

RADA NAUKOWA DYSCYPLINY ROLNICTWO I OGRODNICTWO

ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Emilian Różniak

**WPŁYW ROZMIESZCZENIA ROŚLIN JĘCZMIENIA JAREGO
I GROCHU SIEWNEGO W ŁANIE MIESZANEK
UPRAWIANYCH W TECHNOLOGII STRIP-TILL ONE-PASS
NA ICH PRODUKCYJNOŚĆ I KONKURENCJĘ
MIĘDZYGATUNKOWĄ**

***The effect on productivity and interspecies competition
of the distribution of spring barley and field pea plants
in mixed stands cultivated using
one-pass strip-till technology***

DZIEDZINA: Nauki rolnicze

DYSCYPLINA: Rolnictwo i Ogrodnictwo

PROMOTOR

PROF. DR HAB. INŻ. DARIUSZ JASKULSKI
KATEDRA AGRONOMII I PRZETWÓRSTWA ŻYWNOŚCI
WYDZIAŁ ROLNICTWA I BIOTECHNOLOGII
POLITECHNIKA BYDGOSKA IM. J. I J. ŚNIADECKICH

Bydgoszcz, 2026

*Składam serdeczne podziękowania
mojej Rodzinie za nieustanne wsparcie,
cierpliwość i zrozumienie.*

*Dziękuję również wszystkim Osobom,
które swoją pomocą, życzliwością
i zaangażowaniem przyczyniły się do
powstania niniejszej pracy doktorskiej.*

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH SKRÓTÓW

- AR – wskaźnik agresywności (aggressivity ratio)
- ATER – wskaźnik powierzchniowo-czasowy (area time equivalent ratio)
- AYL – wskaźnik rzeczywistej straty plonu (actual yield loss)
- CPR – wskaźnik wydajności uprawy (crop performance ratio)
- CR – wskaźnik konkurencyjności (competition ratio)
- GM – wskaźnik marży brutto (gross margin)
- IA – wskaźnik przewagi mieszanek (intercropping advantage)
- IER – wskaźnik ekwiwalentu dochodu (income equivalent ratio)
- LER – wskaźnik ekwiwalentu gruntu (land equivalent ratio)
- MAI – wskaźnik korzyści pieniężnej (monetary advantage index)
- PW – wskaźnik walidowanego plonu względnego (validated relative yield index)
- PZW – polowa zdolność wschodów (field emergence)
- RII – wskaźnik względnej interakcji (relative interaction index)
- RRW – rzeczywista różnica wartości plonu (actual difference in yield value)
- RY – plon względny (relative yield)
- RYT – całkowity plon względny (relative yield total)
- SK – wskaźnik siły i kierunku oddziaływania (intensity and direction interaction index)
- SW – wskaźnik względnej straty plonu (relative yield loss index)
- WER – wskaźnik wykorzystania wody (water equivalent ratio)

Spis treści

1. WSTĘP	7
2. ANALIZA LITERATURY	9
2.1. UPRAWY MIESZANE	9
2.2. WALORY I MANKAMENTY MIESZANEK	12
2.3. MIESZANKI ZBÓŻ I BOBOWATYCH GRUBONASIENNYCH	18
2.4. INTERAKCJE W ZASIEWACH MIESZANYCH	21
2.5. OCENA ODDZIAŁYWAŃ	25
3. PROBLEM BADAWCZY, CELE I HIPOTEZY BADAŃ	29
4. MATERIAŁ I METODY	30
4.1. BADANIA POŁOWE	30
4.1.1. Przedmiot, lokalizacja i warunki siedliskowe	30
4.1.2. Eksperyment polowy	35
4.1.2.1. Czynniki, poziomy i układ doświadczenia	35
4.1.2.2. Agrotechnika, pomiary i oceny biometryczne	38
4.2. ANALIZY LABORATORYJNE	40
4.3. MATEMATYCZNE I STATYSTYCZNE OPRACOWANIE WYNIKÓW	40
4.3.1. Produkcyjność roślin	40
4.3.2. Wskaźniki oddziaływania między roślinami	41
5. OMÓWIENIE WYNIKÓW	45
5.1. PRODUKCYJNOŚĆ ROŚLIN	45
5.1.1. Siew i wschody roślin	45
5.1.1.1. Głębokość siewu	45
5.1.1.2. Obsada roślin	49
5.1.1.3. Połowa zdolność wschodów	51
5.1.2. Faza wzrostu i rozwoju BBCH 51-61	53
5.1.2.1. Plon zielonej masy	53
5.1.2.2. Plon suchej masy	57
5.1.2.3. Plon białka	61
5.1.3. Faza wzrostu i rozwoju BBCH 89	64
5.1.3.1. Plon suchej masy	64
5.1.3.2. Plon białka	68
5.1.4. Plon ziarna, nasion i białka	72
5.1.4.1. Plon ziarna i nasion	72
5.1.4.2. Plon białka	76

5.2. WSKAŹNIKI ODDZIAŁYWANIA	80
5.2.1. Ekwiwalent gruntu – LER.....	80
5.2.1.1. Faza BBCH 51-61	80
5.2.1.2. Faza BBCH 89	83
5.2.1.3. Plon ziarna/nasion, białka	85
5.2.2. Wydajność upraw – CPR.....	87
5.2.2.1. Faza BBCH 51-61	87
5.2.2.2. Faza BBCH 89	91
5.2.2.3. Plon ziarna/nasion, białka	93
5.2.3. Rzeczywista strata plonu – AYL.....	95
5.2.3.1. Faza BBCH 51-61	95
5.2.3.2. Faza BBCH 89	98
5.2.3.3. Plon ziarna/nasion, białka	100
5.2.4. Konkurencyjność – CR.....	103
5.2.4.1. Faza BBCH 51-61	103
5.2.4.2. Faza BBCH 89	106
5.2.4.3. Plon ziarna/nasion, białka	108
5.2.5. Agresywność – AR.....	110
5.2.5.1. Faza BBCH 51-61	110
5.2.5.2. Faza BBCH 89	113
5.2.5.3. Plon ziarna/nasion, białka	115
5.2.6. Korzyść pieniężna – MAI.....	117
5.2.7. Wskaźniki mieszanek na przemian rzędowych vs współrzędnych.....	118
5.2.7.1. Faza BBCH 51-61	118
5.2.7.2. Faza BBCH 89	125
5.2.7.3. Plon ziarna/nasion, białka	130
6. DYSKUSJA.....	136
7. PODSUMOWANIE I WNIOSKI	149
LITERATURA	152
SPIS TABEL	170
SPIS RYSUNKÓW.....	174
STRESZCZENIE	178
ABSTRACT	180

1. WSTĘP

Mieszanki międzyrodzajowe i międzygatunkowe, a także mieszaniny odmian są jednym ze sposobów uprawy roślin znanym w prehistorii, właściwym dla rolnictwa współczesnego oraz o dużym potencjale rozwoju w przyszłości [Brooker i in., 2015; Yu i in., 2025]. Historia badań naukowych nad siewami mieszanymi sięga schyłku XIX wieku. Intensywny ich rozwój przypada jednak na koniec drugiego tysiąclecia, po okresie dominacji intensywnego rolnictwa uprzemysłowionego [Harwood, 2024]. W niespełna trzy dekady przełomu XX i XXI w. powstało ponad 7,5 tys. prac naukowych na temat upraw mieszanych [Tang i in., 2025]. Rozwój nauki w tym obszarze wynika z ich ówczesnej i aktualnej roli w rolnictwie oraz zmian świadomości społeczeństw. Na początku XXI w. powierzchnia uprawy mieszanek zbożowych na świecie wynosiła około 1,7-1,9 mln ha, z czego blisko 1,5 mln ha występowało w Polsce, co stanowiło 15-17% powierzchni zasiewów. W kolejnych latach powierzchnia ta sukcesywnie zmniejszała się, by w trzeciej dekadzie bieżącego stulecia osiągnąć poziom odpowiednio 0,92 mln ha – świat i 0,59 mln ha – Polska. Areal mieszanek zbóż jarych w krajach Unii Europejskiej w 2024 roku wynosił 347 tys. ha, w tym w Polsce 207 tys. ha [Leszczyńska, 2010; EUROSTAT, 2025; FAOSTAT, 2025].

Według niektórych autorów [Hong i in., 2017; Kinyua i in., 2023] uprawa mieszanek postrzegana jest jako ekstensywny sposób organizacji polowej produkcji roślinnej. Aktualnie mieszanki spełniają jednak nie tylko rolę gospodarczą, ale przede wszystkim środowiskową. Niekorzystne skutki intensyfikacji rolnictwa i zmian klimatycznych mogą być łagodzone przez zwiększenie bioróżnorodności agroekosystemów, w tym jednoczesną uprawę w danym miejscu zróżnicowanych genetycznie roślin [McAlvay i in., 2022, Kopp i in., 2023]. Szczególna rola przypada mieszankom zbóż z roślinami bobowatymi grubonasiennymi (tradycyjnie nazywanych mieszankami zbożowo-strączkowymi) z racji odległości systematycznej komponentów oraz właściwości roślin bobowatych do biologicznego wiązania azotu [Glaze-Corcoran i in., 2020; Salinas-Roco i in., 2024]. Uprawa mieszanek jest zatem postrzegana jako przejaw zrównoważonego rozwoju rolnictwa, zwiększająca produkcję energii brutto i dochody [Martin-Guay i in., 2018]. Korzyści z tworzenia wielogatunkowych fitocenoz w agroekosystemach, w porównaniu z uprawami monogatunkowymi, wynikają z większej efektywności wykorzystania zasobów siedliska i aplikowanych środków produkcji oraz z ochrony środowiska. Łany wielogatunkowe umożliwiają otrzymanie większych plonów o lepszej jakości, choć są trudne w zarządzaniu [Li i in., 2023a]. Według powyższych autorów współwystępowanie przynajmniej dwóch gatunków lub odmian roślin w agrofitycenozie może skutkować nie tylko bezpośrednimi efektami produkcyjnymi, ale głównie ekologicznymi, m.in.: zwiększeniem bioróżnorodności w agroekosystemach, ograniczeniem agrofagów i wzrostem liczebności ich wrogów naturalnych, redukcją erozji gleby, zwiększeniem

sekwestracji węgla organicznego, przyrostem zawartości glebowej materii organicznej i aktywności enzymatycznej gleby, możliwością zmniejszenia dawek nawozów azotowych i fosforowych w polowej produkcji roślinnej.

Efekty uprawy mieszanek zależą w dużym stopniu od oddziaływań zachodzących między ich komponentami. Mogą one mieć charakter antagonistyczny i nieantagonistyczny. Dla roślin zbożowych i bobowatych współwystępujących w łanie oraz organizmów im towarzyszących właściwymi interakcjami są chociażby symbioza i konkurencja [Ileri i in., 2021; Singh i in., 2023]. Istotą modelowania upraw mieszanych jest założenie, że końcowy efekt powyższych i wielu innych oddziaływań wewnątrz- i międzygatunkowych będzie bardziej korzystny niż rezultat uprawy każdego komponentu mieszanki w siewie czystym. Złożoność interakcji między roślinami oraz między nimi a czynnikami siedliska i elementami agrotechniki nie daje gwarancji, a co najwyżej zwiększa prawdopodobieństwo, osiągnięcia zakładanych celów upraw mieszanych. Głównym celem produkcyjnym takiego sposobu uprawy jest większy plon, o lepszej jakości i/lub bardziej stabilny od plonu z siewów jednogatunkowych [Li i in., 2023b; Stefan i in., 2025].

Upowszechnianie naukowo opracowanych zasad agrotechniki mieszanek i innych upraw zwiększających bioróżnorodność agroekosystemów wymaga permanentnej analizy dotychczasowego stanu wiedzy i dalszych badań w zróżnicowanych warunkach siedliskowych, agrotechnicznych oraz społeczno-gospodarczych, zwłaszcza krajowych. Eksperymenty polowe w tym zakresie powinny włączać efekty postępu technicznego i technologicznego. Należy testować możliwość i rezultaty agrotechniki z wykorzystaniem prośrodowiskowych elementów, np. uproszczonych sposobów i systemów uprawy roli czy technologii strip-till one-pass – uprawa pasów gleby z jednoczesną aplikacją nawozów i wysiewem nasion [Wojciechowski i Gajewska, 2018; Smagacz, 2020; Kwiatkowski i in., 2022]. Analizowane powinny być nie tylko wyniki produkcyjne i środowiskowe, ale również ekonomiczne takich rozwiązań [Verret i in., 2020; Manevska-Tasevska i in., 2024]. Rola bioróżnorodności w agroekosystemach jest bowiem nie do przecenienia, co ma odzwierciedlenie nie tylko w szczegółowych badaniach dotyczących upraw mieszanych prezentowanych poniżej, ale także w kształtowaniu krajobrazu rolniczego oraz warunków i efektów współczesnej działalności rolniczej w różnych jej systemach [Marks i Markowski, 2012; Kwiatkowski i in., 2020; Marks i in., 2020].

2. ANALIZA LITERATURY

2.1. UPRAWY MIESZANE

Siew mieszany lub uprawa mieszana są definiowane na wiele sposobów. Zgodnie z Małym Leksykonem Rolniczym siew współrzędny, mieszany oznacza „jednoczesny wysiew dwu lub więcej gatunków roślin w celu lepszego wykorzystania składników pokarmowych, wody i światła” [Zimny, 1995]. Ten sam autor uprawę współrzedną określa natomiast jako „równoczesna uprawa na tym samym polu dwu lub kilku gatunków roślin, np. marchwi i maku, cebuli i sałaty”. Według Wiecha i Kałmuk [2005] rośliny wielu gatunków współwystępujące w jednym miejscu uprawy, choćby przez część okresu wegetacji, mogą być rozmieszczone względem siebie w różny sposób i być różnie nazywane, np.: występowanie niesystematyczne, bez wyraźnie zaznaczonych rzędów – uprawa mieszana; w każdym regularnym rzędzie występują rośliny przynajmniej dwóch gatunków – uprawa współrzedna; rośliny dwóch lub większej liczby gatunków występują oddzielnie w kolejnych rzędach położonych przemiennie – uprawa na przemian rzędowa. Uprawa czasowo na przemian rzędowa ma miejsce, gdy rośliny rosną w bezpośrednim sąsiedztwie tylko przez część sezonu wegetacyjnego, natomiast istotą podsiewu, żywej ściółki jest wysiew i bezrzędowa uprawa roślin jednego lub kilku gatunków w szerokich międzyrzędziach drugiego gatunku. ARiMR [2025] w odniesieniu do dywersyfikacji upraw zdefiniowała uprawę mieszaną jako „...polegającą na jednoczesnym prowadzeniu dwóch lub większej liczby upraw w oddzielnych rzędach, każdą uprawę liczy się jako oddzielną, jeżeli pokrywa ona, co najmniej 25% tego obszaru. Powierzchnię obszaru pokrytego oddzielnymi uprawami oblicza się dzieląc powierzchnię obszaru, na którym prowadzi się uprawę mieszaną przez liczbę upraw pokrywających co najmniej 25% tego obszaru niezależnie od faktycznego udziału danej uprawy na tym obszarze. Jeżeli żadna z roślin wchodzących w skład uprawy mieszanej (uprawianej w rzędach) nie pokrywa co najmniej 25% obszaru, uznaje się ją za uprawę mieszaną”.

