniki potwierdzające negatywny wpływ nawożenia azotem na zawartość składnika przedstawiają w swojej pracy Randelović i in. [2010]. Nawożenia azotem (dawka 30 kg N·ha<sup>-1</sup>) skutkowało spadkiem zawartości tłuszczu z 20,94% do 20,82% (odmiana 'Laura') oraz z 21,84% do 21,66% (odmiana 'Lana').

Opisane w niniejszej pracy oraz prezentowane przez licznych badaczy z całego świata wyniki wskazują, iż zastosowanie nawadniania zwiększa i stabilizuje plon nasion soi niezależnie od panujących warunków agroklimatycznych. Wprowadzenie do uprawy nawadniania w przypadku odmiany 'Aldana' i 'Merlin' skutkowało wzrostem plonu nasion soi. Nastąpiło zwiększenie stabilizacji plonowania, ale współczynnik zmienności dla odmiany 'Aldana' nadal był wysoki i wyniósł 43,2%. Natomiast dla odmiany 'Merlin' współczynnik zmienności spadł do 24,9%. Nawadnianie soi zwiększało oraz stabilizowało plon nasion soi także w pracy Wesley i in. [1993]. Najważniejszym

zadaniem nawadniania jest poprawa efektów produkcyjnych roślin. Jest to jednocześnie miara celowości wprowadzenia do uprawy tego, jak na warunki klimatu Polski interwencyjnego zabiegu. Jednak pomimo wyżej uzasadnionego, korzystnego wpływu nawadnianie jest zabiegiem kosztownym jak podają Prokopowicz i Lipiński [2008]. W praktyce rolniczej, prowadzonej na skalę produkcyjną to jednak opłacalność ekonomiczna danego zabiegu ma decydujący wpływ, uzasadniający wprowadzenia do agrotechniki. W polskiej literaturze nie podjęto próby oceny ekonomicznej opłacalności nawadniania soi. Należy podkreślić, iż badacze ośrodka bydgoskiego sprawdzili ekonomiczną opłacalność nawadniania niektórych roślin uprawnych [Kledzik i in. 2015 oraz Kledzik i in. 2017].

Podjęta przez autora ocena ekonomicznej efektywności deszczowania soi wskazuje, iż wraz ze wzrostem powierzchni uprawnej nawadnianej przy użyciu deszczowni rosną całkowite koszty inwestycji (z 34.500,00 zł dla powierzchni 1 hektara do 212.750,00 zł dla powierzchni 50 hektarów). Jednak należy podkreślić, iż koszt jednostkowy inwestycji, tj. w przeliczeniu na 1 hektar spada wraz ze wzrostem powierzchni (z 34.500,00 zł·ha<sup>-1</sup> do 4.255,00 zł·ha<sup>-1</sup>). Powyższe jest zgodne z wynikami uzyskanymi przez Kledzika i in. [2015] w badaniach dotyczących również nawadniania deszczownianego. W wynikach własnych największą część w strukturze kosztów rocznych stanowi amortyzacja, której koszt wraz wzrostem areалу również spada. Dobek i Dobek [2008] w badaniach nad ekonomicznymi aspektami uprawy soi stwierdzili, iż największy udział w strukturze kosztów stanowią koszty eksploatacji maszyn i urządzeń, dalej były koszty materiałów i surowców. Natomiast Boczar [2016] wskazuje na koszty materiału siewnego.

Przeprowadzona analiza efektywności ekonomicznej nawadniania deszczownianego soi została wykonana w dwóch wariantach ceny nasion rośliny. Kasperska-Wołowicz i in. [2021] jako główną i decydującą część kosztów wskazują koszty materiału siewnego soi. Dla odmiany ‘Aldana’ zarówno w I jak i II wariacie wyliczenia dla powierzchni 1 hektara wskazują na ujemną wartość nadwyżki bezpośredniej. Natomiast pozostałe warianty areалу charakteryzowały się dodatnią nadwyżką. W I wariacie było to maksymalnie 996,19 zł·ha<sup>-1</sup> (50 ha), a w II wariacie maksymalna wartość wynosiła 1.706,69zł·ha<sup>-1</sup> (50 hektarów). Analogicznie wyglądają wyniki uzyskane dla odmiany ‘Merlin’. W obu wariantach cenowych dla powierzchni 1 hektara uzyskano ujemną wartość nadwyżki bezpośredniej. Pozostałe przyjęte w pracy warianty powierzchni charakteryzowały się dodatnią nadwyżką, maksymalną dla areálu 50 hektarów. W I wariacie było to 807,19 zł·ha<sup>-1</sup>, a w wariacie II wartość wyniosła 1.444,19zł·ha<sup>-1</sup>. Także Kledzik i in. [2015] oraz Kledzik i in. [2017] w swoich pracach wskazują, iż wraz ze wzrostem powierzchni uprawy wzrasta wartość nadwyżki bezpośredniej. Na większy zysk netto osiągany z uprawy soi nawadnianej w porównaniu z nienawadnianą wskazują Wesley i in. [1993].

Wyniki własne potwierdzają, iż w celu uzyskania opłacalności ekonomicznej wprowadzenia do agrotechniki nawadniania soi niezbędne jest

zwiększanie areалу uprawy omawianej rośliny. Jednocześnie efektywność ekonomiczna nawadniania jest uzależniona od cen, chociażby paliwa, nasion soi czy też nawozów mineralnych, które są zależne od m.in. sytuacji geopolitycznej na świecie. Augustyńska i Bębenista [2019] wskazują, iż wartość poszczególnych składników oceny opłacalności ekonomicznej soi jest zróżnicowana, co ma związek z różnicą cen obowiązujących na rynkach w danym roku.

Uzyskane w czasie badań własnych i omówione w niniejszej pracy wyniki potwierdzają częściowo postawioną hipotezę badawczą. Zastosowanie nawadniania skutkowało wzrostem i stabilizacją plonów nasion badanych odmian soi. W większości przypadków korzystnie oddziaływało na cechy biometryczne roślin omawianych odmian. Jednak deszczowanie nie poprawiło jakości nasion soi, z wyjątkiem zawartości tłuszczu surowego w suchej masie nasion odmiany 'Merlin'. Odnotowane opady rzeczywiste nie pokrywały wyznaczonych w pracy opadów optymalnych, co skutkowało niedoborami opadów między innymi w maju (miesiącu krytycznym dla soi) każdego roku badań. Zastosowane celem pokrycia niedoborów zapasu wody interwencyjnie nawadnianie wymiennie wpłynęło na efekty produkcyjne. Ocena efektów ekonomicznych nawadniania badanej rośliny wykazała, iż na arealach powyżej 1 hektara notowano dodatnią nadwyżkę bezpośrednią.

## 7. WNIOSKI

Na podstawie wyników ścisłych doświadczeń polowych przeprowadzonych w sezonach wegetacyjnych 2015-2018 na glebie lekkiej w gospodarstwie należącym do Rolniczego Zakładu Doświadczalnego Minikowo Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy, zlokalizowanym w miejscowości Mochełek koło Bydgoszczy, sformułowano następujące stwierdzenia i wnioski:

1. Doświadczenia polowe prowadzono w diametralnie różnych warunkach termiczno-opadowych. W sezonach wegetacji 2015 i 2018 wystąpiły bardzo duże potrzeby deszczowania soi wynikające z jednych z większych w wieloleciu, niedoborów opadów atmosferycznych. Z kolei w sezonach wegetacji 2016 i 2017 wystąpiły nadmiary opadów, a potrzeba jednorazowego deszczowania wynikała z nie w pełni równomiernego rozkładu opadów w poszczególnych fenofazach.
2. W sezonach wegetacji 2015-2018 wystąpiło odpowiednio: 48 dni, 13 dni, 11 dni i 51 dni z wyczerpanym zapasem wody łatwo dostępnej dla roślin. Zastosowanie deszczowania w technologii produkcji soi miało charakter interwencyjny.
3. Deszczowanie spowodowało istotny wzrost plonu nasion obu odmian soi w każdym sezonie wegetacji. Bezwzględne i względne przyrosty plonów pod wpływem zastosowania tego zabiegu były wyższe w latach suchych, a efektywność produkcyjna 1 mm wody nawodnieniowej – w latach wilgotnych.
4. Deszczowanie przyczyniło się do stabilizacji plonowania soi w poszczególnych sezonach wegetacji, szczególnie dotyczyło to ogólnie wyżej plonującej odmiany 'Merlin', w porównaniu z odmianą 'Aldana'.
5. Istotny wpływ nawożenia azotem na wysokość plonu nasion badanych odmian soi wykazano tylko w niektórych sezonach wegetacji. W uprawie odmiany 'Aldana' nawożenie azotem prowadziło do wzrostu, a w przypadku odmiany 'Merlin' do spadku plonu nasion.
6. Istotny, korzystny wpływ współdziałania deszczowania i nawożenia azotem w kształtowaniu plonu nasion soi stwierdzono tylko w doświadczeniu z odmianą 'Aldana' w suchych sezonach wegetacji.
7. Zróżnicowanie badanych cech biometrycznych i elementów struktury plonu pod wpływem deszczowania zależało od roku badań i odmiany. Rośliny deszczowane obu odmian były wyższe od niedeszczowanych, a w przypadku odmiany 'Merlin' posiadały istotnie większą liczbę strąków i nasion. Z kolei u roślin odmiany 'Aldana' zarsysowała się pod wpływem deszczowania tendencja do wyższego osadzenia najniższego strąka.
8. Działanie nawożenia azotem i jego współdziałanie z deszczowaniem w kształtowaniu wybranych cech biometrycznych i elementów struktury plonu nasion było istotne tylko w niektórych sezonach wegetacji. Pod