W literaturze anglojęzycznej współwystępowanie roślin uprawnych różnych gatunków lub odmian w łanie określa się mianem: mixture, mixed cropping, intercropping, polyculture. Mimo pewnych różnic znaczeniowych pojęcia te odnoszą się do uprawy dwóch lub większej liczby gatunków/odmian roślin w tym samym miejscu i czasie. Maitra i in. [2021] wydzielają kilka typów wspólnej uprawy roślin nazwanej intercropping, tj.: row intercropping – uprawa jednego lub kilku gatunków roślin wysianych w równej proporcji rzędów, a także uprawa międzyplonów w rzędzie lub bez rzędów; mixed intercropping – dwa lub więcej gatunków/odmian roślin uprawianych razem bez określonej proporcji rzędów; strip-intercropping – to rodzaj uprawy, w której dwie lub więcej roślin (gatunki, odmiany) uprawia się w pasach; relay intercropping – to jednoczesna uprawa różnych gatunków roślin tylko przez część okresu wegetacyjnego każdego z nich.

Kolejna roślina jest dosiewana do ładu, gdy pierwsza już wegetuje, ale jest przed zbiorem.

Według Vlahova [2022] w zasiewach typu row intercropping widoczne są rzędy poszczególnych komponentów. Mixed intercropping polega natomiast na wysiewie wymieszanych nasion różnych gatunków/odmian w regularnych rzędach lub nieregularnie na całej powierzchni pola. W uprawie strip-intercropping rośliny poszczególnych gatunków wysiewa się w pasach wielorzędowych. Pasy te są na tyle szerokie, aby zachować indywidualną dla gatunku agrotechnikę, ale jednocześnie na tyle wąskie, aby mogły zachodzić interakcje między roślinami. Raza i in. [2019] wskazują z kolei, że relay intercropping może być stosowany, gdy sezon wegetacji dla następujących po sobie roślin jest zbyt krótki. Na przykład opóźniony termin siewu soi względem siewu kukurydzy powoduje, że wspólna ich wegetacja w warunkach siedliskowych przeprowadzonych badań zachodzi tylko przez około 9-10 tygodni i soja zbierana jest po 2 miesiącach od zbioru kukurydzy.

Z kolei polikulturę Adamczewska-Sowińska i Sowiński [2020] definiują w prosty sposób, jako system uprawy kilku gatunków roślin w tym samym miejscu i czasie. Bardziej złożone określenie tego sposobu wspólnej uprawy roślin podają Martinez i in. [2024]. Według autorów polikultura to jednoczesna uprawa wielu genotypów roślin uprawnych w skali pola. Odróżnia to polikulturę od uprawy mieszanej jednogatunkowych kultur na różnych polach w obrębie gospodarstwa oraz od zmianowania/płodozmianu, gdzie różnorodność roślin występuje po sobie, w kolejnych sezonach uprawy. Komponenty polikultury mogą być w pełni wymieszane, mieć określony układ względem siebie lub występować w sąsiednich rzędach albo pasach o szerokości wielu rzędów. Ważnym jest, że odległość między różnymi genotypami roślin w łanie umożliwia wzajemne oddziaływanie między nimi. Jako polikulturę można uprawiać nie tylko rośliny jednoroczne, ale również wieloletnie [Weißhuhn i in., 2017].

Mieszanki, czyli (ang. mixture), określane są podobnie jak intercropping czy polyculture. Brooker i in. [2024] zdefiniowali ten sposób uprawy roślin na podstawie wielu wcześniejszych opracowań jako występowanie dwóch lub większej liczby gatunków roślin w tym samym miejscu i na tyle długo w tym samym czasie, aby mogły zachodzić istotne interakcje między nimi. Malézieux i in. [2009] w zależności od stopnia złożoności mieszanek jednorocznych klasyfikują je jako: wewnątrzgatunkowe, np. odmianowe; mieszanki dwóch lub większej liczby gatunków z roślinami występującymi w rzędach, co odpowiada typowi row intercropping; czasowe współwystępowanie roślin przynajmniej dwóch gatunków – relay intercropping; mieszanki właściwe dla typu mixed intercropping, czyli bez wyraźnie sprecyzowanego sposobu współwystępowania względem siebie roślin w łanie wielogatunkowym. Z kolei Gaudio i in. [2019] na podstawie różnic morfologicznych i fenologicznych roślin wydzielają trzy typy mieszanek jednorocznych. Pierwszy typ obejmuje mieszanki, w których rośliny mają podobną morfologię i fenologię. Może być to np. mieszanka różnych odmian słonecznika

zbliżonych pokrojowo i o podobnym tempie rozwoju. W typie drugim są mieszanki roślin mających różną morfologię, ale podobną fenologię. Taką mieszankę może tworzyć wspólny wysiew odmian pszenicy zróżnicowanych morfologicznie, czy uprawa pszenicy z grochem. W typie trzecim są natomiast mieszanki, w skład których wchodzi rośliny różniące się morfologicznie i fenologicznie, np. mieszanka pszenicy z kukurydzą.

Doświadczenia z mieszankami mogą być zakładane i prowadzone w trzech różnych układach komponentów: addytywnym, substytucyjnym (zastępczym) i pośrednim [Gebu, 2015]. W układzie addytywnym do określonej obsady jednego komponentu dodawane są osobniki komponentu drugiego. Zasoby środowiska przypadające na osobnika występującego w mieszance są mniejsze niż w siewie czystym. Zmiany u roślin gatunku o stałym zagęszczeniu można przypisać efektowi oddziaływania zmiany zagęszczenia gatunku towarzyszącego, czyli można określić konkurencję międzygatunkową, nie można natomiast zmierzyć konkurencji wewnątrzgatunkowej. W przypadku mieszanek w układzie addytywnym należy liczyć się z większymi nakładami i kosztami, wynikającymi choćby z większej ilości materiału siewnego łącznie wszystkich jej komponentów. W układzie substytucyjnym osobniki jednego składnika mieszanki są zamieniane osobnikami innego składnika. Obsada całkowita jest niezmienna, a zasoby siedliska przypadające na osobnika są takie same jak w siewie czystym. W doświadczeniach prowadzonych w układzie substytucyjnym zamiast stałej gęstości przyjmuje się często proporcję normy siewu czystego, gdzie suma proporcji poszczególnych komponentów mieszanki wynosi 1. Na przykład w mieszance trzyskładnikowej udział każdego komponentu może wynosić 33,3% normy siewu czystego, jednogatunkowego. Układ eksperymentu z mieszankami może zakładać również zmienną obsadę komponentów [Bybee-Finley i Ryan, 2018; Goldberg i Scheiner, 2020].

Elementy agrotechniki mieszanek muszą z jednej strony uwzględniać indywidualne wymagania poszczególnych gatunków wchodzących w ich skład, z drugiej strony są podobne i przygotowują optymalne warunki glebowe, a szerzej środowiskowe, do uprawy roślin. Rühlemann i Schmidtke [2015] wykazali możliwość uprawy ozimej i jarej formy bobiku, grochu siewnego, łubinu wąskolistnego w mieszankach z pszenicą ozimą i owsem po wykonaj orce lub uprawie bezpługowej i w systemie no-till. W agrotechnice mieszanek możliwe są daleko idące uproszczenia uprawy roli. Porównując plon i jakość zielonej masy jarej mieszanki zbożowo-strączkowej (owies, jęczmień, wyka) wysiewanej po klasycznej, pługowej oraz konserwującej, bezpługowej uprawie roli nie stwierdzono różnicy większej niż 5%. Dokładna analiza statystyczna wyników wykazała przewagę uprawy pługowej w kształtowaniu obsady pędów roślin, stosunku liści do łodyg oraz brak wpływu sposobu uprawy roli na skład paszy, tj. zawartość białka ogólnego i włókna [Sohail i in., 2021]. Aktualnie sposoby uprawy roślin wykorzystujące możliwość tworzenia łańcuch złożonych z wielu gatunków/odmian o dużej bioróżnorodności i potencjale świadczenia usług ekosystemowych oraz uproszczone systemy uprawy roli ograniczające ingerencję narzędzi w glebę leżą

u podstaw rolnictwa nastawionego zarówno na produkcję żywności, jak i ochronę środowiska [Angon i in., 2023]. W ten kierunek rozwoju rolnictwa i współczesnych społeczeństw wpisuje się pasowa uprawa roli, a zwłaszcza technologia pasowej uprawy roli z jednoczesnym nawożeniem i siewem – strip-till one-pass. Jest ona ważnym elementem agrotechniki pozwalającym realizować założenia rolnictwa konserwującego z wykorzystaniem potencjału polowej produkcji roślinnej [Jaskulska i in., 2020]. Aktualnie technologia ta jest wykorzystywana do uprawy m.in. zbóż [Jaskulska i Jaskulski, 2021] i roślin bobowatych grubonasiennych [Szczepanek i in., 2025]. Podejmowane są również próby siewu mieszanek roślin w pasach spulchnianej gleby [Malcomson i in., 2025] czy dosiewu komponentu strączkowego w międzyrzędzia wegetującej rośliny zbożowej (soja w jęczmieniu ozimym) [Świtek i in., 2024].

2.2. WALORY I MANKAMENTY MIESZANEK

Zainteresowanie praktyki rolniczej uprawą mieszanek roślin jednorocznych, głównie zbożowych oraz zbożowo-strączkowych wynika z ich walorów gospodarczych i środowiskowych. Rośliny przynajmniej dwóch gatunków lub odmian różnią się między sobą w mniejszym lub większym stopniu. Różnice dotyczą cech morfologicznych, fizjologicznych, tempa wzrostu i rozwoju, a także wymagań siedliskowych i agrotechnicznych. Pagès i in. [2014] opisują i ilustrują na przykładzie modelu różnicę w budowie i architekturze systemów korzeniowych pszenicy i grochu. Modele takie pozwalają symulować nie tylko strukturę budowy i rozmieszczenie systemu korzeniowego (korzenie główne, korzenie boczne, wierzchołki korzeni), ale również ich wzrost oraz interakcje z glebą i pedami roślin. Wiedza ta jest niezbędna do poznania zachowania się partnerów w mieszance, jej produktywności i produkcyjności, oddziaływania na środowisko czy efektywności wykorzystania czynników siedliskowych i środków produkcji. Wspólny wysiew roślin nie zawsze bowiem prowadzi do pozytywnych efektów, rodzi także ryzyko oddziaływania niekorzystnego. Hadir i in. [2025] wykazali negatywny wpływ gęstego siewu bobiku z pszenicą na masę korzeni. Dopiero substytucja komponentów w mieszance ujawniła przewagę oddziaływania korzystnego nad konkurencją we wzroście i budowie systemów korzeniowych.

Dobrze i na różną głębokość rozwinięte korzenie roślin wchodzących w skład mieszanki lepiej wykorzystują glebowe zasoby siedliska niż łany roślin monogatunkowych. Systemy korzeniowe poszczególnych komponentów wzajemnie dopełniające się w wypełnieniu niszy glebowej efektywnie wykorzystują zawartą w niej wodę, zwłaszcza w rejonach oraz latach suchych i posusznych. U podłoża tego leżą zjawiska mniejszej konkurencji i wzrastającej komplementarności roślin zróżnicowanych genetycznie i morfologicznie. Nie mniej ważna jest przy tym agrotechnika, jak: nawożenie i ewentualne nawadnianie, obsada i rozmieszczenie roślin na polu, mulczowanie czy sposób uprawy roli [Yin i in.,

2020]. Lepsze wykorzystanie zasobów glebowych, tj. wody i składników pokarmowych, przez rośliny uprawiane w mieszankach niż w siewie czystym potwierdzają wyniki badań Zohry i Samiha [2025]. Autorzy wykazali, że rośliny strączkowe, a zwłaszcza groch, uprawiane z pszenicą nawadniane podobną ilością wody jak roślina zbożowa w siewie jednogatunkowym zwiększyły efektywność wykorzystania wody i plon ziarna. Dla mieszanki grochu z pszenicą osiągnięto największą wartość wskaźników wykorzystania gruntu i wody (land equivalent ratio – LER, water equivalent ratio – WER). Współwystępowanie roślin bobowatych w uprawie pszenicy zwiększyło również zawartość azotu w glebie.

Kluczowym walorem uprawy mieszanek zbóż z roślinami bobowatymi grubonasiennymi jest pozytywny z punktu widzenia rolniczego i środowiskowego wpływ na gospodarkę azotem. Współwystępowanie tych roślin w agroekosystemie poprawia wykorzystanie azotu glebowego i atmosferycznego oraz pozwala zmniejszyć ilość aplikowanych mineralnych nawozów azotowych [Rodriguez i in., 2020]. Autorzy na podstawie meta-analizy danych eksperymentalnych dotyczących gatunków roślin i ich udziału w mieszankach, dawek nawozów, właściwości gleby i niektórych elementów agrotechniki określili ilościowo wpływ uprawy roślin strączkowych ze zbożowymi na symbiotyczne wiązanie N_2 oraz wykorzystanie zasobów azotu w agroekosystemach strefy umiarkowanej. Stwierdzili, że udział azotu symbiotycznego pobranego przez rośliny strączkowe był średnio o 14% większy, gdy uprawiano je w mieszance w porównaniu z siewem czystym. Natomiast pobranie azotu z gleby przez rośliny strączkowe było mniejsze o 47% w mieszankach niż w uprawie jednogatunkowej. Całkowite pobieranie azotu z gleby przez rośliny strączkowe i zboża było istotnie, o 25%, większe niż w siewach czystych roślin bobowatych i podobne jak w zasiewach zbóż. O małym udziale azotu pobieranego z nawozów w plonach roślin bobowatych świadczą wyniki badań Rutkowskiej i Pikuly [2016], które stwierdziły, że udział azotu pochodzącego z nawozów był istotnie większy w zbożach niż w grochu. Roślina strączkowa akumulowała azot z nawozów głównie w organach wegetatywnych – słoma i korzenie. Natomiast zboża transportowały ten składnik przede wszystkim do kłosów – osadka, plewy, ziarno. Udział azotu z nawozów w nasionach grochu wynosił około 15%, a w ziarnie zbóż 54%-60% całkowitej ilości azotu pobranego przez rośliny mieszanki. Zdaniem Thilakarathna i in. [2016] wprowadzenie roślin bobowatych do mieszanki poprawia zaopatrzenie roślin zbożowych w azot. U podłoża tego zjawiska leży transfer azotu w glebie. Występują trzy podstawowe drogi przekazywania azotu z roślin bobowatych do roślin z innych rodzin, tj.: rozkład tkanek organów podziemnych roślin strączkowych i jednocześnie pobieranie uwalnianego w procesie mineralizacji azotu przez korzenie roślin współwystępujących w łanie, wydzielanie do gleby azotu przez korzenie roślin bobowatych i pobieranie go przez inne rośliny w mieszance oraz transfer azotu przy udziale mikoryzy. Autorzy, na podstawie analizy literatury, twierdzą, że wskaźnik transferu azotu z roślin strączkowych do roślin współwystępujących, np. zbożowych, wynosi 0-73%. Szerokie granice ilości przekazywanego azotu wynikają

z wpływu wielu czynników na to zjawisko. Należą do nich uwarunkowania biotyczne, np. faza rozwojowa roślin i ich zagęszczenie w łanie czy odległość korzeni współwystępujących osobników. Równie ważne są czynniki abiotyczne: temperatura, warunki wodne, światło, zasoby azotu mineralnego w glebie, nawożenie. Pozytywny wpływ roślin bobowatych na gospodarkę azotem mieszanek zbożowo-strączkowych sprawia, że ich nawożenie tym składnikiem może być relatywnie małe, a zatem korzystne gospodarczo i bezpieczne dla środowiska. Wcześniejsze doświadczenia polowe w warunkach środowiskowo-agrotechnicznych Polski wskazują, że optymalna dawka azotu mineralnego w agrotechnice takich mieszanek, w tym grochu siewnego z jęczmieniem jarym, wynosi kilkadziesiąt kg N na ha, np. 30 kg N ha⁻¹ [Książak, 2007; Noworolnik, 2010]. Także syntetyczne opracowania wyników badań światowych wskazują na słaby, choć bardzo zmienny w zależności od warunków siedliskowych i agrotechnicznych, wpływ nawożenia azotem na produktywność mieszanek zbożowo-strączkowych. Rysującą się prawidłowością jest natomiast zmniejszanie się udziału nasion roślin bobowatych w łącznym plonie mieszanki wraz ze wzrostem dawki azotu [Pelzer i in., 2014]. Prawidłowość taką stwierdzili również Xiao i in. [2021] nie tylko w odniesieniu do intensywnego nawożenia azotem, ale i fosforem. Zacytowani autorzy wskazują, że plon rośliny zbożowej w mieszance z rośliną strączkową można uzyskać na podobnym poziomie, co w siewie czystym przy zmniejszonej dawce azotu o 40-50% i fosforu o 30-40%. Dowodem na korzystny wpływ uprawy mieszanek zbożowo-strączkowych na gospodarkę fosforem i możliwość redukcji nawożenia tym makroelementem są rezultaty wielu badań opracowanych przez Tang i in. [2021]. Wynika z nich, że w tych uprawach wielogatunkowych nawożenie fosforem może być zmniejszone o 21% w porównaniu z siewami jednogatunkowymi. Uprawa mieszanek, jak twierdzą Gong i in. [2024] na podstawie meta-analizy wyników badań, zwiększa ilość dostępnych form fosforu glebowego i aktywność fosfatazy, odpowiednio o około 15% i 12%, w porównaniu z siewami czystymi gatunków, co w konsekwencji ułatwia pobieranie tego składnika przez rośliny.

Główną zaletą produkcyjną łąnów składających się z roślin o zróżnicowanych genotypach jest pozytywny wpływ tego sposobu uprawy na plony, a przede wszystkim na ich większą stabilność w czasie i przestrzeni. U podstaw tych efektów leżą m.in. lepsze wykorzystanie zasobów siedliska i nakładów środków produkcji oraz poprawa zdrowotności roślin. W konsekwencji rośliny w łąnach mieszanych mają większą wydajność fotosyntezy oraz wartość wskaźników powierzchni liści i efektywności wykorzystania wody. Produkują przez to więcej biomasy i lepiej plonują, choć różnica plonów w stosunku do siewów czystych zależy od gatunku czy odmiany roślin i warunków siedliskowych [Huang i in., 2024]. W wielu przypadkach plon mieszanek jednak nie odbiega pozytywnie od plonów siewów jednogatunkowych, zwłaszcza komponentów o dużej produktywności [Damiran i in., 2025]. Natomiast ich uprawa napotyka często na wiele problemów agrotechnicznych i ekonomicznych [Gou i in., 2016; Bonke i Musshoff,

2020]. W takich przypadkach korzyścią dla rolnika może być poprawa właściwości chemicznych, biologicznych, biochemicznych i ekofizjologicznych gleby decydujących o jej żyzności oraz lepsze stanowisko dla roślin następczych [Płaza i in., 2020]. Zmiany takie zachodzą jednak na ogół relatywnie wolno i dlatego uprawę mieszanek zbożowo-strączkowych należy wprowadzić na stałe do systemu gospodarowania, a nie traktować incydentalnie [Scalise i in., 2015]. Reakcje roślin w mieszance i ich oddziaływanie na środowisko kształtowane są współzależnie przez elementy i zabiegi agrotechniczne. Względny plon komponentów mieszanki zwiększa się np. wraz z wcześniejszym siewem i większą gęstością siewu danego gatunku, a nawożenie azotem na ogół zmniejsza plon roślin bobowatych. Raseduzzaman i Jensen [2017] na podstawie analizy wyników zamieszczonych w 33. opracowaniach naukowych i przyjmując za miarę stabilności plonów malejącą wielkość współczynnika zmienności ocenili stabilizujący wpływ upraw mieszanych na plon. Zmiennymi w badaniach były: komponenty mieszanek, w tym zbożowo-strączkowych; czas trwania eksperymentu; układ komponentów w mieszance (addytywny, substytucyjny) oraz strefy klimatyczne (umiarkowana, subtropikalna, tropikalna). Analiza pozwoliła stwierdzić, że uprawa zbóż z roślinami strączkowymi na nasiona stabilizuje plony ($CV = 22,1\%$) w porównaniu z siewami jednogatunkowymi bobowatych grubonasiennych ($CV = 31,7\%$). Ponadto plony mieszanek w układzie substytucyjnym są mniej zmienne niż w układzie addytywnym i jednocześnie bardziej stabilne od plonów zarówno zbóż, jak i bobowatych. Uprawa roślin w mieszankach zbożowo-strączkowych stabilizuje plon we wszystkich strefach klimatycznych. Stwierdzono również, że plony podlegają mniejszej zmienności, gdy są większe. Korzystny wpływ upraw mieszanych na stabilność plonów nie jest jednak oddziaływaniem bezwzględny, lecz ujawnia się w określonych warunkach. Jak podają Weih i in. [2021] mniejsza zmienność czasowa i przestrzenna plonów mieszanek grochu ze zbożami jest bardziej prawdopodobna w rejonach i latach sprzyjających dużym plonom, natomiast mniej prawdopodobna w warunkach niskich plonów. Z kolei z badań Jevtić i in. [2023] wynika, że przez uprawę mieszanek można zwiększyć stabilność, czyli zmniejszyć zmienność, plonów grochu i zbóż w warunkach dużych zmian klimatycznych oraz nasilonego występowania chorób liści, rdzy i mączniaka prawdziwego.

Uprawa roślin w mieszankach wzmacnia naturalne mechanizmy obrony przed agrofagami i umożliwia redukcję stosowania chemicznych środków ochrony roślin. Altieri i in. [2024] twierdzą, że zdrowotność roślin oraz występowanie szkodników i chwastów w łanie zależą od bioróżnorodności i zróżnicowania genetycznego zbiorowisk, w tym od aktywności mikrobiologicznej gleby. Takie założenie potwierdzają wyniki badań Boudreau [2013] porównujących występowanie chorób liści powodowanych przez grzyby u roślin uprawianych w mieszankach i siewach czystych (ponad 200 lokalizacji). Uprawa współrzędna zmniejszyła występowanie chorób w 73% przypadków. Autor wskazuje, że infekcja i dynamika rozwoju chorób zależą m.in. od zróżnicowania morfologicz-

nego osobników w łanie mieszanym i ich zagęszczenia. Zhang i in. [2019] wykonali meta-analizę badań nad występowaniem chorób zbóż i roślin bobowatych grubonasiennych uprawianych w mieszankach i siewach jednogatunkowych przy różnych dawkach nawożenia azotem. W podsumowaniu autorzy stwierdzili, że uprawa współrzędna zmniejszyła istotnie obecność patogenów: mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis*) i rdzy żółtej (*Puccinia striiformis f.sp. tritici*) u pszenicy oraz wędgnięcia fuzaryjnego (*Fusarium oxysporum*) i czekoladowej plamistości (*Botrytis fabae*) u bobiku, a także w mniejszym stopniu rdzy żółtej (*Puccinia striiformis f.sp. hordei*) u jęczmienia. Mniejsze nasilenie występowania mączniaka prawdziwego na pszenicy w mieszance niż w siewie czystym miało miejsce również u roślin intensywnie nawożonych azotem. Luo i in. [2025] stwierdzili wzrost porażenia bobiku przez kompleks chorób tej rośliny w warunkach intensywnego nawożenia mieszanki azotem. Jednak i w takich warunkach agrotechnicznych wspólny siew rośliny bobowatej i zbożowej poprawił ich zdrowotność. Wcześniejsze prace wskazują także na lepszy stan fitosanitarny grochu w mieszankach ze zbożami niż w siewie czystym w odniesieniu do występowania askochytozy (*Ascochyta* spp.) na łodygach i strąkach [Schoeny i in., 2010] oraz askochytozy i mączniaka prawdziwego (*Erysiphe pisi*) na liściach [Živanov i in., 2014]. Natomiast z bardziej współczesnych badań [Cadot i in., 2023] wynika, że korzenie grochu w uprawie z jęczmieniem, z wyjątkiem niektórych odmian rośliny bobowatej, mogą być zasiedlone przez większą liczbę grzybów chorobotwórczych niż w siewie czystym.

Uprawa roślin w mieszankach to również sposób na ograniczenie występowania szkodników. Jak podają Mir i in. [2022] skutecznym jest lokowanie chronionej rośliny uprawnej między drzewami, krzewami, roślinami odstraszającymi lub wabiącymi szkodniki. Ważny w uprawie mieszanej jest także efekt bariery, czyli utrudnienie żerowania na kolejnych osobnikach danego gatunku przez współwystępowanie roślin innego gatunku oraz tworzące się korzystne warunki w łanie mieszanym dla naturalnych wrogów szkodnika. Obecnie coraz większą uwagę zwraca się na rolę lotnych związków organicznych w odstraszaniu szkodników roślin uprawnych i/lub wabieniu ich naturalnych wrogów oraz zapylaczy. Odnosi się to również do upraw mieszanych z udziałem roślin bobowatych grubonasiennych [Lamzira i in., 2025]. Z kolei w strategii niechemicznego ograniczania zachwaszczenia mieszanek z udziałem roślin strączkowych wykorzystuje się, zgodnie ze schematem addytywnym ich tworzenia, dodatek rośliny zbożowej [Ouellette i Ouellette, 2024]. W uprawach mieszanych nakierowanych na redukcję zachwaszczenia bez udziału lub z ograniczonym użyciem chemicznych środków ochrony roślin bardzo ważny jest dobór komponentów o określonym rozwoju w czasie i przestrzeni zdolnych do silnej presji na chwasty [Weeraratne i in., 2017], co może zagwarantować nawet 100% skuteczność ich zwalczania.

Liczne produkcyjne i środowiskowe walory mieszanek wynikają z bezpośredniego i pośredniego wpływu ich uprawy na bioróżnorodność w agroekosystemach. Z anglojęzycznej definicji zasiewów mieszanych wynika, że polegają

one na występowaniu nie jednego genotypu, ale dwóch lub większej liczby gatunków/odmian roślin w danym miejscu i czasie. Ponadto roślinom, części podziemnej i nadziemnej, towarzyszą inne organizmy [Brandmeier i in., 2023; Ji i in., 2024]. Ta bioróżnorodność jest właściwa szczególnie mieszanekom zbożowo-strączkowym, wpływając na stopień wykorzystania przez rośliny naturalnych zasobów siedliska i aplikowanych środków produkcji [Maitra i Ray, 2019]. Uprawa mieszanek i związana z nią bioróżnorodność jest przez to postrzegana we współczesnym rolnictwie jako podstawowy sposób na zachowanie równowagi biologicznej w agroekosystemach, niezbędnej także do ochrony roślin uprawnych przed masową inwazją agrofagów i utrzymywania ich populacji na bezpiecznym poziomie [Mała i in., 2020]. Wspólna uprawa zróżnicowanych genetycznie i fenotypowo roślin może dosłownie prowadzić do wzajemnego wspierania się podczas wegetacji i ograniczać wyleganie, zwłaszcza roślin wiotko łodygowych, np. grochu [Podgórska-Lesiak i Sobkowicz, 2013]. Różnorodne rośliny w łanie gwarantują otrzymanie zróżnicowanego, wieloskładnikowego plonu. Jego przewaga nad plonem jednorodnym wynika z szerokiego składu chemicznego oraz walorów sensorycznych, co jest istotnym elementem wartości paszowej czy konsumpcyjnej [Soufan i Al-Suhaibani, 2021; Dvořák i in., 2022]. Korzystny wpływ uprawy roślin w mieszance na jakość plonu może dotyczyć zarówno plonu łącznego, jak i jego poszczególnych komponentów.

Uprawa mieszanek, mimo wielu niekwestionowanych zalet gospodarczych i środowiskowych, ma również liczne mankamenty i napotyka na trudności we wdrożeniu do praktyki rolniczej. Są to m.in.: wybór gatunków i optymalnych odmian, ograniczanie występowania agrofagów, synchronizacja zabiegów agrotechnicznych, a także uwarunkowania ekonomiczne: towarowość plonu, koszty uprawy, cena produktu. Trudne do wyceny są także usługi ekosystemowe płynące z upraw mieszanych. Ograniczenia związane z uprawą mieszanek są właściwe zarówno dla europejskiego, jak i światowego rolnictwa. Huss i in. [2022] na podstawie analizy wyników 24. wcześniejszych badań wskazują bariery i zagrożenia dla wdrażania uprawy mieszanek w celu ograniczania występowania agrofagów i zwiększania odporności upraw na zmiany klimatu. Jako podstawowe ryzyka wymienione są: zwiększone zapotrzebowanie na pracę, złożona agrotechnika, niebezpieczeństwo utraty plonu w wyniku konkurencji, prawdopodobieństwo gradacji szkodników, niepewny zysk. Dużym problemem agrotechnicznym jest dostosowanie elementów, zabiegów i czynności agrotechnicznych właściwych dla wszystkich komponentów wchodzących w skład mieszanki. Dotyczy to m.in. wyboru stanowiska i przedplonu, siewu, pielęgnacji i zbioru [Himanen i in., 2016]. Uprawa wielogatunkowych mieszanek jest też trudna w odniesieniu do pełnej mechanizacji prac, zwłaszcza w gospodarstwach prowadzących intensywną produkcję na dużych powierzchniach [Hong i in., 2020]. Mamine i Farès [2020] w oparciu o analizę europejskich uwarunkowań wskazują bariery rozwoju upraw mieszanych na przykładzie mieszanki grochu z pszenicą. Są to: brak wyspecjalizowanych dostawców środków produkcji przeznaczonych

do takich upraw (np. materiał siewny, nawozy, środki ochrony roślin); brak specjalistycznego doradztwa technicznego i agrotechnicznego, w tym z zakresu ochrony roślin; kłopoty przy wyborze odmian roślin komponentów mieszanki; niestabilność plonów jako konsekwencja niewłaściwego wdrażania wyników badań, postępu biologicznego i technicznego do praktyki rolniczej; zmienny udział komponentów w plonie w stosunku do założeń agrotechnicznych siewu; wysokie koszty produkcji wynikające z zakupu niektórych wyspecjalizowanych środków produkcji i konieczności stosowania dodatkowych zabiegów, np. rozdział plonu na jego komponenty; trudności techniczne przy zbiorze, sortowaniu i przechowywaniu plonów; brak rynku plonów mieszanek; mało konkurencyjne ceny na płody pochodzące w siewów mieszanych; trudności z wyceną usług ekosystemowych – korzystnego wpływu uprawy mieszanek na środowisko, w tym glebę.