- wplywem zastosowania nawożenia azotem zarysowała się tendencja do zwiększonej masy tysiąca nasion odmiany 'Aldana', większej liczby strąków i nasion na jednej roślinie oraz wysokości roślin.
9. Czynniki doświadczenia w niewielkim stopniu różnicowały zawartość białka ogólnego i tłuszczu surowego w nasionach soi. Zarysowała się tendencja do zmniejszonej zawartości białka ogólnego w nasionach roślin deszczowanych, w porównaniu z niedeszczowanymi.
  10. Efekty produkcyjne deszczowania zależały od wysokości opadów atmosferycznych oraz wysokości niedoborów opadowych w okresie wegetacji. Istotna, prostoliniowa zależność typu pogoda-plon dotyczyła wpływu wysokości opadów w okresie V-VIII na wysokość zwyczajek plonów nasion 'Merlin' pod wpływem deszczowania.
  11. Potrzeby deszczowania soi w rejonie Bydgoszczy występują z częstością 46,6% lat, w 13,3% lat są to potrzeby bardzo duże (niedobory opadów powyżej 150mm), w 13,3% lat duże (niedobory opadów w przedziale 100-150mm), a w 20% lat potrzeby umiarkowane (niedobory opadów w przedziale 50-100mm).
  12. W latach bardzo dużych, dużych i umiarkowanych potrzeb deszczowania, spodziewane zwyczajki plonu nasion pod wpływem zastosowania tego zabiegu wynoszą odpowiednio, co najmniej 2,28 t ha<sup>-1</sup>, 1,86 t ha<sup>-1</sup> oraz 1,43 t ha<sup>-1</sup>.
  13. Efektywność ekonomiczna deszczowania soi zależy od projektowanej powierzchni uprawy. Wraz ze wzrostem powierzchni malały koszty deszczowania w przeliczeniu na 1 ha.
  14. Deszczowanie soi uprawianej na powierzchniach 5, 10, 20 i 50 ha było przedsięwzięciem efektywnym ekonomicznie. Wraz ze wzrostem projektowanej powierzchni, zwiększała się nadwyżka bezpośrednia w przeliczeniu na 1 ha. Przykładowo, deszczowanie soi odmiany 'Merlin' na powierzchni 10 ha, według cen nasion z 2021 roku, zapewniłoby nadwyżkę bezpośrednią rzędu 11 600 zł.

## LITERATURA

- [1] Abramczuk Ł., Augustyńska I., Bębenista A., Józwiak W., Mirkowska Z., Skarzyńska A., Zieliński M., Ziętara W., Żekało, M., 2018. Monografie Programu Wieloletniego 2015-2019, 76, Warszawa, 123-136.
- [2] Abd El Baki H.M., Raoof M., Fujimaki H., 2020. Determining Irrigation Depths for Soybean Using a Simulation Model of Water Flow and Plant Growth and Weather Forecasts. *Agronomy*, 10, 369.
- [3] Aditya J., Bhartiya P., Bhartiya A., 2011. Genetic variability, heritability and character association for yield and component characters in soybean (*G. max* (L.) Merrill). *Journal of Central European Agriculture*, 12(1), 27-34. DOI: 10.5513/JCEA01/12.1.877
- [4] Akibode S., Maredia M., 2011. Global and regional trends in production, trade and consumption of food legume crops. Michigan, USA: Department of Agricultural, Food and Resource Economics, Michigan State University.
- [5] Al-Kaisi M. A., Broner I., 2005. Crop water use and growth stages. *Colorado State University Extension Agriculture*, 4, 715. USA.
- [6] Alston J., Pardey P., 2014. Agriculture in the Global Economy. *Journal of Economic Perspectives*, 28 (1), 121–146. DOI: <http://dx.doi.org/10.1257/jep.28.1.121>
- [7] Aminah, Djufri F., Rauf A. W., Saida, Palad M. S., Salim, 2021. Effectiveness of irrigation methods and time of providing water in maintaining soil classification for increasing soybean production. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 43(3), 627-634. DOI: <https://doi.org/10.17503/agrivita.v43i3.2975>
- [8] AQUASTAT- FAO's Global Information System on Water and Agricultural, 2023. [ao.org/aquastat](http://ao.org/aquastat)
- [9] Assefa Y., Purcell L.C., Salmeron M., Naeve S., Casteel S.N., Kovács P., Archontoulis S., Licht M., Below F., Kandel H., Lindsey L.E., Gaska J., Conley S., Shapiro C., Orłowski J.M., Golden B.R., Kaur G., Singh M., Thelen K., Laurenz R., Davidson D., Ciampitti I.A., 2019. Assessing Variation in US Soybean Seed Composition (Protein and Oil). *Frontiers in Plant Science*, 10, 298. DOI: [doi: 10.3389/fpls.2019.00298](https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00298)
- [10] Augustyńska I., Bębenista A., 2019. Ekonomiczne aspekty uprawy soi i łubinu słodkiego w Polsce. *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie - Problemy Rolnictwa Światowego tom 19 (XXXIV)*, 2, 256–268. DOI: [10.22630/PRS.2019.19.2.40](https://doi.org/10.22630/PRS.2019.19.2.40)
- [11] Aydinsakir K., 2018. Yield and Quality Characteristics of Drip-Irrigated Soybean under Different Irrigation Levels. *Agronomy Journal*, 110 (4), 1473-1481. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.12.0748>
- [12] Bauer P. J., Sadler E. J., Fredrick J. R., 2003. Rainfall Farming *Encyclopedia of water science*, 80, 782.
- [13] Babovic J., Milic S., Maksimovic L., Radojevic V., 2008. Irrigation management in field crops production. W: López-Francos A. (ed.). *Drought management: scientific and technological innovations*. Zaragoza, 199 -204.
- [14] Babovic J., Milic S., Radojevic V., 2009. Economics effects of irrigation in plant production. *Economics of agricultre*, 56(1), 41-53. DOI: [10.22004/ag.econ.245304](https://doi.org/10.22004/ag.econ.245304)

- [15] Basal O., Szabó A., 2020a. The Combined Effect of Drought Stress and Nitrogen Fertilization on Soybean. *Agronomy*, 10 (3), 384. DOI:10.3390/agronomy10030384
- [16] Basal O., Szabó A., 2020b. Physiormorphology of Soybean as Affected by Drought Stress and Nitrogen Application. *Scientifica*, vol. 2020, Article ID 6093836. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/6093836>
- [17] Bąk B., Łabędzki L., 2014a. Thermal conditions in Bydgoszcz region in growing seasons 2011–2050 in view of expected climate change. *Journal of Water and Land Development*, 23, 21–29. DOI 10.1515/jwld-2014-0026.
- [18] Bąk B., Łabędzki L., 2014b. Prediction of precipitation deficit and excess in Bydgoszcz region in view of predicted climate change. *Journal of Water and Land Development*, 23, 11–19. DOI 10.1515/jwld-2014-0025.
- [19] Behrens A., Georgiev A., Carraro M., 2010. Future impacts of climate change across Europe. Working document no. 324. Brussels: Center for European Policy Studies (CEPS).
- [20] Berschneider J., 2016. Chances and Limitations of European Soybean Production: Market Potential Analysis. Supervised by: Prof. Dr. Harald Grethe, Prof. Dr. Manoj Potapohn, Master Thesis, Universität Hohenheim.
- [21] Biel W., Gawęda D., Lysoń E., Hury G., 2017. Wpływ czynników genetycznych i agrotechnicznych na wartość odżywczą nasion soi. *Acta Agrophysica*, 24(3), 395-404.
- [22] Błażewicz J., Żarski J., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., 2017. Influence of sprinkler irrigation and nitrogen fertilization on the quality of malt and wort from barley grains. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 4 (1), 1469–1481. DOI: <http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2017.4.1.112>
- [23] Boczar P., 2016. Znaczenie gospodarcze soi oraz możliwości rozwoju jej produkcji w Polsce. *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie - Problemy Rolnictwa Światowego* tom 16 (XXXI), 3, 35–48.
- [24] Boczar P., Sznajder M., 2011. *Rozwój światowego rynku olejów roślinnych w latach 1961-2005*. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań.
- [25] Bodner G., Nakhforoosh A., Kaul H.P., 2015. Management of crop water under drought: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 401–442.
- [26] Bojar W., Knopik L., Żarski J., 2013. Analiza wpływu warunków klimatycznych na plonowanie roślin uprawnych w regionie Kujawsko-Pomorskim. *Studia i Materiały Polskiego Towarzystwa Zarządzania Wiedzą*, 64, 31-44.
- [27] Boros L., Wawer A., 2016. Kolejny etap upowszechniania i rozszerzania uprawy soi w warunkach Polski. *Rośliny strączkowe i motylkowate drobnonasienne*, 3, 47-52.
- [28] Borowska M., Prusiński J., 2021. Effect of soybean cultivars sowing dates on seed yield and its correlation with yield parameters. *Plant, Soil and Environment*, 67, 360-366.
- [29] Borówczak F., Maciejewski T., Grześ S., Szukała J., 1996. Efekty deszczowania i nawożenia azotem niektórych roślin uprawnych w warunkach Wielkopolski w latach 1989-1992. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 438, 103-110.