2.3. MIESZANKI ZBÓŻ I BOBOWATYCH GRUBONASIENNYCH

Powszechnie uprawiane mieszanki roślin jednorocznych różnią się przede wszystkim składem gatunkowym. Do najpopularniejszych, oprócz mieszanek zbożowych, należą mieszanki zbożowo-strączkowe. Skład gatunkowy takich mieszanek zależy w dużym stopniu od warunków siedliskowych ich uprawy, a zwłaszcza możliwości zimowania roślin. W Europie północno-zachodniej do mieszanek wykorzystywane są głównie formy ozime. Na przykład w Belgii [Landschoot i in., 2024] badano potencjał plonowania mieszanek jęczmienia ozimego z grochem ozimym, pszenicy ozimej z bobikiem ozimym oraz ozimych form pszenżyta z bobikiem. Natomiast w wielopunktowych doświadczeniach zlokalizowanych w zachodniej i południowej Francji oraz w Danii do mieszanek używa się zarówno ozimych, jak również jarych form zbóż i roślin bobowatych [Bedoussac i in., 2018].

W Polsce w uprawie mieszanek jednorocznych dominują formy jare roślin. Dotyczy to zarówno mieszanek zbożowych, jak i zbożowo-strączkowych uprawianych na nasiona. Duże zróżnicowanie genetyczne w obrębie tych dwóch grup użytkowych roślin (gatunki, odmiany) sprawia, że możliwy jest optymalny dobór komponentów do mieszanki niezależnie od występujących warunków siedliskowych i stosowanej agrotechniki. Składniki mieszanki powinny być zbliżone pod względem niektórych cech morfologicznych oraz tempa wzrostu i długości okresu wegetacji. Szczególnie ważna jest synchronizacja takich cech jak: wymagania klimatyczne, w tym termiczne wpływające na termin siewu, a także glebowe; wysokość roślin; termin dojrzewania do zbioru [Szempliński i Budzyński, 2011; Książak, 2017]. Spośród roślin bobowatych grubonasiennych częstym komponentem mieszanek jest groch siewny. Duże zróżnicowanie genetyczne odmian tego gatunku pozwala na jego uprawę zarówno ze zbożami o dużych wymaganiach glebowych i niższych jak pszenica i jęczmień, jak i o mniejszych wymaganiach a zarazem wyższych, np. owies, pszenżyto. Do uprawy z pszenżytem, pszenicą i owsem wskazane są odmiany o dłuższym pędzie, a do mieszanek

z jęczmieniem odmiany niskie. Dobrymi komponentami mieszanek zbożowo-strączkowych są również łubiny, wąskolistny i żółty. Łubin wąskolistny ma większy potencjał plonowania, ale i większe wymagania glebowe od łubinu żółtego. Dobrze komponuje się z jęczmieniem i wczesnymi odmianami innych zbóż jarych. Łubin żółty ma małe wymagania glebowe i najczęściej występuje w mieszankach z jarami odmianami pszenżyta i żyta, a na glebach dostatecznie wilgotnych także z owsem. W korzystnych warunkach wodnych i jednocześnie na glebach żyznych dobrym komponentem mieszanek zbożowo-strączkowych jest bobik. Z racji relatywnie długiego okresu wegetacji zalecany jest do mieszanek z pszenżytem jarym i późnymi odmianami pszenicy [Tratwal i in., 2018].

Istotna rola doboru komponentów, zwłaszcza roślin bobowatych, w agrotechnice mieszanek zbożowo-strączkowych sprawia, że prowadzonych jest wiele badań w tym zakresie, tak w Polsce, jak i na świecie. Szczególną uwagę poświęca się grochowi, roślinie plastycznej, o dużych zdolnościach adaptacji do warunków środowiskowych i agrotechnicznych, a także wartościowej pod względem pastewnym i konsumpcyjnym [Karkanis i in., 2016; Wiśniewska i in., 2020; Wu i in., 2023]. Krga i in. [2019] wskazują na możliwość i uwarunkowania uprawy grochu w typie dawnej peluszkii z owsem. Autorzy podkreślają małe wymagania glebowe roślin takiej mieszanki, a jednocześnie dużą wartość paszową plonu oraz pozytywne oddziaływanie na środowisko. Według nich efekty uprawy mieszanki zależą nie tylko od doboru gatunków i udziału grochu, ale także od jego odmiany. Istotny wpływ proporcji rośliny bobowatej i zbożowej oraz wyboru nowo wyhodowanych odmian grochu na plon biomasy i nasion jego mieszanek z owsem uprawianych w systemie ekologicznym podkreślają Šarūnaitė i in. [2022]. Z kolei na istotną rolę odmiany zarówno grochu, jak i pszenicy w kształtowaniu produktywności mieszanki, plonu i jego komponentów wskazują wyniki badań Pankou i in. [2022]. Groch, odmian o większych wymaganiach glebowych, jest często wysiewany łącznie z pszenicą. Dlatego wiele badań polowych nakierowanych jest na poznanie produktywności takich mieszanek i wzajemnych oddziaływań roślin w łanie. Barillot i in. [2014] zwrócili uwagę, że architektura łanu mieszanki, w tym liczba i długość pędów oraz ich rozgałęzianie determinują warunki świetlne i konkurencję między grochem i pszenicą. Architektura łanu mieszanego powinna być więc jednym z kryteriów hodowli i doboru roślin do mieszanek. Osiągnięcie maksymalnego plonu mieszanki, jak wykazali Vályi-Nagy i in. [2023], jest możliwe nie tylko poprzez dobór odpowiednich odmian roślin, ale i optymalny udział komponentów w materiale siewnym. Parametry siewu kształtują bowiem produktywność roślin, ich elementy plonowania, plon poszczególnych składników i łączny plon mieszanki. W agrotechnice siewów mieszanek nie mniej ważne jest nawożenie azotem, które wpływa na produktywność roślin i różnicuje reakcję komponentów przy różnym udziale bobowatych i zbożowych w mieszance [Abd-Rabboh i Moahmed Koriem, 2022]. Groch siewny uprawiany jest również w mieszance z pszenżytem jarym. Jak wskazują wyniki badań Płazy i Górskiego [2024] mieszanka taka przy optymalnym udziale komponentów (75% + 25% lub 50% + 50%) może być sposobem na zwiększenie

plonu suchej masy oraz zawartość białka ogólnego i niektórych aminokwasów w paszy w porównaniu z siewem czystym rośliny zbożowej i bobowatej.

Jednym z najczęściej stosowanych komponentów zbożowych w mieszankach z grochem siewnym jest jęczmień jary. Pastewny charakter obu gatunków, zwłaszcza ich ziarna i nasion, ułatwia paszowe wykorzystanie plonu ze wspólnych zasiewów [Figura, 2017; Bojarszczuk i Ksieżak, 2018]. Kompozycja mieszanki wymaga jednak starannego doboru odmiany rośliny bobowatej ze względu na stosunkowo małą wysokość roślin jęczmienia. Dlatego aktualnie realizowane są projekty mające na celu hodowlę odmian przystosowanych do uprawy w mieszankach. W wyniku wstępnych prac zidentyfikowano silną korelację niektórych cech roślin grochu, np. wigor siewek, termin początku kwitnienia, biomasa pędów, długość przylistków z plonem mieszanki. Cechy te mogą więc służyć do selekcji genotypów o potencjalnym przeznaczeniu do uprawy w mieszankach [Haug i in., 2023]. Wielkości i stabilności plonów mieszanki groch-jęczmień oraz optymalizacji jej oddziaływania na środowisko służy również doskonalenie zasad agrotechniki w różnych warunkach siedliskowych w zakresie m.in.: wyboru przedplonu i stanowiska, terminu siewu, gęstości siewu i proporcji komponentów w materiale siewnym, nawożenia [Launay i in., 2009]. Plastyczność środowiskowa oraz agrotechniczna mieszanek z udziałem grochu i jęczmienia sprawia, że są one badane, a następnie wdrażane do uprawy w różnych rejonach geograficznych i systemach rolnictwa o zróżnicowanym poziomie intensywności [Ksieżak i in., 2023; Vonzun i in., 2024; Zakirullah i in. 2024].

W mieszankach, w tym grochu z jęczmieniem, występuje oddziaływanie między ich składnikami. Komponenty uprawne wpływają również na rośliny segetalne. Znajomość tych interakcji pozwala regulować zachwaszczenie. Jak wykazali Bailey-Elkin i in. [2021] dodatek zbóż, m.in. jęczmienia jarego, czy gorczycy (*Brassica juncea* L.) do ładu grochu może wpływać negatywnie na jego plon, ale ogranicza istotnie zachwaszczenie. W cytowanych badaniach współwystępowanie jęczmienia, owsa lub gorczycy w łanie grochu zmniejszyło masę chwastów w fazie dojrzewania roślin o 17%-44%. Łan roślin zróżnicowanych genetycznie może być także skutecznym sposobem ograniczania występowania chorób. Jest to efektem tzw. „bariery”, czyli większej odległości między osobnikami o tym samym genotypie (gatunek, odmiana) w mieszance niż w siewie czystym. Potwierdzają to m.in. wyniki badań Villegas-Fernández i in. [2021], w których porażenie grochu w mieszance z jęczmieniem przez mączniaka prawdziwego było istotnie mniejsze niż w siewie czystym rośliny bobowatej. Poprawa zdrowotności grochu zależała jednak od genotypu roślin współwystępujących (odmiany podatne i odporne grochu, bobik, jęczmień, pszenica). Nie stwierdzono bowiem mniejszego porażenia grochu mączniakiem w mieszance z pszenicą. Efekt bariery zależy również od gęstości ładu. Dlatego istotnym elementem mieszanek jest obsada roślin i proporcja liczebności ich komponentów. W badaniach ocenia się często wiele poziomów tego czynnika przyjmując wartości skrajne (brak współwystępującego gatunku – siew czysty) poprzez udział,

np.: 20%, 25%, 33%, 50%, 66%, 75%, 80%. Takie zróżnicowanie składu mieszanki daje duże możliwości oszacowania jej reakcji i reakcji komponentów na warunki siedliskowe oraz elementy agrotechniki, np. jakość gleby czy nawożenie azotem. Potwierdzili to m.in. Tavoletti i in. [2023] wykazując, że zwiększenie gęstości siewu grochu i tym samym zmniejszenie udziału jęczmienia w mieszance oraz dostosowanie nawożenia azotem jest skutecznym sposobem uzyskania maksymalnego i dobrze zbilansowanego plonu, tzn. optymalnego stosunku nasion do ziarna. Konieczność prowadzenia badań w tym zakresie na szeroką skalę, w zróżnicowanych warunkach, potwierdzają wyniki prac Pötzsch i in. [2019]. Autorzy stwierdzili, że nawet w dwuletnich eksperymentach polowych realizowanych w kilku lokalizacjach optymalny dla uzyskania maksymalnego plonu względny udział grochu siewnego w mieszance z jęczmieniem jarym wynosił od 42% do 88% i nie był zależny od dostępności azotu w glebie. Nawożenie azotem jest jednak kluczowym elementem agrotechniki mieszanek zbożowo-strączkowych, w tym jęczmienia z grochem. Obecność roślin bobowatych w łanie z ich zdolnością do wiązania azotu atmosferycznego pozwala zakładać lepsze wykorzystanie tego składnika z gleby i nawozów przez uprawy mieszane niż siewy czyste, jednogatunkowe, co prowadzi do większych plonów i większej zawartości w nich białka. Duże dawki azotu mineralnego mogą jednak wpływać niekorzystnie zarówno na plon grochu w mieszance, jak i zawartość białka w nasionach, mimo wzrostu tych parametrów u współwystępującego jęczmienia [Cowden i in., 2020]. Oddziaływanie nawożenia azotem i azotu glebowego na komponenty mieszanki, jak i na mieszankę jako uprawę zależy od interakcji czynników siedliska oraz elementów agrotechniki [Bahia i in., 2025; Qiu i in., 2025]. Dlatego agrotechnika mieszanek grochu z jęczmieniem jest ciągle doskonała. Aktualnie szczególną uwagę poświęca się aplikacji biopreparatów i innych niechemicznych środków produkcji wobec proekologicznego charakteru tego sposobu uprawy roślin [Pavlenko i in., 2025]. Według Mazurenko i in. [2025] zastosowanie biostymulatorów działa antystresowo i stymuluje ryzosferę roślin, czego skutkiem w eksperymentach polowych była większa liczba i masa ziaren w kłosie jęczmienia, większa liczba i masa nasion z rośliny grochu oraz większa masa tysiąca jego nasion.

2.4. INTERAKCJE W ZASIEWACH MIESZANYCH

Interakcje między organizmami mogą mieć charakter bezpośredni i pośredni, a efekt tych oddziaływań dla poszczególnych osobników w nich uczestniczących jest pozytywny, negatywny lub neutralny. W interakcji bezpośredniej jeden osobnik wpływa na drugiego bez udziału innych organizmów, natomiast w pośredniej za ich pośrednictwem. W zbiorowiskach roślin w agroekosystemach mogą występować różne typy oddziaływań ekologicznych, jak: neutralizm, mutualizm, komensalizm, amensalizm, konkurencja. Tylko w efekcie neutrali-

zmu brak jest jakichkolwiek skutków, negatywnych czy pozytywnych, wzajemnego współwystępowania organizmów. Jeżeli wszyscy partnerzy oddziaływania czerpią z niego korzyści, to występuje mutualizm, np. rośliny bobowate i bakterie brodawkowe. Jeżeli skutki pozytywne dotyczą tylko jednego partnera, bez wpływu na drugi, to zachodzi komensalizm. Z kolei amensalizm ma miejsce, gdy jeden z organizmów wzajemnej interakcji ponosi stratę, a dla drugiego relacja ta jest obojętna. Powszechnym rodzajem oddziaływania w zbiorowiskach mieszanych jest konkurencja, czyli współzawodnictwo o te same zasoby siedliska. Obie konkurujące strony ponoszą straty, gdyż albo zasoby są ograniczone, albo konkurenci utrudniają sobie ich wykorzystanie. Jeżeli między osobnikami różnych gatunków dochodzi do wzajemnego ograniczania, to produktywność czy plony każdego z nich będą mniejsze niż w warunkach bez osobników towarzyszących. Przeciwnie, gdy zachodzi typowy mutualizm, plon każdego gatunku będzie większy niż bez roślin współwystępujących. Często w zasiewach mieszanych jeden gatunek roślin plonuje gorzej niż w siewie czystym, a drugi lepiej i dochodzi do zjawiska kompensacji plonu. Zjawisko to ma miejsce, zwłaszcza gdy rośliny współwystępujących gatunków różnią się pod względem możliwości wykorzystania zasobów siedliska, tj.: wody, składników pokarmowych, światła [Moon i in., 2010; Chitraputhirapillai i in., 2022]. W przypadku, gdy wszystkie osobniki lub osobniki określonego gatunku w łąnie wielogatunkowym pozyskują taką samą ilość zasobów i żaden komponent nie osiąga dominacji konkurencyjnej ma miejsce konkurencja symetryczna. Skutki takiego współzawodnictwa są takie same dla wszystkich konkurentów, a zasoby są równo dzielone między nimi. Przy nierównym dostępie do zasobów i ich nieproporcjonalnym podziale występuje konkurencja asymetryczna. W odniesieniu do osobników oznacza to, że niektóre z nich pozyskują więcej zasobów niż inne i osiągają przewagę konkurencyjną. Konkurencja asymetryczna między gatunkami oznacza, że osobniki jednego gatunku są w stanie zdominować dostęp do zasobów i uczynić je ograniczonymi dla osobników drugiego gatunku. Gatunek taki (agresywny) uzyskuje wówczas przewagę w zbiorowisku, np. w mieszanke [Freckleton i Watkinson, 2001].

W mieszanke współzawodniczą o te same zasoby, jak: światło, przestrzeń życiowa, woda, składniki pokarmowe rośliny tego samego gatunku – konkurencja wewnątrzgatunkowa lub osobniki różnych współwystępujących gatunków – oddziaływanie międzygatunkowe. Skutkiem konkurencji wewnątrzgatunkowej może być zmniejszenia rozmiarów osobników i ich organów, a nawet wypadanie ze zbiorowiska. Prowadzi to do zmniejszenia obsady roślin i jest podstawą zjawiska samoregulacji łąnów monogatunkowych. Konkurencja wewnątrzgatunkowa jest na ogół silniejsza od konkurencji międzygatunkowej, co potwierdzają wyniki wielu badań naukowych. Na przykład w 67% przypadków, ze zbioru ponad 5400 opracowań, wykazano, że pomiędzy parami współzawodniczących gatunków roślin wystąpiła typowa konkurencja międzygatunkowa z negatywnymi skutkami u obu komponentów, ale konkurencja wewnątrzgatunkowa była 4-5 razy silniejsza niż międzygatunkowa. W 93% pozostałych przypadków miała

miejsce konkurencja wewnątrzgatunkowa i jednocześnie korzystne oddziaływanie międzygatunkowe, co stabilizowało mieszanek [Adler i in., 2018]. Poznanie oddziaływań międzygatunkowych jest szczególnie istotne dla komponowania mieszanek roślin uprawnych, w tym zbóż i bobowatych grubonasiennych. Dlatego badania nad ich optymalizacją, zwłaszcza eksperymentalne, są prowadzone na całym świecie. Pozwoliły one zidentyfikować korzystny wpływ np. wspólnej uprawy jęczmienia oraz roślin bobowatych na produkcję biomasy (oddziaływanie międzygatunkowe), którego nie było w mieszance odmian rośliny zbożowej – konkurencja wewnątrzgatunkowa [Darch i in., 2018]. Wang i in. [2024a] wykazali natomiast, że w zasiewach mieszanych owies jest bardziej konkurencyjny i dominujący niż wyka siewna. Jednak siła konkurencji międzygatunkowej zależy od elementów agrotechniki, w tym przypadku od gęstości siewu i obsady roślin. Badania w obrębie tej problematyki były i są prowadzone również w ośrodkach krajowych [Sobkowicz, 2003], w tym w odniesieniu do mieszanek zbożowo-strączkowych [Rudnicki i Kotwica, 2007; Liszka-Podkowa, 2009; Gałęzewski, 2020].

W konkurencji roślin biorą udział zarówno organy podziemne, jak i nadziemne, co potwierdzają wyniki licznych prac naukowych oraz obserwacje ekologiczne i agroekosystemów. Są to badania trudne i ciągle pogłębiane w zakresie ich obszaru i metodologii. Przykłady opracowań nieodległych czasowo, datowanych już na XXI w., dotyczą m.in.: metodyki badań konkurencji podziemnej i nadziemnej, związków między tymi dwoma rodzajami współzawodnictwa, reakcji poszczególnych organów roślin na wpływ osobników konkurujących o czynniki abiotyczne i biotyczne siedliska. W zaawansowanych pracach eksperymentalnych dąży się do oddzielenia części pędowej od korzeniowej roślin oraz oceny przebiegu i skutków konkurencji w obrębie różnych ich organów. Próbuje się określać korelację zmian budowy i funkcjonowania systemu korzeniowego ze zmianami cech ulistnienia pędów w zróżnicowanych warunkach wodnych symulujących konkurencję o ten zasób czy reakcję części podziemnej roślin na konkurencję o światło ich części nadziemnych [McPhee i Aarssen, 2001; Asefa i in., 2022; Gottlieb i Gruntman, 2022]. Analiza wyników wielu badań potwierdziła ogólną wiedzę ekologiczną i agroekologiczną, że skutki konkurencji korzeni są silniejsze niż pędów nadziemnych. Prawidłowość ta występuje głównie w sytuacji ograniczonych zasobów oraz gdy w konkurencji uczestniczą rośliny użytkowe i segetalne, co potwierdza obserwowaną w praktyce rolniczej przewagę chwastów nad roślinami uprawnymi. Rozpatrując powyższe wyniki metodycznie, stwierdzono silniejsze skutki konkurencji w doświadczeniach w układzie addytywnym niż w eksperymentach w układzie substytucyjnym [Kiær i in., 2013]. Według Paul i in. [2025] konkurencja podziemna może zachodzić już w pierwszych fazach rozwoju i na ogół narasta wraz z jego zaawansowaniem. Pszenica, roślina o większym potencjale konkurencyjnym niż bobik, wschodziła lepiej w mieszance z rośliną bobowatą niż w siewie czystym (większa obsada roślin) bez istotnego wpływu na bobik. W późniejszych fazach rozwoju roślina strączkowa została jednak zdominowana (produkcja biomasy) przez pszenicę jarą.

Wiedza dotycząca efektów konkurencji, zwłaszcza podziemnej, w zależności od budowy i funkcjonowania systemów korzeniowych, a także informacje o właściwościach gleby pozwalają optymalizować zarządzanie uprawami czyniąc je bardziej odpornymi na zmiany klimatyczne i bezpieczniejszymi dla środowiska [Luo i in., 2024]. Należy poznać i ocenić m.in. przestrzenne rozmieszczenie korzeni, zmienność ich zasięgu, zmiany nisz gatunków wchodzących w skład mieszanki, oddziaływania w ryzosferze. Wiedza taka tłumaczy komplementarność i konkurencję gatunków oraz wskazuje kierunki dalszych prac hodowlanych i agrotechnicznych. Homulle i in. [2022] na podstawie przeglądu wyników wielu badań dotyczących interakcji podziemnych w zasiewach mieszanych podają cechy korzeni, które wpływają korzystnie na funkcjonowanie roślin w mieszankach. Są to m.in.: czasowa i przestrzenna zmienność rozmieszczenia w glebie, udział korzeni drobnych i włosników, zdolność pobierania składników pokarmowych i ich różnych form, zdolność wydzielania enzymów umożliwiających pobieranie, np. fosforu, ze związków trudno rozpuszczalnych, eksudacja związków toksycznych i/lub odstraszaających wpływających na agrofagi, zdolność do mikoryzy.

Interakcja mikroorganizmów z korzeniami jest szczególnie ważna u roślin bobowatych, które mają zdolność nawiązywania symbiozy z bakteriami diazotroficznymi, nazywanymi ogólnie ryzobia (*Rhizobium*). Związek roślina-bakteria inicjowany jest sygnałami pochodzącymi od obu partnerów. Rośliny bobowate wytwarzają kompleks związków flawonoidowych, które pobudzają bakterie do wydzielania cząsteczek nazywanych czynnikami Nod. Efektem morfologicznym nawiązanej symbiozy są brodawki korzeniowe, a fizjologicznym biologiczne wiązanie azotu atmosferycznego. W brodawkach oprócz *Rhizobium* obecne są również inne bakterie endofityczne. Ich rola, nie do końca poznana, wiązana jest z wpływem na symbiozę bakterii *Rhizobium* z roślinami bobowatymi oraz z korzystnym oddziaływaniem na zdrowotność i wzrost roślin. Powyższe właściwości roślin bobowatych, w tym grubonasiennych, wynikające z symbiozy z mikroorganizmami dają im istotną przewagę ekologiczną w mieszankach, zwłaszcza z gatunkami nie należącymi do rodziny *Fabaceae* [Peix i in., 2015; Stambulska i Bayliak, 2020]. Rośliny te dzięki symbiozie z bakteriami *Rhizobium*, towarzyszącemu im bogatemu mikrobiomowi glebowemu i poprawie wielu właściwości gleby, np. dostępności fosforu, wpływają korzystnie na rośliny gatunków współwystępujących w mieszankach [Mouradi i in., 2018]. Synergistyczne oddziaływanie roślin strączkowych współżyjących z bakteriami brodawkowymi oraz mikroorganizmy ryzosferowe przez nie promowane, a stymulujące wzrost roślin, są warunkiem wysokich i stabilnych plonów mieszanek, zwłaszcza w warunkach stresowych – niedobór wody i składników pokarmowych [Chamkhi i in., 2022]. Bakterie *Rhizobium* i zjawisko symbiozy mogą być jednak ograniczane przez stresowy poziom czynników siedliskowych i agrotechnicznych: niedobór wody, temperatura, zasolenie, kwasowość, zasadowość, dawki nawozów i środków ochrony roślin [Shankar i in., 2020], a także wydzieliny korzeniowe, ekstrakty roślinne, związki wypłukiwane czy pochodzące z rozkładających się tkanek roślin [Kato-Noguchi, 2022].

Zjawisko wydzielania związków chemicznych przez roślinę donora i bezpośredni lub pośredni ich wpływ na roślinę współwystępującą, tzn. akceptora nazywany jest allelopatią. Związki allelopatyczne są najczęściej metabolitami wtórnymi roślin, np. alkaloidy, glikozydy, kwasy organiczne, związki lotne, a wydzielane do środowiska mają istotny wpływ na interakcje zachodzące w ekosystemach, również rolniczych [Han i in., 2024]. W agroekosystemach allelopatia powoduje liczne interakcje między roślinami uprawnymi oraz roślinami uprawnymi a chwastami, często przy udziale mikroorganizmów, zwłaszcza glebowych. Allelozwiązki odgrywają istotną rolę w reakcji roślin na przedplon i pozostałości roślinne w stanowisku zmianowania. Uwalniane przez żywe rośliny i z resztek pozbiorowych czy mulczu ograniczają zachwaszczenie oraz występowanie chorób i szkodników [Scavo i in., 2018]. Oddziaływania allelopatyczne występują również między roślinami w zasiewach mieszanych. Zahamowanie wzrostu rośliny akceptora, rzadziej stymulacja, jest jego reakcją na bezpośrednie oddziaływanie związków allelopatycznych rośliny donora. Może wynikać także ze zmian właściwości gleby, głównie związanych z obecnością i aktywnością mikroorganizmów oraz agrofagów modyfikowanych przez allelopatyny [Cheng i Cheng, 2015; Cotrut 2018]. Potencjał allelopatyczny donora zależy m.in. od rodzaju i stężenia allelozwiązków czy wrażliwości rośliny akceptora. Posiada go wiele gatunków roślin uprawnych. Jest on zidentyfikowany zarówno u zbóż, jak i roślin bobowatych, w tym grubonasiennych. González-García i in. [2025] stwierdzili aktywność allelopatyczną ryżu, pszenicy i jęczmienia. Z kolei Bouhaouel i in. [2015] wskazują na zdolność eksudatu korzeni jęczmienia do hamowania początkowego wzrostu nie tylko innych roślin, ale również autotoksycację. Podobną właściwość, hamowania kiełkowania i wzrostu pszenicy, przez wodne ekstrakty z grochu zidentyfikowali Rateb i in. [2025]. Potencjał allelopatyczny jest właściwy różnym gatunkom roślin bobowatych grubo- i drobnonasiennych [Mondal i in., 2015]. Oddziaływania na drodze chemicznej występują również w mieszanekach zbożowo-strączkowych [Makoi i Ndakidemi, 2012], co wynika, jak wykazano wyżej, z obecności związków allelopatycznych w biomasie zbóż roślin bobowatych.

2.5. OCENA ODDZIAŁYWAŃ

Efektem konkurencji i innych interakcji mających miejsce w łąkach mieszanych są zmiany cech morfologicznych, składu chemicznego i produktywności roślin poszczególnych gatunków w stosunku do tych wielkości właściwych roślinom nie narażonych na oddziaływanie osobników współwystępujących. Najprostszym sposobem identyfikacji wpływu komponenta mieszanki jest ocena wielkości poszczególnych cech roślin bez jego obecności i z jego udziałem. Oceny podlegają zarówno części podziemne, jak i organy nadziemne. U zbóż powszechnie oznaczanymi cechami są: świeża/sucha masa pędów i korzeni, długość źdźbła/wysokość roślin, rozkrzewienie, obsada kłosów/wiech, liczba ziaren

w owocostanie, masa ziarna z kłosa/wiechy, plon ziarna. Cechy biometryczne roślin bobowatych grubonasiennych to m.in.: masa organów i całej rośliny, długość pędu, liczba rozgałęzień pędu, liczba strąków na roślinie, liczba i masa nasion w strąku, plon nasion. U obu grup roślin analizuje się również skład chemiczny poszczególnych organów i całych roślin w różnych fazach rozwojowych. Określona zostaje zawartość makro- i mikroskładników. Istotną i częstą jest ocena zawartości białka i innych kluczowych związków organicznych decydujących o wartości paszowej, co pozwala wyliczyć ich plon [Rudnicki i Gałęzewski, 2008; Wanic i in., 2017].