- [30] Bryant C.J., Krutz L.J., Falconer L., Irby J.T., Henry C.G., Pringle III H.C., Henry M.E., Roach D.P., Pickelmann D.M., Atwill R.L., Wood C.W., 2017. Irrigation Water Management Practices that Reduce Water Requirements for Mid-South Furrow-Irrigated Soybean. *Crop Forage Turfgrass Manage*, 3. DOI: doi:10.2134/cftm2017.04.002
- [31] Brevedan R., Egli, D., 2003. Short period of water stress during seed filling, leaf senescence, and yield of soybean. *Crop Science*, 43 (6), 2083–2088. DOI: 10.2135/cropsci2003.2083
- [32] Brevedan R., Egli D., Leggett J., 1978. Influence of N nutrition on flower and pod abortion and yield of soybeans. *Agronomy Journal*, 70, 81-84.
- [33] Bujak K., Frant M., 2009. Wpływ mieszanek herbicydów na plonowanie i zachwaszczenie pięciu odmian soi. *Acta Agrophysica*, 13 (3), 601-613.
- [34] Bury M., Nawracała J., 2004. Wstępna ocena potencjału plonowania odmian soi (*Glycine max (L.) Merrill*) uprawianych w rejonie Szczecina. *Rośliny oleiste*, tom XXV, 415-422.
- [35] Caliskan S., Ozkaya I., Caliskan M. E., Arslan M., 2008. The effects of nitrogen and iron fertilization on growth, yield and fertilizer use efficiency of soybean in a Mediterranean-type soil. *Field Crops Research*, 108(2), 126-132. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.04.005>
- [36] Cerezini P., Kuwano B. H., dos Santos M. B., Terassi F., Hungria M., Nogueira M. A., 2016. Strategies to promote early nodulation in soybean under drought. *Field Crops Research*, 196, 160-167. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.06.017>
- [37] Chafi A. A., Amiri E., Gohari A. A., 2014. Effect of Various Irrigation Regimes and Nitrogen Fertilizer on Yield and Water Use Efficiency in Soybean (*Glycin Max*). *International Journal of Natural Sciences Research*, 2 (9), 147–155.
- [38] Chudzik A., 2020. Znaczenie ekonomiczne rolnictwa w Polsce w latach 2015-2019. *Acta Scientifica Academiae Ostroviensis. Sectio A, Nauki Humanistyczne, Społeczne i Techniczne*, 1-2 (15-16), 44-60. DOI: [http://dx.doi.org/10.33674/acta\\_120203](http://dx.doi.org/10.33674/acta_120203)
- [39] COBORU, 2017. Wyniki porejestrowych doświadczeń odmianowych bobowate, grubonasienne 2016. Nr 132. Słupia Wielka.
- [40] COBORU, 2018. Wyniki porejestrowych doświadczeń odmianowych bobowate, grubonasienne 2017. Nr 142. Słupia Wielka.
- [41] COBORU, 2021. Lista opisowa odmian roślin rolniczych 2021. Bobowate, Soja, Wiechlinowate. Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych. Słupia Wielka.
- [42] Dai A., 2013. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change*, 3, 52–58.
- [43] Dalal J., Kulkarni N., 2013. Population Dynamics and Diversity of Endophytic Bacteria Associated with Soybean (*Glycine max (L.)Merril*). *British Microbiology Research Journal*, 3 (1), s. 96-105. DOI: <https://doi.org/10.9734/BMRJ/2013/2302>
- [44] Demirtaş Ç., Yazgan S., Candogan B. N., Sincik M., Büyükcangaz H., Göksoy A. T., 2010. Quality and yield response of soybean (*Glycine max L. Merrill*) to drought stress in sub-humid environment. *African Journal of Biotechnology*, 9 (41), 6873-6881.
- [45] Dobek T., Dobek M., 2008. Efektywność produkcji soi w polskich warunkach. *Inżynieria Rolnicza*, 4 (102), 233-240.



- [46] Dobek T., Dobek M., Wojciechowska J., 2009. Ekonomiczne i energetyczne aspekty produkcji soi w warunkach polskiego rolnictwa. *Inżynieria Rolnicza*, 6 (115), 37-43.
- [47] Dragović S., Maksimović L., Cicmil M., Radojević V., 2004. Relationships Between Drought Intensity and Crop Production in Serbia and Montenegro. *Proceedings, Conference on Water Observation and Information System for Decision Support*, Ohrid, Republic of Macedonia.
- [48] Drupka S., 1976. Techniczna i rolnicza eksploatacja deszczowni. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne.
- [49] Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., Żarski J., Szterk P., 2013. Ocena potrzeb i efektów deszczowania bobiku w warunkach zróżnicowanego nawożenia azotowego. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, 1 (II), 25-35.
- [50] Eid A. R., Bakry B. A., Taha M. H., 2013. Effect of pulse drip irrigation and mulching systems on yield, quality traits and irrigation water use efficiency of soybean under sandy soil conditions. *Agricultural Sciences*, 4 (5), 249-261. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/as.2013.45036>
- [51] Engels C., Rodrigues F. A., de Oliveira Ferreira A., Inagaki T. M., Nepomuceno A. L., 2017. Drought effects on soybean cultivation - A review. *Annual Research and Review in Biology*, 16 (1), 1-13. DOI: <https://doi.org/10.9734/ARRB/2017/35232>
- [52] Eteng E. U., Nwagbara M. O., 2014. Estimating water needs of soybean (*Glycine Max*) using the Penman Model Method in Umedike Southeastern, Nigeria. *International Journal of Agricultural Science and Research*, 4 (4), 49-58.
- [53] Faligowska A., Szukala J., 2010. Wpływ szczepienia nasion i nawożenia azotem na cechy biometryczne roślin strączkowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 550, 201-209.
- [54] Fidantemiz Y. F., Jia X., Daigh A. L.M., Hatterman-Valenti H., Steele D. D., Niaghi A. R., Simsek H., 2019. Effect of Water Table Depth on Soybean Water Use, Growth and Yield Parameters. *Water*, 11, 931; DOI: [doi:10.3390/w1105093](https://doi.org/10.3390/w1105093)
- [55] Galić Subašić D., Jurišić M., Rebečić A., Josipović M., Radočaj D., Rapčan I., 2022. Relationship between the soybean (*Glycine max* L. Merr.) yield components and seed yield under irrigation conditions. *Agriculture*, 28, 32-38. DOI: <https://doi.org/10.18047/poljo.28.1.5>
- [56] Gawęda D., Cierpiała R., Harasim E., Haliniarz M., 2016. Effect of tillage systems on yield, weed infestation and seed quality elements of soybean. *Acta Agrophysica*, 23 (2), 175-187.
- [57] Gava R., José A. Frizzzone J. A., Snyder R.L., de Freitas P. S. L., de Almeida B. M., Freitas A., 2014. Water Deficit Management in Soybean Irrigated (*Glycine max* (L.) Merrill.). *Conference Paper: II Inovagri International Meeting, January 2014*. DOI: [10.12702/ii.inovagri.2014-a052](https://doi.org/10.12702/ii.inovagri.2014-a052)
- [58] Głowacka A., Kasiczak A., 2019. Efektywność rolnicza i ekonomiczna nawożenia azotem i siarką w uprawie soi. *Agronomy Science*, LXXIV (1), 43-51. DOI: <http://dx.doi.org/10.24326/as.2019.1.4>
- [59] Gollo E. A., Robaina A. D., Peiter M. X., Goulart R. Z., Neto M. C., 2021. Irrigation water management techniques for lowland furrow-irrigated soybean in Southern Brazil. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, 41 (2), 127-134. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v41n2p127-134/2021>