Podstawową miarą używaną już od połowy XX w. do oceny konkurencji roślin uprawianych w mieszankach jest plon względny (ang. relative yield, RY) [Meena i in., 2025], którego algorytm posłużył również do wyprowadzenia formuły wielu innych wskaźników. Jego istotę wyjaśnia Sobkowicz [2001] w oparciu o wcześniejsze opracowania autorskie. Plon względny jest stosunkiem np. plonu ziarna/nasion danego gatunku uzyskanego w mieszance do wielkości tej cechy w siewie czystym, jednogatunkowym. Plon względny można określać także dla innych cech, np. plonu masy roślinnej czy plonu białka lub skrobi. Suma plonów względnych poszczególnych komponentów wchodzących w skład mieszanki stanowi całkowity plon względny (ang. relative yield total, RYT). Jeżeli dwa gatunki roślin w mieszance ze sobą nie konkurują, to RY pierwszego i drugiego wynosi dokładnie 1,0, a $RYT = 2,0$. Wielkość RYT wynosząca między 2,0 a 1,0 wskazuje na częściową komplementarność i konkurencję o zasoby. Natomiast RYT równy 1,0 wskazuje na pełną konkurencję i podział ograniczonych zasobów siedliskowych i agrotechnicznych. Powyższa interpretacja wskaźników RY i RYT jest właściwa dla addytywnego układu komponentów w mieszance, natomiast kwestionowana dla układu substytucyjnego.

Wskaźnikiem bardzo często stosowanym do oceny produktywności roślin w zasiewach mieszanych jest wskaźnik ekwiwalentu terenowego (land equivalent ratio, LER). W literaturze polskojęzycznej nazywany również wskaźnikiem ekwiwalentu gruntu. Choć opracowany w drugiej połowie XX wieku, wykorzystywany jest także w najnowszych badaniach [Fan i in., 2025; Rahman i in., 2025]. Obliczenie wskaźnika LER polega na wyliczeniu sumy ilorazów plonu poszczególnych komponentów w mieszance przez plon danego gatunku w siewie czystym – podobnie jak obliczanie plonów względnych i ich sumy. Wielkość wskaźnika LER informuje na jakiej powierzchni powinny być uprawiane poszczególne gatunki roślin w siewie czystym, aby suma ich plonów była równa plonowi mieszanki tych komponentów. Gdy LER jest większy od 1,0, to uprawa mieszanki daje większy plon niż siewy czyste. $LER = 1,0$ oznacza, że plon mieszanki i suma plonów zasiewów jednogatunkowych jej komponentów są równe, natomiast $LER < 1$ wskazuje na lepszą efektywność siewów czystych, większe sumaryczne plony, niż uprawa mieszanki.

Istotnym wskaźnikiem wyrażającym produktywność roślin jest również wskaźnik wydajności uprawy (crop performance ratio, CPR). Wyraża on wydajność zasiewów mieszanych w porównaniu z jednogatunkowymi i wskazuje na

efektywność wykorzystania zasobów siedliskowych i agrotechnicznych, jak światło, składniki pokarmowe, woda do produkcji biomasy i tworzenia plonu. Wskaźnik uwzględnia zarówno plony poszczególnych komponentów, jak i ich udział w zasiewie. Jego wartość większa od jedności informuje o korzyściach wynikających z uprawy mieszanej w porównaniu z siewami czystymi. Na podstawie tak wyliczanego wskaźnika CPR określa się również wskaźnik konkurencyjności (competition ratio, CR). Pozwala on ocenić, który komponent mieszanki i na ile jest bardziej konkurencyjny w uprawie mieszanej [Khanal i in., 2021; Ahmed i Aziz, 2023].

Bogactwo wskaźników służących ocenie oddziaływań konkurencyjnych w zbiorowiskach wielogatunkowych, w tym łąkach mieszanych upraw rolniczych, obrazuje praca Weigelt i Jolliffe [2003]. Lista wskaźników opracowanych przez różnych autorów, a zamieszczonych w cytowanej pracy z początku XXI w., wynosi 48 pozycji, przy czym 6 z nich posiada dwa warianty, a jedna pozycja 4 warianty. Wskaźniki zostały podzielone na trzy grupy: ilościowo określające intensywność konkurencji, szacujące jej wpływ oraz rezultaty. Wskaźniki konkurencji uwzględniają różne cechy roślin określone na różnym etapie ich rozwoju. Są to m.in.: obsada roślin, biomasa i plon w odniesieniu do pojedynczej rośliny lub jednostki powierzchni, liczba nasion wytworzonych przez roślinę, udział gatunku w mieszance.

Przedstawione wskaźniki nie wyczerpują wszystkich możliwości wyrażania przebiegu i skutków oddziaływań między roślinami. W dalszych latach przedstawiono kolejne algorytmy opisujące te zjawiska i poszerzające możliwości ich interpretacji oraz porównań z wynikami innych badań. Przykładem jest wskaźnik RII [Armas i in., 2004], który wyraża względną intensywność interakcji zachodzących między roślinami i zawiera się w liczbowych granicach od -1 do +1. Wskaźnik RII uwzględnia nie tylko występujący w zbiorowisku roślin efekt konkurencji, ale również ewentualne skutki oddziaływania stymulującego. Często stosowanym wskaźnikiem intensywności konkurencji i przewagi jednego komponentu względem drugiego jest, różnie oznaczany w literaturze, wskaźnik agresywności (aggressivity ratio, AR). Bezwzględna wartość tego wskaźnika zwiększa się do jedności wraz z siłą konkurencji, natomiast zero oznacza brak konkurencji w mieszance lub przewagi jednego komponentu nad drugim. Gdy wartość wskaźnika jest dodatnia, to pierwszy z komponentów jest uważany za agresywny, dominujący, a drugi za ustępujący. Wartość ujemna wskazuje z kolei na odwrotną zależność pomiędzy składnikami mieszanki [Sánchez-Navarro i in., 2024; Wang i in., 2024b].

Do oceny konkurencji w mieszankach zbożowo-strączkowych, w tym jęczmienia jarego z grochem siewnym, stosuje się wiele z powyższych wskaźników, jak również inne, dotychczas bezpośrednio nie przytoczone. Iqbal i in. [2019] przedstawiają możliwość użycia w tym celu, oprócz współczynnika ekwiwalentu terenowego LER i wskaźnika agresywności AR (oznaczonego przez autorów AV), także wskaźnika rzeczywistej utraty plonu (actual yield loss, AYL). Jego

istotą jest oszacowanie wielkości względnego zmniejszenia się plonu komponentów mieszanki w porównaniu z ich plonami w siewach czystych. Z kolei do oceny produktywności mieszanki dwuskładnikowej i jej komponentów w funkcji czasu może być wykorzystany wskaźnik powierzchniowo-czasowy (area time equivalent ratio, ATER). Autorzy badań nad uprawami mieszanymi zwracają również uwagę na zasadność oceny ekonomicznej skutków konkurencji w uprawie mieszanek zbożowo-strączkowych i określania korzyści ekonomicznych [Layek i in., 2018]. W tym celu stosuje się odpowiednie wskaźniki, np.: przewagi mieszanek (intercropping advantage, IA), korzyści pieniężnej (monetary advantage index, MAI), ekwiwalentu dochodu (income equivalent ratio, IER) czy marży brutto (gross margin, GM), których wyliczona wielkość określa korzyści ekonomiczne ze wspólnej uprawy roślin w porównaniu z siewami jednogatunkowymi [Erythrina i in., 2022; Karunarathna i Maduwanthi, 2022).

Krytyczną analizę opracowań naukowych zawierających różne wskaźniki oceny konkurencji w zasiewach mieszanych wykonali Zustovi i in. [2024]. Autorzy zwrócili szczególną uwagę na związek między układem eksperymentów z mieszankami (addytywny oraz substytucyjny) i wynikającą z niego różną gęstością siewu, a sposobem oceny i interpretacji skutków oddziaływań między roślinami podkreślając przy tym znaczenie wskaźników LER i CPR. Ich zdaniem w badaniach mieszanek zbożowo-strączkowych z wykorzystaniem eksperymentów realizowanych w układzie substytucyjnym udział zbóż ma mały wpływ na wartość wskaźnika LER, natomiast w większym stopniu kształtuje wskaźnik CPR. Jednak do końcowego wnioskowania i tworzenia zaleceń agrotechnicznych potrzebna jest wiedza o obu miernikach konkurencji. Udział w mieszankach roślin bobowatych powoduje, że to plon białka, a nie plon ziarna/nasion, jest cechą wskazującą na dużą korzyść wynikającą z siewów mieszanych. Mimo to, analiza efektów uprawy mieszanek zbóż z roślinami bobowatymi powinna uwzględniać zarówno plon ziarna i nasion lub biomasy, jak również plon białka.

3. PROBLEM BADAWCZY, CEL I HIPOTEZY BADAŃ

Problem badawczy zawiera się w odpowiedzi na pytania czy możliwa jest uprawa mieszanek w technologii strip-till one-pass, zwłaszcza w układzie na przemian rzędowym dwóch gatunków roślin z indywidualizacją niektórych elementów agrotechniki w zależności od ich wymagań? oraz czy i na ile skutki produkcyjne i agroekologiczne takiej uprawy będą korzystniejsze od uprawy jęczmienia jarego i grochu siewnego w mieszance współrzędnej lub w łańchach jednogatunkowych?

Celem głównym badań było określenie wpływu rozmieszczenia roślin jęczmienia jarego i grochu siewnego uprawianych w technologii strip-till one-pass wynikającego ze sposobu siewu na ich produkcyjność oraz ocena skutków oddziaływań międzygatunkowych.

Cele szczegółowe to:

- ocena indywidualizacji głębokości siewu ziarna jęczmienia jarego i nasion grochu siewnego w mieszance na przemian rzędowej przy użyciu maszyny serii MZURI PRO-TIL oraz jej wpływu na wschody i obsadę roślin,
- określenie plonów zielonej masy i/lub suchej masy oraz białka biomasy rośliny zbożowej, bobowatej i mieszanek w różnych fazach wzrostowo-rozwojowych w zależności od rozmieszczenia roślin w łańchach: siewy jednogatunkowe, mieszanka współrzędna, mieszanka na przemian rzędowa,
- określenie plonów ziarna/nasion oraz białka jęczmienia jarego i grochu siewnego w zależności od sposobu siewu i rozmieszczenia roślin w łańchach,
- oszacowanie i porównanie skutków produkcyjnych oraz agroekologicznych współwystępowania roślin w obu rodzajach mieszanek,
- poznanie roli odmiany w reakcji gatunku na uprawę mieszanek na przemian i współrzędnych w technologii strip-till one-pass.

Hipoteza robocza badań zakładała, wobec hipotezy zerowej o braku pozytywnych skutków produkcyjnych i agroekologicznych uprawy jęczmienia jarego z grochem siewnym w mieszance na przemian rzędowej, że siew rośliny zbożowej i bobowatej grubonasiennej w oddzielnych, na przemian położonych rzędach okaże się korzystniejszy od wspólnego wysiewu mieszaniny ziarna i nasion w każdym rzędzie oraz od występowania tych roślin w łańchach jednogatunkowych. Przejawem korzystnego wpływu siewu na przemian rzędowego nad współrzędnym będzie: większy plon biomasy, ziarna i białka; zwiększona produkcyjność gruntów ornych; większy udział rośliny bobowatej w plonach; poprawa efektu ekonomicznego; zmniejszenie niekorzystnych oddziaływań między roślinami, zwłaszcza gatunku bardziej agresywnego.

4. MATERIAŁ I METODY

4.1. BADANIA POLOWE

4.1.1. Przedmiot, lokalizacja i warunki siedliskowe

Przedmiotami badań był jęczmień jary – roślina zbożowa i groch siewny – roślina bobowata grubonasienna (powszechnie nazywana, także w literaturze naukowej, rośliną strączkową). Rośliny te posłużyły do kompozycji mieszanki zbożowo-strączkowej, która w zależności od rozmieszczenia względem siebie osobników obu gatunków tworzyła zasiewy współrzędne i na przemian rzędowe. Odniesieniem porównawczym dla mieszanki był siew czysty, czyli jednogatunkowy jęczmienia jarego i grochu siewnego.

Do badań polowych wykorzystano po trzy odmiany rośliny zbożowej i bobowatej grubonasiennnej. Uwzględnienie zróżnicowania genetycznego testowanych roślin, w formie odmian uprawnych, miało na celu zwiększyć prawdopodobieństwo trafności końcowego wnioskowania uogólniającego o reakcji jęczmienia jarego i grochu siewnego, jako gatunków, w mieszankach współrzędnej i na przemian rzędowej uprawianych w technologii strip-till one-pass. Takie podejście metodyczne pozwala również zweryfikować rolę odmian znajdujących się w krajowym rejestrze i realnie obecnych w uprawie polowej w komponowaniu mieszanek zbożowo-strączkowych na jaką wskazuje przegląd wyników badań z różnych rejonów świata zawartych w przedmiotowej literaturze.

Odmiany jęczmienia jarego i grochu siewnego wybrano na podstawie kilku cech biologicznych i gospodarczych (tab. 1, tab. 2) istotnych dla ich wzrostu i rozwoju w mieszankach, np.: wysokość roślin, długość i tempo wegetacji, odporność na choroby, potencjał plonowania. Ważnym było również kryterium użytkowe, tj. dostępność na rynku materiału siewnego i rozpowszechnienie w uprawie – niekoniernie odmiany najnowsze, ostatnio wpisane do rejestru. Informacje o odmianach pochodzą z materiałów COBORU [<https://www.coboru>] i od hodowców roślin lub ich przedstawicieli [<https://hr-strzelce>; <https://www.saaten-union>; <https://chemirol>; <https://phr>; <https://www.hrsmolice>]. Obejmują one dane porównywalne, w tym plony, maksymalnie w trzech latach przed rozpoczęciem badań własnych.

Badania eksperymentalne w formie doświadczenia polowego wykonano w latach 2023-2025 w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym położonym w Minikowie (53°09'54"N; 17°44'28"E) należącym do Politechniki Bydgoskiej.

Doświadczenie zakładano na glebie kompleksu żytznego bardzo dobrego, klasy bonitacyjnej IIIa lub IIIb w zależności od roku badań. Uziarnienie gleby i jej właściwości agrochemiczne przedstawia tabela 3. Zawiera ona średnie wyniki próbek gleby pobranej z warstwy 0-20 cm – udział frakcji w uziarnieniu, pH_{KCl}, zawartość przyswajalnych form makro- i mikroskładników oraz z warstwy 0-30 cm – zawartość węgla organicznego, a także ogólnego i mineralnego azotu.

Tabela 1. Wybrane cechy biologiczne i gospodarcze odmian jęczmienia jarego

Cecha	Jednostka	Odmiana		
		‘Farmer’	‘Ismena’	‘Radek’
Typ użytkowy	-	pastewna	pastewna	pastewna
Mączniak prawdziwy*	skala 9 ^o	5	5	6
Plamistość siatkowa*	skala 9 ^o	5	5	6
Rdza jęczmienia*	skala 9 ^o	5	4	6
Rynchosporioza*	skala 9 ^o	5	5	5
Wysokość roślin	cm	72	68	74
Wyleganie przed zbiorem	skala 9 ^o	7	5	5
Termin kłoszenia	dni od 1.01	159	157	160
Termin dojrzałości pełnej	dni od 1.01	204	203	203
Plon ziarna (poziom a1)	t ha ⁻¹	6,27	6,27	6,40
Zawartość białka w ziarnie	skala 9 ^o	6	5	5

* - odporność na chorobę (wyższy stopień oznacza większą odporność)

Tabela 2. Wybrane cechy biologiczne i gospodarcze odmian grochu siewnego

Cecha	Jednostka	Odmiana		
		‘Astronaute’	‘Grot’	‘Milwa’
Typ użytkowy	-	ogólnoużytkowa	ogólnoużytkowa	pastewna
Fuzaryjne wędnięcie*	skala 9 ^o	4	5	4
Askochoytoza*	skala 9 ^o	5	5	5
Mączniak prawdziwy*	skala 9 ^o	5	5	5
Mączniak rzekomy*	skala 9 ^o	5	4	5
Wysokość roślin	cm	79	83-85	70-72
Wyleganie po kwitnieniu	skala 9 ^o	6	5	5
Wyleganie przed zbiorem	skala 9 ^o	6	3	4
Początek kwitnienia	dni od siewu	65	65	66
Dojrzałość techniczna	dni od siewu	101	102	101
Plon nasion	t ha ⁻¹	4,44	4,34	4,04
Zawartość białka	% s.m.	22,1	21,9	22,6
Plon białka	kg ha ⁻¹	867,8	838,8	809,7

* - odporność na chorobę (wyższy stopień oznacza większą odporność)

W celu określenia zawartości, a następnie ilości azotu mineralnego w glebie pobrano również próbki gleby z głębokości 30-60 cm. Próbkowanie gleby pól doświadczalnych (0-20 cm) w każdym roku badań wykonano wczesną wiosną, na początku okresu gospodarczego, a z większych głębokości (0-30 cm) na 5-7 dni przed siewem roślin. Wszystkie analizy przeprowadzono w laboratorium Centrum Badawczo-Rozwojowego f-my Agro-Land Marek Różniak w Śmielinie, metodami odpowiednimi dla oznaczeń właściwości gleb rolniczych. Były to: metoda dyfrakcji laserowej przy użyciu analizatora Mastersizer 3000 (Malvern Panalytical) – uziarnienie gleby, metoda suchego spalania w wysokiej temperaturze z wykorzystaniem aparatu vario MAX cube (Elementar Analysensysteme GmbH) – węgiel organiczny i azot ogólny w glebie, metoda Kjeldahla z użyciem

automatycznego aparatu do destylacji parą wodną UDK 149 (VELP Scientifica) i titratora (SI Analytics) – zawartość azotu azotanowego i amonowego, potencjometryczna ocena pH w 1 mol dm⁻³ roztworze chlorku potasu (SevenCompact S220, Mettler-Toledo) zgodnie z PN-ISO 10390:1997, metoda spektrofotometryczna wyciągu wg Egnera-Riehma z wykorzystaniem spektrofotometru UV-Vis Specord 50 Plus (Analytik Jena) – fosfor przyswajalny PN-R-04023:1996 oraz bor przyswajalny w wyciągu 1 mol dm⁻³ HCl PN-R-04018:1993 pkt 3, metoda absorpcyjnej spektrometrii atomowej przy użyciu spektrometru contrAA 800 (Analytik Jena) dla wyciągu wg Egnera-Riehma – potas przyswajalny PN-R-04022:1996+Az1:2002 oraz dla wyciągu wg Schachtschabela – magnez przyswajalny PN-R-04020:1994+Az1:2004. Metoda absorpcyjnej spektrometrii atomowej wykorzystana została również do oznaczenia w wyciągu 1 mol dm⁻³ HCl przyswajalnych form: miedzi PN-R-04017:1992, cynku PN-R-04016:1992, manganu PN-R-04019:1993 i żelaza PN-R-04021:1994.

Tabela 3. Uziarnienie i właściwości agrochemiczne gleby

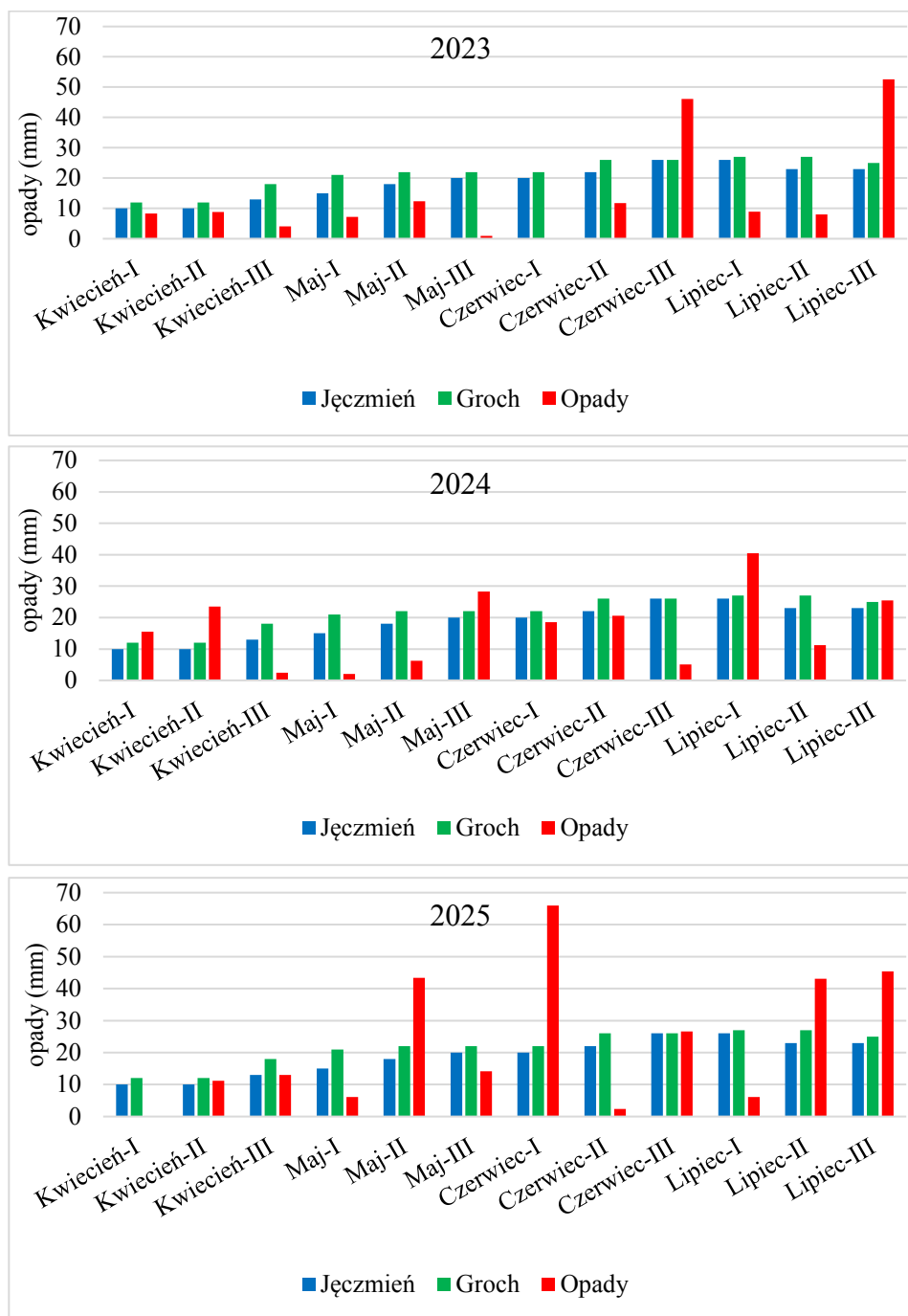
Właściwość	Jednostka	Rok badań		
		2023	2024	2025
Uziarnienie:				
piasek (2,0-0,05 mm)	%	79	73	65
pył (0,05-0,002)	%	17	22	28
ił (<0,002 mm)	%	4	5	7
Zawartość:				
Węgiel organiczny	g C _{org} kg ⁻¹	9,1	9,8	10,8
Azot ogólny	g N _{ogól} kg ⁻¹	1,03	1,02	1,15
Azot mineralny (0-30 cm)	kg N ha ⁻¹	38	50	45
Azot mineralny (30-60 cm)	kg N ha ⁻¹	18	33	30
pH _{KCl}	-	6,3	6,3	6,7
Fosfor przyswajalny	mg P kg ⁻¹	85	91	96
Potas przyswajalny	mg K kg ⁻¹	198	227	214
Magnez przyswajalny	mg Mg kg ⁻¹	63	93	81
Miedź przyswajalna	mg Cu kg ⁻¹	3,5	5,1	6,9
Cynk przyswajalny	mg Zn kg ⁻¹	4,1	7,8	6,0
Mangan przyswajalny	mg Mn kg ⁻¹	528	477	603
Żelazo przyswajalne	mg Fe kg ⁻¹	3583	4210	3891
Bor przyswajalny	mg B kg ⁻¹	1,2	2,3	4,0

Warunki meteorologiczne w miesiącach bezpośrednio poprzedzających założenie eksperymentów polowych oraz w okresie wegetacji jęczmienia jarego i grochu siewnego, a opisane średnimi miesięcznymi temperaturami powietrza oraz sumami opadów, obrazują dane zamieszczone w tabeli 4. Wielkości te są właściwe dla rejonu badań i pochodzą ze stacji meteorologicznej zlokalizowanej w Stacji Doświadczalnej Oceny Odmian COBORU położonej w Chrzastowie (53°09'51"N;

17°35'02"E). Rysunek 1. przedstawia natomiast pokrycie potrzeb opadowych jęczmienia jarego i grochu siewnego przez dekadowe sumy opadów występujące od początku kwietnia do końca lipca w latach badań eksperymentalnych.

Tabela 4. Warunki meteorologiczne w miesiącach poprzedzających realizację doświadczeń polowych i w okresie wegetacji roślin

Miesiąc	Rok badań			Wielolecie (2003-2022)
	2022/2023	2023/2024	2024/2025	
Średnia temperatura powietrza (°C)				
Wrzesień	12,1	17,6	16,7	13,9
Październik	10,3	10,3	8,9	8,7
Listopad	3,6	3,5	3,5	4,3
Grudzień	0,7	1,6	3,1	0,8
Styczeń	2,7	-0,5	1,5	-1,5
Luty	1,2	4,9	-0,9	-0,6
Marzec	3,7	6,4	5,5	2,9
Kwiecień	7,8	10,0	10,2	8,5
Maj	12,9	16,1	10,6	13,3
Czerwiec	18,3	18,0	16,7	17,3
Lipiec	18,7	19,8	18,7	19,4
Sierpień	20,6	19,7	18,8	19,0
Średnia roczna	9,4	10,6	9,4	8,8
Suma opadów atmosferycznych (mm)				
Wrzesień	54,1	36,2	36,2	39,4
Październik	28,3	38,2	38,2	40,8
Listopad	19,8	31,0	31,0	33,1
Grudzień	31,1	37,6	37,6	36,8
Styczeń	21,6	48,5	39,2	35,8
Luty	30,3	73,0	18,0	25,9
Marzec	61,6	26,1	10,7	28,7
Kwiecień	21,2	41,4	24,2	26,0
Maj	20,5	36,6	63,7	54,6
Czerwiec	57,9	44,2	95,0	56,8
Lipiec	69,5	77,2	94,6	77,1
Sierpień	96,8	26,1	45,4	64,2
Suma roczna	512,7	516,1	533,8	519,2



Rys. 1. Pokrycie dekadowych (I, II, III) potrzeb opadowych jęczmienia jarego i grochu siewnego [Dzieżyc i in., 1987] w latach badań, w okresie ich wegetacji w siewie czystym i mieszankach

W okresie przygotowania pól doświadczalnych bezpośrednio po zbiorze przedplonu w latach 2022-2024 warunki termiczne i wilgotnościowe w miesiącach wrzesień-grudzień nie odbiegały drastycznie od przeciętnych w wieloleciu. Opady w miesiącach zimowych przyczyniły się do uwilgotnienia gleby niezbędnego do prawidłowego siewu w technologii strip-till one-pass, kielkowania nasion i wschodów roślin. Obfitującymi w ponad przeciętne opady były marzec 2023 r. i luty 2024 r., co spowodowało przesunięcie terminu siewu w tych latach na pierwszą dekadę kwietnia.

Wegetacja jęczmienia jarego i grochu siewnego w 2024 roku przebiegała w temperaturach wyższych niż przeciętnie. Z kolei w 2025 r. średnie temperatury powietrza w każdym miesiącu od maja do sierpnia były nawet o 2,7 °C niższe niż w wieloleciu (tab. 4). Mało korzystne do wzrostu roślin były również warunki opadowe. W okresie intensywnej wegetacji, tj. od trzeciej dekady kwietnia do pierwszej dekady lipca tylko w jednej z nich – 2023 r., w dwóch – 2024 r. oraz trzech – 2025 r. suma opadów była większa niż potrzeby opadowe jęczmienia jarego i grochu siewnego (tab. 4, rys. 1). Natomiast w trzyletnim okresie badań od kwietnia do lipca wystąpiło aż 16 dekad z sumą opadów poniżej 10 mm, a dwie z nich były bezopadowe (pierwsza dekada czerwca 2023 r. i pierwsza dekada kwietnia 2025 r.).