- [60] Grabarczyk S., 1983. Nawadnianie. W: Podstawy agrotechniki. PWRiL Warszawa, 94-96.
- [61] Grabarczyk S., 1987. Opłacalność inwestycji deszczownianych w gospodarstwach indywidualnych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 326, 213-226.
- [62] Grabarczyk S., Żarski J., Dudek S., 1992. Sterowanie deszczowaniem według opadów atmosferycznych. Roczniki AR w Poznaniu, 234, 83-90.
- [63] Hartman G., West E., Herman T., 2011. Crops that feed the World 2. Soybean - worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests. Food Security, 3 (1), 5-17.
- [64] Hao L., Wang Y., Zhang J., Xie Y., Zhang M., Duan L., Li Z., 2013. Coronatine enhances drought tolerance via improving antioxidative capacity to maintaining higher photosynthetic performance in soybean. Plant Science, 210, 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2013.05.006>
- [65] Iglesias A., Garrote L., 2015. Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. Agricultural Water Management, 155, 113–124. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.03.014>
- [66] Ikanović J., Janković S., Popović V., Kulić G., Rakić S., Dražić G., 2015. Soya bean biomass production under different water regime conditions. Fifth International Scientific Agricultural Symposium „Agrosym 2014“, 229-234. DOI:10.13140/RG.2.1.4387.8241
- [67] Isaev S. Kh., Kodirov Z. Z., Saylikhanova M. K., Fozilov Sh. G., 2021. Influence of elements of irrigation technology of medium and late varieties of soybean on soybean yield. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 937. DOI:10.1088/1755-1315/937/2/022129
- [68] Jagosz B., Rolbiecki S., Rolbiecki R., Langowski A., Sadan H.A., Ptach W., Stachowski P., Kasperska-Wołowicz W., Pal-Fam F., Liberacki D., 2021. The Water Needs of Grapevines in Central Poland. Agronomy, 11, 416-429. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11030416>
- [69] Jarecki W., Bobrecka-Jamro D., 2015. Wpływ nawożenia dolistnego na plon i skład chemiczny nasion soi (Glycine Max(L.)Merrill). Fragmenta Agronomica, 32 (4), 22–31.
- [70] Jarecki W., Bobrecka-Jamro D., 2016. Reakcja roślin soi na szczepienie nasion nitraginą oraz nawożenie startowe azotem. Nauka Przyroda Technologie, tom 10, 1 (12), 1-12.
- [71] Jasińska Z., Kotecki A., 1993. Rośliny strączkowe. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [72] Jaskulska M., Kozłowski J., Kozłowska M., 2017. Ocena podatności odmian soi [Glycine max (L.) Merr.] na uszkodzenia przez *Arion vulgaris* Moquin Tandon, *Arion rufus* (Linnaeus) i *Deroceras reticulatum* (O.F. Müller). Progress in Plant Protection, 57 (1), 66-69. DOI: 10.14199/ppp-2017-010.
- [73] Javan M., Tajbakhsh M., Abdollahi Mandoulakani B., 2013. Effect of antitranspirants application on yield and yield components in soybean (Glycine max L.) under limited irrigation. Journal of Applied Biological Sciences, 7 (1), 70-74.
- [74] Jensen. E.S., Ambus P., Bellostas N., Boisen S., Brisson N., Corre-Hellou G., Crozat Y., Dahlmann C., Dibet A., von Fragstein P., 2006. Intercropping of cereals and grain leg-umes for increased production, weed control, im-proved product quality and prevention of N-losses in European organic farming systems. In

- Proceedings of the International Conferences: Joint Organic Congress—Theme 4: Crop Systems and Soils, Odense, Denmark, 30–31. May 2006.
- [75] Jerzak M., Czerwińska-Kayzer D., Florek J., Śmiglak-Krajewska M., 2012. Determinanty produkcji roślin strączkowych jako alternatywnego źródła białka – w ramach nowego obszaru polityki rolnej w Polsce. *Rocznik Nauk Rolniczych, Seria G*, 99 (1), 113-120.
- [76] Josipović M., Sudarić A., Kovačević V., Marković M., Plavšić H., Liović I., 2011. Irrigation and nitrogen fertilization influences on properties of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) varieties. *Agriculture*, 1, 9-15.
- [77] Jumrani K., Bhatia V. S., 2018. Combined effect of high temperature and water-deficit stress imposed at vegetative and reproductive stages on seed quality in soybean. *Indian Journal of Plant Physiology*, 23 (2), 227–244. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40502-018-0365-9>
- [78] Juszczak R., Leśny J., Olejnik J., 2008. Sumy temperatur efektywnych jako element prognozy agrometeorologicznej wielkopolskiego internetowego serwisu informacji agrometeorologicznej (WISIA). *Acta Agrophysica*, 12 (2), 409-426.
- [79] Kabała C., Muszyfaga E., 2015. Gleby płowe w systematyce gleb Polski i w klasyfikacjach międzynarodowych. *Soil Science Annual*, 66 (4), 204–213. DOI: 10.1515/ssa-2015-0038
- [80] Kaczorowska, Z. (1962). Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. *Przegląd Geograficzny Instytutu Geografii PAN*, 33.
- [81] Kang Y., Khan S., Ma X., 2009. Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security – A review. *Progress in Natural Science*, 19, 1665–1674. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.pnsc.2009.08.001>
- [82] Karges K., Bellingrath-Kimura S., Watson CA., Stoddard F., Halwani M., Reckling M., 2022. Agro-economic prospects for expanding soybean production beyond its current northerly limit in Europe. *European Journal of Agronomy*, 133, [126415]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126415>
- [83] Kasperska-Wołowicz W., Rolbiecki S., Sadan H. A., Rolbiecki R., Jagosz B., Stachowski P., Liberacki D., Bolewski T., Prus P., Pal-Fam F., 2021. Impact of the projected climate change on soybean water needs in the Kuyavia region in Poland. *Journal of Water and Land Development*, 51 (X–XII), 199–207. DOI: 10.24425/jwld.2021.139031
- [84] Kledzik R., Kropkowski M., Rzekanowski C., Żarski J., 2015. Ocena efektywności ekonomicznej nawadniania wybranych upraw polowych. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, 2 (1), 291-303. DOI: <http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2015.2.1.024>
- [85] Kledzik R., Kropkowski M., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., Żarski J., 2017. Evaluation of economic efficiency of irrigation in corn for grain production in 2005-2016. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, 2 (1), 587-598. DOI: <http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2017.2.1.045>
- [86] Kobraei S., Etmianan A., Mohammadi R., Kobraei S., 2011. Effects of drought stress on yield and yield components of soybean. *Annals of Biological Research*, 2 (5), 504-509.
- [87] Kołodziej J., Pisulewska E., 2000. Wpływ czynników meteorologicznych na plon nasion i tłuszczu oraz zawartość tłuszczu w nasionach dwóch odmian soi. *Rośliny oleiste*, tom XXI, 759-773.

- [88] Konecka - Betley K., Kuźnicki F., Zawadzki S., 1999. Systematyka i charakterystyka gleb Polski. W: Zawadzki S. (red.) *Gleboznawstwo*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne Warszawa.
- [89] Korsak-Adamowicz M., Starczewski J., Dopka D., 2007. Oddziaływanie niektórych zabiegów agrotechnicznych na brodawkowanie soi. *Fragmenta Agronomica*, XXIV, 3 (95), 232-237.
- [90] Korte L. L., Specht J. E., Williams J. H., Sorensen R. C., 1983. Irrigation of Soybean Genotypes During Reproductive Ontogeny II. Yield Component Responses. *Crop Science*, 23 (3), 528-533. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1983.0011183X002300030020x>
- [91] Kościelniak W., 2015. Soybean for Polish fields. *Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego*, 1, 33-35.
- [92] Kozyra J., 2013. Wpływ prognozowanych zmian temperatury powietrza na fenologię zbóż ozimych w Polsce. *Rozprawy Naukowe*, 40, Puławy.
- [93] Kozyra J., Doroszewski A., Nieróbca A., 2009. Climate change and its expected impact on agriculture in Poland. In: *Studies and reports*. Puławy: IUNG-PIB, 14, 243-258.
- [94] Kresović B. J., Gajić B. A., Tapanarova A. Đ., Pejić B. S., Dragović S. D., Dragović R. M., 2016. Effect of irrigation regime on yield and yield components of soya bean. *Journal of Agricultural Sciences*, 61 (4), 305-321. DOI: 10.2298/JAS1604305K
- [95] Kresović B., Gajić B., Tapanarova A., Pejić B., Dugalić G., Sredojević Z., 2017. Impact of deficit irrigation on yield and chemical properties of soybean seeds in temperate climate. *Contemporary Agriculture*, 66 (1-2), 14 – 20. DOI: 10.1515/contagri-2017-0003
- [96] Krishnan H., 2001. Biochemistry and molecular biology of soybean seed storage proteins. *Journal of New Seeds*, 2 (3), 1–25. DOI: 10.1300/J153v02n03\_01
- [97] Krivosudská E., Filová A., 2013. Evaluation of selected soybean genotypes (*Glycine Max L.*) by physiological responses during water deficit. *Journal of Central European Agriculture*, 14 (2), 213–228. DOI: <http://dx.doi.org/10.5513/JCEA01/14.2.1250>
- [98] Kuss R. C. R., 2006. Populações de plantas e estratégias de irrigação na cultura da soja. 81f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
- [99] Kuśmierk-Tomaszewska R., Żarski J., 2021. The Effects of Plant Irrigation in Poland. W: Zelenáková M., Kubiak-Wójcicka K., Negm A.M. (eds) *Management of Water Resources in Poland*. Springer Water. Springer, Cham. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61965-7\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61965-7_19)
- [100] Kuśmierk-Tomaszewska R., Żarski J., Dudek S., 2019. Assessment of Irrigation Needs in Sugar Beet (*Beta vulgaris L.*) in Temperate Climate of Kujawsko-Pomorskie Region (Poland). *Agronomy*, 9 (12), 814. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9120814>
- [101] Kühling I., Hüsing B., Bome N., Trautz D., 2018. Soybeans in high latitudes: effects of *Bradyrhizobium* inoculation in Northwest Germany and southern West Siberia. *Organic Agriculture*, 8, 159-171. DOI: 10.1007/s13165-017-0181-y
- [102] Lewandowska S., 2016. Perspectives of soybean cultivation in Poland. W pod redakcją Dety Łuczyckiej, *Rolnictwo XXI wieku – problemy i wyzwania. Idea Knowledge Future*, Wrocław.

- [103] Lorenc H., 1994. Ocena zmienności temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w okresie 1901–1993 na podstawie obserwacji z wybranych stacji meteorologicznych w Polsce. *Wiadomości IMGW*, 38, 43–59.
- [104] Lorenc H., Suwalska-Bogucka M., 1996. Thermal tendencies of winters in Poland as the indicator of climate variability. *Zeszyty Naukowe UJ*, 102, 365–374.
- [105] Lorenc-Kozik A.M., Pisulewska E., 2003. Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem i mikroelementami na plonowanie wybranych odmian soi. *Rośliny Oleiste*, 24 (1), 131-142.
- [106] Luca E., Nagy Z., Berchez M., 2003. Water requirements of the main field crops in Transylvania (1964-2002). *Journal of Central European Agriculture*, 4 (2), 97-102.
- [107] Łabędzki L., Bąk B., Liszewska M., 2013. Wpływ przewidywanej zmiany klimatu na zapotrzebowanie ziemniaka późnego na wodę. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 2 (I), 155–165.
- [108] Łykowski B., 1984. Warunki klimatyczne rozwoju i plonowania soi w Polsce. *Rozprawy, SGGW*, 41, 3-82.
- [109] Ma H., Egamberdieva D., Wirth S., Bellingrath-Kimura S. D., 2019. Effect of Biochar and Irrigation on Soybean-Rhizobium Symbiotic Performance and Soil Enzymatic Activity in Field Rhizosphere. *Agronomy*, 9 (10), 626-641. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9100626>
- [110] Macák M., Candráková E., 2013. The effect of fertilization on yield components and quality parameters of soybeans [(*Glycine max* (L.) Merr.) seeds. *Journal of Central European Agriculture*, 14 (3), 379-389. DOI: 10.5513/JCEA01/14.3.1332
- [111] Mandić V., Đorđević S., Bijelić Z., Krnjaja V., Pantelić V., Simić A., Dragičević V., 2020. Agronomic Responses of Soybean Genotypes to Starter Nitrogen Fertilizer Rate. *Agronomy*, 10 (4), 535. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10040535>
- [112] Mandić V., Simić A., Krnjaja V., Bijelić Z., Tomić Z., Stanojković A., Ruzić Muslić D., 2015. Effect of foliar fertilization on soybean grain yield. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 31, (1), 133-143. DOI: 10.2298/BAH1501133M
- [113] McFarlane I., O'Connor E., 2014. World Soybean Trade: Growth and Sustainability. *Modern Economy*, 5, 580-588. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/me.2014.55054>
- [114] McMaster G.S., Wilhelm W., 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 87, 291-300, DOI: 10.1016/S0168-1923(97)00027-0
- [115] Nawracała J., 2015. Soybean in Poland and Europe. *Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego*, 2, 28-30.
- [116] Nowak A., Wróbel J. 2010. Wpływ wybranych regulatorów wzrostu na plonowanie soi (*Glycine max* L. Merr) w warunkach kontrolowanego uwilgotnienia podłoża. *Rośliny Oleiste*, XXXI, 125-132.
- [117] Nowak A., Marczak P., 2021. Miejsce rolnictwa w gospodarce krajów członkowskich Unii Europejskiej. *Agronomy Science*, LXXVI (1), 85-96. <http://doi.org/10.24326/as.2021.1.6>
- [118] Oferta naukowo-badawcza UTP dla gospodarki, 2012. Bydgoszcz.

- [119] Osborne S. L., Riedell W. E., 2006. Starter Nitrogen Fertilizer Impact on Soybean Yield and Quality in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal*, 98 (6), 1569-1574. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0089>
- [120] Pawlak K., Kołodziejczak M., 2020. The Role of Agriculture in Ensuring Food Security in Developing Countries: Considerations in the Context of the Problem of Sustainable Food Production. *Sustainability*, 12 (13), 5488, 1-20.
- [121] Pejić B., Bošnjak Đ., Mačkić K., Rajić M., Jospović M., Jug I., Maksimović L., 2012. Yield and Water Use Efficiency of Irrigated Soybean in Vojvodina, Serbia. *Ratarstvo i povrtarstvo*, 49, 80-85. DOI: [doi:10.5937/ratpov49-1141](https://doi.org/10.5937/ratpov49-1141)
- [122] Pisulewska E., Lorenc-Kozik A., Borowiec F., 1999. Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem na plon, zawartość oraz skład kwasów tłuszczowych w nasionach dwóch odmian soi. *Rośliny Oleiste*, XX, 511-520.
- [123] Pimentel J.R., Carvalho I. R., Troyjack C., Troyjack Junior G., Szarecki V. J., Conte G. G., Loro M. V., Magano D. A., Hutra D. J., 2021. Water deficit in the soybean breeding. *Agronomy Science and Biotechnology*, 7. DOI: [10.33158/ASB.r128.v7.2021](https://doi.org/10.33158/ASB.r128.v7.2021)
- [124] Podsiadło C., Kostrzewski M., Rokosz E., 2017. Evaluation of weed infestation in faba bean depending on irrigation, tillage system and mineral fertilization. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, III (2), 1263-1273. DOI: <http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2017.3.2.097>
- [125] Podsiadło C., Rokosz E., 2008. Wpływ systemu uprawy, nawadniania i nawożenia mineralnego na biometrykę samokończącego i tradycyjnego morfotypu bobiku. *Inżynieria Rolnicza*, 5 (103), 201-206.
- [126] Popović V., Tatić M., Spalević V., Rajčić V., Filipović V., Šarčević Todosijević L., Stevanović P., 2018. Effect of nitrogen fertilization on soybean plant height in arid year. *Congress Proceedings: 2nd International and 14th National Congress of Soil Science Society of Serbia*, 65-73.
- [127] Powers L.E., McSorley R., 2000. *Ecological principles of agriculture*. Delmar, Albany, NY.
- [128] Prokopowicz J., Lipiński J., 2008. Opłacalność ekonomiczna stosowania nawodnień w rolnictwie w warunkach klimatycznych Polski (wybrane zagadnienia). *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*, 1, 24–28.
- [129] Prusiński J., Baturó-Cieśniewska A., Borowska M., 2020. Response of Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) to Mineral Nitrogen Fertilization and Bradyrhizobium japonicum Seed Inoculation. *Agronomy*, 10 (9), 1300. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10091300>
- [130] Prusiński J., Nowicki R., 2020. Effect of planting density and row spacing on the yielding of soybean (*Glycine max* L. Merrill). *Plant, Soil and Environment*, 66, 616–623.
- [131] Randelović V., Prodanović S., Tomić Z., Bijelić Z., 2010. Genotypic response of two soybean varieties with reduced content of KTI to application of different nitrogen level. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 26 (5-6), 403-410. DOI: [10.2298/BAH1006403R](https://doi.org/10.2298/BAH1006403R)
- [132] Ray D., Gerber J., MacDonald G., West P., 2015. Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature Communications*, 6 (5989), 1-9. DOI: <https://dx.doi.org/10.1038/ncomms6989>
- [133] *Rocznik Statystyczny Rolnictwa*, 2020.

- [134] Rokosz E., Podsiadło C., 2015. Wpływ deszczowania, systemu uprawy i nawożenia mineralnego na plonowanie i właściwości fizyczne gleby lekkiej w uprawie odmian bobiku. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, III (1), 625-636. DOI: <http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2015.3.1.050>
- [135] Rolbiecki R., 2013. Ocena potrzeb i efektów mikronawodnień szparaga (*Asparagus officinalis* L.) na obszarze szczególnie deficytowym w wodę. Wydawnictwo UTP w Bydgoszczy, *Rozprawy*, 162, 1-103.
- [136] Rzekanowski C., Rolbiecki S., Rolbiecki R., 2013. Rola deszczowania i zróżnicowanego nawożenia azotem w kształtowaniu plonu ziemniaka wczesnego odmiany 'Dorota' na glebie lekkiej w rejonie Bdygoszczy. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, 2 (1), 31-41.
- [137] Rzekanowski C., Żarski J., Rolbiecki S. 2011. Potrzeby, efekty i perspektywy nawadniania roślin na obszarach szczególnie deficytowych w wodę. *Postępy Nauk Rolniczych*, 1, 51-63.
- [138] Santi C., Bogusz D., Franche C., 2013. Biological nitrogen fixation in non-legume plants. *Annals of Botany*, 111, 743-767.
- [139] Salvagiotti D., Specht J. E., Cassman K. G., Walters D. T., Weiss A., Dobermann A., 2009. Growth and Nitrogen Fixation in High-Yielding Soybean: Impact of Nitrogen Fertilization. *Agronomy Journal*, 101 (4), 958-970. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0173x>
- [140] Salvagiotti F., Cassman K.G., Specht J.E., Walters D.T., Weiss A., Dobermann A., 2008. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Research*, 108(1), 1-13.
- [141] Sharda V., Gowda P. H., Marek G., Kisekka I., Ray C., Adhikari P., 2019. Simulating the Impacts of Irrigation Levels on Soybean Production in Texas High Plains to Manage Diminishing Groundwater Levels. *Journal of the American Water Resources Association*, 55 (1), 56-69. DOI: <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12720>
- [142] Silvente S., Sobolev AP., Lara M., 2012. Metabolite Adjustments in Drought Tolerant and Sensitive Soybean Genotypes in Response to Water Stress. *PLoS ONE* 7(6): e38554. DOI: [doi:10.1371/journal.pone.0038554](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038554)
- [143] Stachowski P., 2010. Ocena suszy meteorologicznej na terenach pogórnicznych w rejonie Konina. *Rocznik Ochrony Środowiska*, 12, 587-606.
- [144] Stachowski P., Markiewicz J., 2011. Potrzeba nawodnień w centralnej Polsce na przykładzie powiatu kutnowskiego]. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 13, 1453-1472.
- [145] Stuczyński T., Demidowicz G., Deputat T., Górski T., Krasowicz S., Kuś J., 2000. Adaptation scenarios of agriculture in Poland to future climate changes. *Environmental Monitoring and Assessment*, 61 (1), 133-144. DOI: <https://dx.doi.org/10.1023/A:1006378420994>
- [146] Sulikowska A., Wypych A., Ustrnul Z., Czekierda D., 2016. Zmienność Zasobów termicznych w Polsce w aspekcie obserwowanych zmian klimatu. *Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumietus*, 15 (2), 127-139. DOI: <http://dx.doi.org/10.15576/ASP.FC/2016.15.2.127>
- [147] Szostak B., Głowacka A., Klebaniuk R., Kiełtyka-Dadasiewicz A., 2020. Mineral Composition of Traditional Non-GMO Soybean Cultivars in relation to Nitrogen Fertilization. *The Scientific World Journal*, 2020, 15. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/9374564>

- [148] Śliwa J., Zając T., Oleksy A., Klimek-Kopyra A., Lorenc-Kozik A., Kulig B., 2015. Comparison of the development and productivity of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivated in western Poland. *Acta Scientiarum Polonorum Agricultura*, 14 (4), 81-95.
- [149] Tatić M., Popovic V., Sikora V., Maksimovic L., Rajičić V., Ugrenović V., Ljumović S., 2016. Profitable production and in organic cropping system. Effect of irrigation on yield and quality of seed soybean in arid year. 20th International Eco-onference, 9<sup>th</sup> International Eco-Conference on Safe Food. 28-30.09.2016, 165-175.
- [150] Thapa S., Bhandari A., Ghimire R., Xue Q., Kidwaro F., Ghatrehsamani S., Maharjan B., Goodwin M., 2021. Managing Micronutrients for Improving Soil Fertility, Health, and Soybean Yield. *Sustainability*, 13, 11766. DOI:<https://doi.org/10.3390/su132111766>
- [151] Tindwa H., Kachiguma A., Mrema P., 2019. Incubation of soil with agricultural lime and phosphorus enhances biological nitrogen fixation and yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) in an ultisol. *Journal of Central European Agriculture*, 20 (3), 938-952. DOI: /10.5513/JCEA01/20.3.2118
- [152] Torrión J. A., Setiyono T. D., Graef G. L., Cassman K. G., Irmak S., Specht J. E., 2014. Soybean Irrigation Management: Agronomic Impacts of Deferred, Deficit and Full-Season Strategies. *Crop Science*, 54, 2782–2795. DOI: 10.2135/cropsci2014.03.0261
- [153] Varnica I., Petrović S., Rebekić A., Guberac S., Jukić K., Jukic G., 2018. Characterization and interrelationships of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] yield components during dry and humid seasons. *Journal of Central European Agriculture*, 19 (2), 466-481. DOI: /10.5513/JCEA01/19.2.2148
- [154] Vollmann J., Fritz C.N., Wagentristl H., Ruckebauer P., 2000. Environmental and genetic variation of soybean seed protein content under Central European growing conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 1300–1306. DOI: [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200007\)80:9<1300::AID-JSFA640>3.0.CO;2-I](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200007)80:9<1300::AID-JSFA640>3.0.CO;2-I)
- [155] Wenda-Piesik A., Kazek M., 2016. Productivity of early maturing cultivars of soybeans (*Glycine Max* L. Merr) in North-Western Poland. 4th ESA Congress 5-9 September 2016, Edinburgh, Scotland.
- [156] Wesley R. A., Smith L. A., Spurlock S. R., 1993. Economic analysis of irrigation and deep tillage in soybean production systems on clay soil. *Soil and Tillage Research*, 28 (1), 63-78. DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(93\)90056-U](https://doi.org/10.1016/0167-1987(93)90056-U)
- [157] Wijewardana Ch., Alsajri F.A., Irby J.T., Krutz L.J., Golden B.R., Henry W.B., Reddy K.R., 2019. Water Deficit Effects on Soybean Root Morphology and Early-Season Vigor. *Agronomy*, 9, 836. DOI: doi:10.3390/agronomy9120836
- [158] Wijewardana Ch., Reddy R K., Alsajri F. A., Irby J. T., Krutz J., 2018. Quantifying soil moisture deficit effects on soybean yield and yield component distribution patterns. *Irrigation Science*, 36 (4-5), 241-255. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00271-018-0580-1>
- [159] Wilk M., 2017. Soja źródłem cennych składników żywieniowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 24, 2 (111), 16 – 25. DOI: 10.15193/zntj/2017/111/182



- [160] Willaarts B., Flachsbarth I., Garrido A., 2011. Land and water requirements for soybean cultivation in Brazil: environmental consequences of food production and trade. Conference: XIV th IWRA World Water Congress, October 2011.
- [161] Wojtasik D., 2004. Wpływ deszczowania i nawożenia mineralnego na plonowanie jęczmienia browarnego i pastewnego uprawianego na glebie lekkiej cz. I. Wzrost i rozwój. *Acta Scientiarum Polonorum Agricultura*, 3 (2), 119-129.
- [162] Woynarowska S., 1972: Soja. PWRiL Warszawa.
- [163] Yazdani F., Allahdadi I., Abas Akbari G., 2007. Impact of Superabsorbent Polymer on Yield and Growth Analysis of Soybean (*Glycine max L.*) Under Drought Stress Condition. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10, 4190-4196. DOI: 10.3923/pjbs.2007.4190.4196
- [164] Zarychta M., 2014. Integrowana produkcja soi. Instrukcja upowszechnieniowa nr 196, IUNG-PIB, Puławy.
- [165] Zhao J., Fu J., Liao H., Nian H., Hu Y., Qiu L., Dong Y., Yan X., 2017. Characterization of root architecture in an applied core collection for phosphorus efficiency of soybean germplasm. *Chinese Science Bulletin*, 49, 1611–1620.
- [166] Żarski J., Błażewicz J., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., Zembold-Guła A., 2011. Ocena celowości stosowania deszczowania w technologii uprawy jęczmienia browarnego – wstępne wyniki badań. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 5, 229-239.
- [167] Żarski J., Dudek S., 2009. Zmienność czasowa potrzeb nawadniania wybranych roślin w regionie Bydgoszczy. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, 3, 141-149.
- [168] Żarski J., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., Bojar W., Knopik L., Żarski W., 2014. Agroklimatologiczna ocena opadów atmosferycznych okresu wegetacyjnego w rejonie Bydgoszczy. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, II (3), 643–656. DOI: <http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2014.2.2.047>
- [169] Żarski J., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., Januszewska-Kłapa K., 2013. Potrzeby i efekty nawadniania kukurydzy uprawianej na ziarno w regionie kujawsko-pomorskim. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, 3, 77-90.
- [170] Żarski J., Kuśmierk-Tomaszewska R., Dudek S., 2020. Impact of Irrigation and Fertigation on the Yield and Quality of Sugar Beet (*Beta vulgaris L.*) in a Moderate Climate. *Agronomy*, 10 (2), 166. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy10020166>
- [171] Żarski J., Kuśmierk-Tomaszewska R., Dudek S., Kropkowski M., Kledzik R., 2019. Identifying climatic risk to soybean cultivation in the transitional type of moderate climate in Central Poland. *Journal of Central European Agriculture*, 20 (1), 143-156. DOI: /10.5513/JCEA01/20.1.2210
- [172] Żmudzka E., 2012. Wieloletnie zmiany zasobów termicznych w okresie wegetacyjnym i aktywnego wzrostu roślin w Polsce. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 12, 2 (38), 377-389.

#### Źródła internetowe:

- [1] Źródło internetowe nr 1 - <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (odczyt w dniu 04.02.2022r.)
- [2] Źródło internetowe nr 2 - [http://pw.ihar.edu.pl/wp-content/uploads/2018/12/bbec0a155\\_Soja-referat-.pdf](http://pw.ihar.edu.pl/wp-content/uploads/2018/12/bbec0a155_Soja-referat-.pdf) (odczyt w dniu 01.05.2022r.)

- [3] Źródło internetowe nr 3 - <https://www.fao.org/3/u3160e/u3160e04.html> (odczyt w dniu 16.02.2022r.)
- [4] Źródło internetowe nr 4 - <https://www.farmer.pl/produkcja-roslinna/inne-uprawy/odmiany-soi-8211-ktora-wybrac,56608.html> (odczyt w dniu 23.04.2022r.)
- [5] Źródło internetowe nr 5 - <https://www.farmer.pl/produkcja-roslinna/inne-uprawy/cena-soi-2019-po-ile,88864.html> (odczyt w dniu 01.05.2022r.)
- [6] Źródło internetowe nr 6 - <https://www.farmer.pl/produkcja-roslinna/inne-uprawy/nawet-1750-zl-t-za-nasiona-soi,100794.html> (odczyt w dniu 01.05.2022r.)
- [7] Źródło internetowe nr 7 - <https://www.farmer.pl/produkcja-roslinna/inne-uprawy/po-ile-jest-soja,111318.html> (odczyt w dniu 01.05.2022r.)
- [8] Źródło internetowe nr 8 - <https://www.bankier.pl/wiadomosc/Srednia-cena-benzyny-w-2021-wyniosla-5-44-zl-l-wobec-4-41-zl-l-w-2020-POPIHN-8253986.html> (odczyt w dniu 01.05.2022r.)

## STRESZCZENIE

### Ocena potrzeb i efektów nawadniania soi (*Glycine max* (L.) Merrill) na obszarze deficytowym w wodę

**słowa kluczowe:** soja, deszczowanie, nawożenie azotem, plon nasion, cechy biometryczne, efektywność ekonomiczna

Soja charakteryzuje się pożądanym składem chemicznym nasion oraz innymi właściwościami mogącymi prowadzić do zwiększenia areалу uprawy na glebach Polski. Przeprowadzone w latach 2015-2018 badania miały na celu ocenę wpływu nawadniania deszczownianego, nawożenia azotem oraz ich interakcji na wysokość i jakość plonu oraz wybrane cechy biometryczne roślin soi odmiany 'Aldana' i 'Merlin'. Badania zrealizowano w miejscowości Mochełek na glebie lekkiej w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy, w diametralnie różnych warunkach termiczno-opadowych. Sezony wegetacji 2015 i 2018 charakteryzowały się jednymi z większych w wieloleciu niedoborów opadów atmosferycznych. W rezultacie czego potrzeby deszczowania soi były bardzo duże. Natomiast w sezonach 2016 i 2017 zanotowano nadmiary opadów, a potrzeba jednorazowego deszczowania wynikała z nie w pełni równomiernego rozkładu opadów. Nawadnianie w technologii uprawy soi miało charakter interwencyjny. Wprowadzenie do uprawy nawadniania skutkowało istotnym wzrostem plonu nasion obu odmian soi w każdym roku badań. Wyższe bezwzględne i względne zwyżki plonów pod wpływem deszczowania zanotowano w latach suchych. Z kolei wyższą efektywność produkcyjną 1 mm wody nawodnieniowej odnotowano w latach wilgotnych. Zabieg ten przyczynił się do stabilizacji plonowania soi w poszczególnych sezonach wegetacji. Dla drugiego czynnika doświadczenia, jakim było nawożenie azotem istotny wpływ na wysokość plonu nasion omawianych odmian soi zaobserwowano w niektórych z badanych sezonów wegetacji. W odniesieniu do odmiany 'Aldana' nawożenie azotem prowadziło do wzrostu, a z kolei w odniesieniu do odmiany 'Merlin' do spadku plonu nasion. Istotne współdziałanie

deszczowania i nawożenia azotem korzystnie wpływające na plonu nasion soi zaobserwowano tylko w doświadczeniu z odmianą 'Aldana' w suchych sezonach. Zróżnicowanie badanych cech biometrycznych i elementów struktury plonu pod wpływem zastosowanego nawadniania było zależne od roku badań i odmiany. Oddziaływanie nawożenia azotem i współdziałanie tegoż czynnika z deszczowaniem na kształtowanie wybranych cech biometrycznych i elementów struktury plonu było istotne tylko w niektórych sezonach wegetacji. Zastosowane w badaniach czynniki doświadczenia w niewielkim stopniu zróżnicowały zawartość białka ogólnego i tłuszczu surowego w nasionach soi. Wysokość opadów atmosferycznych oraz wysokość niedoborów opadowych w okresie wegetacji kształtowały efekty produkcyjne deszczowania. Istotna, prostoliniowa zależność typu pogoda-plon dotyczyła wpływu wysokości opadów w badanym okresie V-VIII na wysokość zwyczajek plonów nasion odmiany 'Merlin' pod wpływem nawadniania. W oparciu o prowadzone badania ustalono, iż potrzeby deszczowania soi w rejonie Bydgoszczy występują z częstością 46,6% lat. W 13,3% lat są to potrzeby bardzo duże (niedobory opadów powyżej 150 mm), w 13,3% lat duże (niedobory opadów w przedziale 100-150 mm), a w 20% lat potrzeby umiarkowane (niedobory opadów w przedziale 50-100 mm). W latach bardzo dużych, dużych i umiarkowanych potrzeb nawadniania, prognozowane zwyczajki plonu nasion pod wpływem zastosowania deszczowania wynoszą odpowiednio, co najmniej 2,28 t<sub>ha</sub><sup>-1</sup>, 1,86 t<sub>ha</sub><sup>-1</sup> oraz 1,43 t<sub>ha</sub><sup>-1</sup>. Powierzchnia uprawy soi determinuje efektywność ekonomiczną deszczowania rośliny soi. Wzrost powierzchni skutkował spadkiem kosztów deszczowania w przeliczeniu na 1 ha. Zabieg deszczowanie soi uprawianej na powierzchniach 5, 10, 20 i 50 ha był przedsięwzięciem efektywnym ekonomicznie. Wzrost analizowanej powierzchni skutkował zwiększeniem nadwyżki bezpośredniej w przeliczeniu na 1 ha. Przykładowo, deszczowanie soi odmiany 'Merlin' na powierzchni 10 ha przy cenach nasion z 2021 roku, zapewniłoby nadwyżkę bezpośrednią rzędu 11 600 zł.

## ABSTRACT

### **Assessment of needs and effects of irrigation in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivation in an area of water deficits**

**keywords:** soybean, sprinkler irrigation, nitrogen fertilization, crop yield, biometric traits, economic efficiency

Soybean is characterized by the desired chemical content of seeds and other properties that can lead to an increase in crop acreage in Poland. The purpose of studies conducted in 2015-2018 was to assess the impact of sprinkler irrigation, nitrogen fertilization and their coupled application on crop yield and quality as well as selected biometric traits of soybean in such varieties as ‘Aldana’ and ‘Merlin’. Studies had been carried out in the village of Mochelek on light soils in the Experimental Station of the Bydgoszcz University of Science and Technology, under diametrically different thermal and precipitation conditions. Soybean crop cultivation seasons in 2015 and 2018 were affected by precipitation deficits, ranked to be the worst in several decades. As a result, the needs related to sprinkler irrigation of soybean were very high. On the other hand, in the seasons of 2016 and 2017, surplus of the precipitation was reported, and the need of single sprinkler irrigation resulted from the uneven distribution of rainfall. Sprinkler irrigation in crop technology was in the form of one-off interventions. Implementation of sprinkler irrigation to crops resulted in a significant increase of yield in both soybean varieties in every year of studies. Absolute and relative yield increases under the conditions of sprinkler irrigation were reported during the dry years. On the other hand, higher productivity in 1 mm of irrigation water was reported during the humid years. This method contributed to stabilization of soybean yield during consecutive crop cultivation seasons. For the second factor of experiment, which was nitrogen fertilization, a substantial impact on crop yields in the described soybean varieties, was noticed during some of the studied crop cultivation seasons. With regard to ‘Aldana’ soybean variety, nitrogen fertilization led to an increase, and in relation to ‘Merlin’ variety – to reduction in crop yields. Coupled application of sprinkler irrigation and nitrogen

fertilization had a significant impact on soybean crop yields only during experiments with 'Aldana' soybean variety in dry seasons. Diversification in the studied biometric traits and components of yield structure under the influence of irrigation applied, depended on the year of studies and soybean variety. The impact of nitrogen fertilization and coupling of this factor with sprinkler irrigation on formation of selected biometric traits and components of yield structure played a major role only during some crop cultivation seasons. The experiment factors used in the studies diversified only to a small extent the content of general protein and raw fat in soybean seeds. The amount of precipitation and the amount of rainfall deficit during crop cultivation seasons had an impact on production results of sprinkler irrigation. A substantial, linear relationship between weather and yield was related to the impact of the amount of precipitation between May and August to yield increases in 'Merlin' soybean variety under the influence of sprinkler irrigation. Based on the studies conducted, it was also determined that the needs of soybean sprinkler irrigation in the Bydgoszcz area are reported with frequency 46,6% years. In 13,3% years the needs are very high (precipitation deficit over 150 mm), in 13,3% years the needs are high (precipitation deficit in the range 100-150 mm), and in 20% years the needs are moderate (precipitation deficit in the range 50-100 mm). During the years of very high, high and moderate needs of sprinkler irrigation, forecasted yield increases under the influence of applied sprinkler irrigation amount to, respectively, at least 2.28 t ha<sup>-1</sup>, 1.86 t ha<sup>-1</sup> and 1.43 t ha<sup>-1</sup>. Soybean acreage determines economic efficiency of sprinkler irrigation. Acreage expansion resulted in reduction of sprinkler irrigation costs in calculation per 1 ha. The procedure of sprinkler irrigation of soybean cultivated in areas occupying 5, 10, 20 and 50 ha was an economically efficient undertaking. An increase in the analyzed area resulted in a direct surplus in calculation per 1 ha. For instance, sprinkler irrigation of 'Merlin' soybean variety in an area occupying 10 ha with the seed prices from 2021, would ensure a direct surplus in the amount of Zł 11,600.

## SPIS TABEL

[1]	Powierzchnia zasiewów oraz zbiory soi w latach 2016-2020 w Polsce, Europie i na świecie .....	12
[2]	Wpływ głównych czynników klimatycznych na potrzeby wodne roślin uprawnych – dane FAO .....	21
[3]	Dzienne zapotrzebowanie na wodę w okresie wegetacji.....	21
[4]	Całkowite zapotrzebowanie na wodę w okresie wegetacji .....	21
[5]	Charakterystyka odmiany ‘Aldana’ .....	34
[6]	Charakterystyka odmiany ‘Merlin’ .....	34
[7]	Średnie dekadowe i miesięczne temperatury powietrza w rejonie Bydgoszczy w okresie wegetacyjnym 2015 r. [°C].....	44
[8]	Średnie dekadowe i miesięczne temperatury powietrza w rejonie Bydgoszczy w okresie wegetacyjnym 2016 r. [°C].....	44
[9]	Średnie dekadowe i miesięczne temperatury powietrza w rejonie Bydgoszczy w okresie wegetacyjnym 2017 r. [°C].....	45
[10]	Średnie dekadowe i miesięczne temperatury powietrza w rejonie Bydgoszczy w okresie wegetacyjnym 2018 r. [°C].....	46
[11]	Sumy dekadowe i miesięczne opadów atmosferycznych w rejonie Bydgoszczy w okresie wegetacyjnym 2015r. [mm].....	50
[12]	Sumy dekadowe i miesięczne opadów atmosferycznych w rejonie Bydgoszczy w okresie wegetacyjnym 2016r. [mm].....	50
[13]	Sumy dekadowe i miesięczne opadów atmosferycznych w rejonie Bydgoszczy w okresie wegetacyjnym 2017r. [mm].....	51
[14]	Sumy dekadowe i miesięczne opadów atmosferycznych w rejonie Bydgoszczy w okresie wegetacyjnym 2018r. [mm].....	51
[15]	Średnie miesięczne opady optymalne, rzeczywiste oraz niedobory lub nadmiary opadów w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018 [mm] .....	54
[16]	Plon nasion soi odmiany ‘Aldana’ [t·ha <sup>-1</sup> ] .....	61
[17]	Plon nasion soi odmiany ‘Merlin’ [t·ha <sup>-1</sup> ].....	63
[18]	Masa tysiąca nasion soi odmiany ‘Aldana’ [g] .....	64
[19]	Masa tysiąca nasion soi odmiany ‘Merlin’ [g].....	65
[20]	Wysokość roślin soi odmiany ‘Aldana’ [cm].....	67
[21]	Wysokość roślin soi odmiany ‘Merlin’ [cm].....	69
[22]	Wysokość osadzenia najniższego strąka na roślinie soi odmiany ‘Aldana’ [cm].....	70
[23]	Wysokość osadzenia najniższego strąka na roślinie soi odmiany ‘Merlin’ [cm].....	71
[24]	Liczba strąków i nasion z jednej rośliny soi – średnio w latach 2015-2018 [szt.] .....	72
[25]	Współczynniki determinacji charakteryzujące zależność efektów produkcyjnych deszczowania soi od wysokości opadów i niedoborów opadów atmosferycznych.....	76
[26]	Koszty nawadniania deszczownianego soi odmian ‘Aldana’ oraz ‘Merlin’ .....	79
[27]	Średnie efekty produkcyjne nawadniania deszczownianego soi odmian ‘Aldana’ oraz ‘Merlin’ w latach 2015-2018.....	80
[28]	Efektywność ekonomiczna nawadniania deszczownianego soi odmiany ‘Aldana’ w wariancie I – średnia ceny nasion soi z lat 2019-2021 .....	81

[29]	Efektywność ekonomiczna nawadniania deszczownianego soi odmiany ‘Aldana’ w wariancie II – średnia ceny nasion soi z roku 2021.....	81
[30]	Efektywność ekonomiczna nawadniania deszczownianego soi odmiany ‘Merlin’ w wariancie I – średnia ceny nasion soi z lat 2019-2021.....	82
[31]	Efektywność ekonomiczna nawadniania deszczownianego soi odmiany ‘Merlin’ w wariancie II – średnia ceny nasion soi z roku 2021 .....	82

## SPIS RYSUNKÓW

[1]	Średni plon nasion soi w latach 2016-2020 [ $t \cdot ha^{-1}$ ] w Polsce, Europie i na świecie.....	12
[2]	Produkcja śrut oleistych* na świecie w latach od 2004/2005 do 2013/2014.....	13
[3]	Eksport śrut oleistych* na świecie w latach od 2004/2005 do 2013/2014 .....	14
[4]	Produkcja śrut oleistych* w Polsce w latach od 2004/2005 do 2013/2014 .....	14
[5]	Import śrut oleistych* w Polsce w latach od 2004/2005 do 2013/2014 .....	15
[6]	Warunki wodne soi i ich zmienność w okresie V-IX w rejonie Bydgoszczy w latach 1986-2015.....	22
[7]	Potrzeby wodne soi w okresie wegetacyjnym w latach 1981–2010.....	23
[8]	Porównanie średnich miesięcznych temperatur powietrza w rejonie Bydgoszczy okresów 2015-2018 oraz 1991-2020 [ $^{\circ}C$ ].....	43
[9]	Suma temperatur efektywnych od siewu do zbioru soi w okresie wegetacji 2015 [ $^{\circ}C$ ].....	47
[10]	Suma temperatur efektywnych od siewu do zbioru soi w okresie wegetacji 2016 [ $^{\circ}C$ ].....	47
[11]	Suma temperatur efektywnych od siewu do zbioru soi w okresie wegetacji 2017 [ $^{\circ}C$ ].....	48
[12]	Suma temperatur efektywnych od siewu do zbioru soi w okresie wegetacji 2018 [ $^{\circ}C$ ].....	48
[13]	Porównanie średnich miesięcznych opadów atmosferycznych w rejonie Bydgoszczy okresów 2015-2018 oraz 1991-2020 [mm].....	49
[14]	Ciągi dni bezopadowych w miesiącach czerwiec-sierpień w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018.....	53
[15]	Opady optymalne po korektach metodą Klatta w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018 [mm] .....	55
[16]	Opady rzeczywiste w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018 [mm].....	55
[17]	Niedobory lub nadmiary opadów atmosferycznych w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018 [mm] .....	56
[18]	Bilans zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin soi w roku 2015 [mm] .....	57
[19]	Bilans zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin soi w roku 2016 [mm] .....	57
[20]	Bilans zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin soi w roku 2017 [mm] .....	58
[21]	Bilans zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin soi w roku 2018 [mm] .....	59
[22]	Zawartość białka ogólnego w nasionach soi odmiany ‘Aldana’ [% s.m.].....	73
[23]	Zawartość białka ogólnego w nasionach soi odmiany ‘Merlin’ [% s.m.] .....	73
[24]	Zawartość tłuszczu surowego w nasionach soi odmiany ‘Aldana’ [% s.m.].....	74
[25]	Zawartość tłuszczu surowego w nasionach soi odmiany ‘Merlin’ [% s.m.].....	75
[26]	Zależność przyrostów plonów nasion soi odmiany ‘Merlin’ od wysokości niedoborów opadów atmosferycznych w okresie V-VIII.....	76



[27]	Niedobory i nadmiary opadów atmosferycznych w uprawie soi w okresie V-VIII w latach 1991-2020 na podstawie danych meteorologicznych w Mochełku w rejonie Bydgoszczy .....	77
[28]	Przyrosty plonów nasion soi odmiany ‘Merlin’ pod wpływem deszczowania w latach 1991-2020 .....	78

## **SPIS FOTOGRAFII**

[1]	System nawadniania deszczownianego na poletkach doświadczalnych .....	36
[2]	Widok na poletka doświadczalne odmian soi ‘Aldana’ oraz ‘Merlin’ w okresie wegetacji 2015 w dniu 01.07.2015r. – 83 dni od daty siewu .....	37
[3]	Widok na poletka doświadczalne odmian soi ‘Aldana’ oraz ‘Merlin’ w okresie wegetacji 2016 w dniu 29.08.2016r. - 127 dni od daty siewu .....	37