4.1.2. Eksperyment polowy

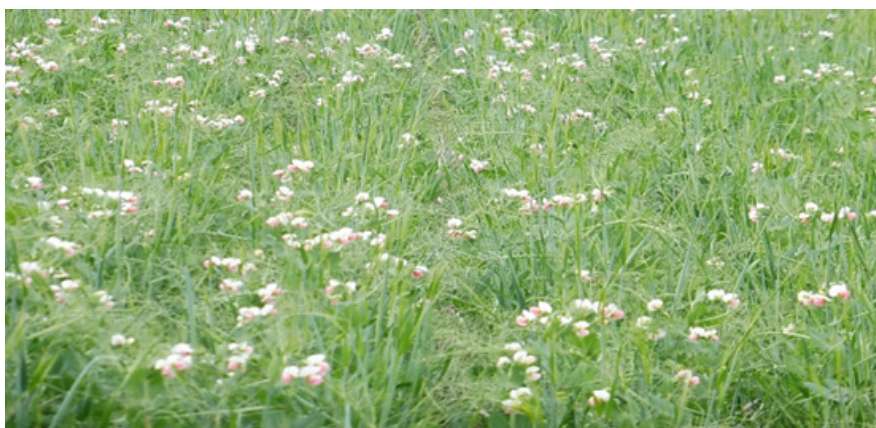
4.1.2.1. Czynniki, poziomy i układ doświadczenia

Jednoczynnikowe doświadczenie polowe obejmowało 12 poziomów – obiektów rozplanowanych w układzie losowanych bloków. Czynnikiem doświadczenia był sposób rozmieszczenia względem siebie roślin jęczmienia jarego i grochu siewnego w łanie w efekcie zróżnicowanego sposobu siewu. Wobec trzech odmian obu gatunków oraz zróżnicowanego rozmieszczenia roślin w rzędzie i rzędach sąsiednich porównywano jednocześnie 6 mieszanek i 6 siewów czystych, jednogatunkowych. Głównymi obiektami doświadczenia były trzy mieszanki na przemian rzędowe, w których w sąsiednich rzędach, naprzemiennie wysiewano jęczmień jary określonej odmiany oraz przypisaną do danej mieszanki odmianę grochu siewnego. Obiekty te oznaczono: nazwa odmiany jęczmienia/nazwa odmiany grochu. Obiektami do bezpośredniego porównania były trzy mieszanki współrzędne tworzone przez wymieszanie ziarna jęczmienia i nasion grochu właściwych odmian i siew tak przygotowanego materiału siewnego w każdym rzędzie łanu. Obiekty te oznaczono: nazwa odmiany jęczmienia+nazwa odmiany grochu. Sześć kolejnych obiektów stanowiły siewy czyste jęczmienia jarego i grochu siewnego oznaczone nazwami ich odmian. Obiekty te były niezbędne do oceny rolniczej i środowiskowej mieszanek względem tradycyjnej uprawy jednogatunkowej.

A



B



C



Rys. 2. Mieszanka współrzędna jęczmienia jarego z grochem siewnym: A – faza krzewienie/rozwój liści, B – faza kłoszenie/kwitnienie, C – faza dojrzewanie

A



B



C



Rys. 3. Mieszanka na przemian rzędowa jęczmienia jarego z grochem siewnym: A – faza krzewienie/rozwój liści, B – faza kłoszenie/kwitnienie, C – faza dojrzewanie

Wobec powyższego wyjaśnienia istoty metodycznej doświadczenia polowego jego obiektami były:

- Ismena (jęczmień jary – siew czysty)
- Radek (jęczmień jary – siew czysty)
- Farmer (jęczmień jary – siew czysty)
- Milwa (groch siewny – siew czysty)
- Grot (groch siewny – siew czysty)
- Astronaute (groch siewny – siew czysty)
- Ismena+Milwa (mieszanka współrzędna) – rys. 2
- Ismena/Milwa (mieszanka na przemian rzędowa) – rys. 3
- Radek+Grot (mieszanka współrzędna)
- Radek/Grot (mieszanka na przemian rzędowa)
- Farmer+Astronaute (mieszanka współrzędna)
- Farmer/Astronaute (mieszanka na przemian rzędowa)

Każdy obiekt doświadczenia występował w czterech powtórzeniach na polkach o wymiarach 3,6 m x 36 m, a cały eksperyment był powielony w trzech kolejnych latach. Mieszanki w odniesieniu do siewów czystych tworzone według schematu substytucyjnego.

4.1.2.2. Agrotechnika, pomiary i oceny biometryczne

Pole doświadczalne w każdym roku badań zlokalizowano w stanowisku po pszenicy ozimej. Bezpośrednio po zbiorze przedplonu stosowano mulczową bronę ścierniskową wyposażoną w sekcję płaskich talerzy i pięć rzędów długich, sprężystych zębów w celu wyrównania powierzchni pola, równomiernego rozprowadzenia resztek poźniwnych oraz pobudzenia do kiełkowania nasion chwastów i osypanego ziarna. Brona była zespólna z pneumatycznym siewnikiem międzyplonów wysiewając nasiona gorczycy polnej w ilości 15 kg ha⁻¹. Drugi raz brona była użyta wiosną po osuszeniu mulczu i powierzchni pola. Na 3-5 dni przed siewem stosowano glifosat w postaci preparatu Agrosar 360 SL w dawce 1,5 l s.c. ha⁻¹. Siew na wszystkich obiektach doświadczalnych wykonywano w jednym terminie i w zależności od roku badań był to: 5.04.2023 r., 3.04.2024 r. i 31.03.2025 r. Gęstość siewu kwalifikowanego materiału siewnego (zaprawionego wg aktualnych zaleceń IOR-PIB) wynosiła 300 kiełkujących ziaren jęczmienia jarego i 100 nasion grochu siewnego na 1 m² – siewy jednogatunkowe niezależnie od odmiany. Gęstość siewu obu rodzajów mieszanek zakładała obecność po 50% roślin zbożowych i strączkowych w siewach czystych. Do siewu wykorzystano maszynę hybrydową serii MZURI PRO-TIL dedykowaną do uprawy roślin w technologii strip-till one-pass z możliwością siewu na przemian rzędowego dwóch rodzajów materiału siewnego w 10 pasach uprawianej gleby, w rozstawie co 36 cm. Przednia sekcja zębów uprawowych, poprzedzona dyskami rozcinającymi resztki roślinne, spulchniała pasy gleby o szerokości około

12 cm i głębokości 20 cm, aplikując jednocześnie nawozy mineralne. Uwzględniając wysoką i bardzo wysoką zasobność gleby w przyswajalne formy fosforu i potasu w każdym roku stosowano 40 kg P_2O_5 ha⁻¹ i 60 kg K_2O ha⁻¹ w postaci polifoski 6-20-30 – 200 kg ha⁻¹. W trakcie uprawy pasów gleby i siewu aplikowano również pełną dawkę azotu, tj. 60 kg N ha⁻¹ (saletra amonowa–140 kg ha⁻¹ z uwzględnieniem azotu wnoszonego z polifoską). Głębokość siewu nasion grochu wynosiła 6 cm, ziaren jęczmienia 3 cm, a mieszaniny nasion i ziarna 4 cm (mieszanki współrzędne). Dwa dni po siewie, a w 2025 roku trzy dni, zastosowano mieszaninę zbiornikową (200 l H₂O ha⁻¹) herbicydów Boxer 800 EC + Stomp Aqua 455 CS w dawce s.c.z., odpowiednio 2,40 kg ha⁻¹ i 0,91 kg ha⁻¹. Powschodowo, w fazie krzewienia jęczmienia (BBCH 23-27) i 2-3 wąsów czepnych grochu (BBCH 12-16), aplikowano herbicyd Butoxone M 400 w dawce s.c.z. (MCPB) 1,5 kg ha⁻¹. Ochronę roślin dopełniał zabieg przeciwko szkodnikom strąków i nasion w fazie BBCH 69-71 zawierający s.c.z. acetamipryd w dawce 40 g ha⁻¹ (preparat Mospilan 20 SP lub Mospilan Classic). Ponadto w latach 2023 i 2024 zwalczano oprzędzika przegowanego stosując w fazie BBCH 11-13 s.c.z. gamma-cyhalotryna w dawce 3,75 g ha⁻¹ (Nexide 60 CS).

Mieszanki i rośliny w siewach jednogatunkowych zebrano w tym samym terminie, w fazie dojrzałości pełnej BBCH 89 przy wilgotności ziarna i nasion 12-14% przy użyciu kombajnu poletkowego Wintersteiger. Zbierano dokładnie cztery środkowe pasy siewne w obrębie każdej jednostki eksperymentalnej (poletka). Powierzchnia zebrana poletka wynosiła 52,4 m².

W każdym roku badań polowych, na wszystkich jednostkach eksperymentalnych wykonano pomiary i oceny biometryczne:

- głębokość siewu (pomiar głębokości umieszczenia 10. losowo odkrytych ziaren jęczmienia jarego i/lub nasion grochu siewnego),
- obsada roślin po wschodach (określano liczbę roślin gatunku/odmiany w fazie BBCH 11-12 na dwumetrowych odcinkach dwóch rzędów, a wynik wyrażono w szt. m⁻²,
- polowa zdolność wschodów – PZW (wyliczono na podstawie rzeczywistej obsady roślin po wschodach i zakładanej liczby roślin wynikającej z gęstości siewu – patrz pkt. 4.3.1.)
- plon zielonej masy poszczególnych gatunków/odmian, mieszanek i ich komponentów w fazie BBCH 51-61 (pobrano rośliny z 4 odcinków po 3 mb dwóch sąsiednich pasów siewnych – 2. i 3. od skraju poletka celem wyeliminowania efektu brzegowego, wynik wyrażono w t ha⁻¹),
- zawartość suchej masy i białka w plonie świeżej masy plonu ogólnego w fazie BBCH 51-61 (pobrano próbkę 4 kg świeżej masy reprezentatywnego plonu, którą wysuszone do powietrznie suchej masy w wentylowanej hali, a następnie w suszarce),
- zawartość suchej masy i białka w plonie świeżej masy obu komponentów mieszanek w fazie BBCH 51-61 (pobrano próbkę 3 kg świeżej masy mieszanek

- współrzędnych lub rośliny z 1 mb rzędu mieszanek na przemian rzędowych, rozdzielono ją na rośliny zbożowe i bobowate, a następnie suszono j.w.),
- plon masy poszczególnych gatunków/odmian, mieszanek i ich komponentów w fazie BBCH 89 (pobrano rośliny z 4 odcinków po 3 mb dwóch sąsiednich pasów siewnych analogicznie jak w fazie BBCH 51-61),
 - zawartość suchej masy i białka w plonie ogólnym w fazie BBCH 89 (pobrano próbkę 2 kg masy roślin i postępowano analogicznie jak w fazie BBCH 51-61),
 - zawartość suchej masy i białka w plonie biomasy obu komponentów mieszanek w fazie BBCH 89 (pobrano próbkę 1 kg masy mieszanek współrzędnych lub rośliny z 1 mb rzędu mieszanek na przemian rzędowych, rozdzielono ją na rośliny zbożowe i bobowate, a następnie postępowano jak w fazie BBCH 51-61),
 - plon ziarna/nasion (zważono plon ziarna/nasion zebranych z powierzchni 52,4 m²),
 - próbki ziarna/nasion w celu określenia udziału komponentów w plonie oraz zawartości białka w ziarnie i nasionach (pobrano 2 kg ziarna/nasion i rozdzielono na komponenty).

4.2. ANALIZY LABORATORYJNE

W materiale roślinnym zebranym w fazie BBCH 51-61 i BBCH 89 określono zawartość suchej masy. W tym celu ustalono masę próbki bezpośrednio po zbiorze, przed i po suszeniu w suszarce laboratoryjnej w 105 °C (Suszarka Solid.Line FD-S 115, firmy BINDER) oraz jej ostudzeniu w eksykatorze. Materiał suszono do osiągnięcia stałej masy.

Tak przygotowany materiał oraz nasiona grochu po rozdrobnieniu w młynku (Młynek huraganowy WŻ-1 f-my Sadkiewicz) poddano analizie na zawartość białka zgodnie z metodą Kjeldahla przy użyciu aparatu UDK 149 (VELP Scientifica). Zawartość białka w ziarnie jęczmienia jarego oceniono metodą NIR wykorzystując urządzenie Infratec Nova (FOSS Analytical).

Wilgotność ziarna i nasion w momencie zbioru oceniano przy użyciu przenośnego urządzenia – Miernik wilgotności ziarna OHAUS MC 2000. Próbkę plonu mieszanek oczyszczono i rozdzielono na komponenty używając urządzeń laboratoryjnych f-my Sadkiewicz: Separator typ SZD i Sortownik mechaniczny.

4.3. MATEMATYCZNE I STATYSTYCZNE OPRACOWANIE WYNIKÓW

4.3.1. Produkcyjność roślin

Wyniki wszystkich ocen, pomiarów i analiz wykonywanych w warunkach polowych oraz w laboratorium ewidencjonowano w arkuszach Excel. Na podstawie zawartości suchej masy oraz białka w biomase roślin wyliczono plony suchej masy oraz białka.

Zróznicowanie głębokości umieszczenia ziaren jęczmienia jarego i nasion grochu siewnego w zależności od sposobu siewu przedstawiono w formie wykresów typu ramka-wąsy zamieszczając na nich grafikę średniej wartości cechy w obrębie obiektu, błędu standardowego średniej oraz wartości odchylenia standardowego opisującego jej zmienność. Połową zdolność wschodów (PZW) wyliczono według formuły:

$$PZW = OP/GS \times 100 [\%] \quad (1)$$

gdzie:

OP – obsada roślin po wschodach (szt. m⁻²),

GS – gęstość siewu (liczba kielkujących ziaren/nasion w szt. m⁻²)

Wyniki ocen, pomiarów i analiz: obsada roślin, połowa zdolność wschodów, plony, zawartość suchej masy i białka testowano na normalność rozkładu, a w przypadku jego braku transformowano. Do transformacji wyników opisujących połowę zdolność wschodów (dane procentowe) użyto algorytm: $y = \arcsin \sqrt{x}$.

Powyższe wyniki poddano analizie wariancji z testowaniem istotności wpływu czynnika (test F) oraz istotności różnic między obiektowych (test Tukeya). Analizę w odniesieniu do wszystkich 12 obiektów wykonano dla połowej zdolności wschodów oraz plonów ogółem (zielona masa, sucha masa, ziarno/nasiona). Dziewięć obiektów porównywano w przypadku cech danego komponentu (jęczmień lub groch) występującego w mieszankach i w siewach czystych. Analizę statystyczną cech roślin występujących w mieszankach, a nie porównywanych w siewach czystych ze względu na dwa razy większą gęstość siewu i obsadę po wschodach wykonano dla 6 obiektów – tylko mieszanki. Dla trzech obiektów (porównanie odmian) wykonano analizę obsady roślin jęczmienia jarego i grochu siewnego w siewach czystych, jednogatunkowych. Analizy statystyczne wykonano przy poziomie istotności $p = 0,05$, w pierwszej kolejności dla wyników doświadczeń pojedynczych (określony rok), a następnie dla doświadczenia wielokrotnego (synteza doświadczeń pojedynczych). Analizę wariancji danych doświadczenia wielokrotnego wykonywano w modelu mieszanym zakładającym, że czynniki są stałe, a lata losowe.

Udział procentowy komponentów w plonach mieszanek przedstawiono na wykresach kołowych.

Do opracowania wyników wykorzystano pakiety programów: Microsoft Office, FR-ANALWAR-5 i Statistica 13.

4.3.2. Wskaźniki oddziaływania między roślinami

Do oceny skutków oddziaływań między roślinami zastosowano wskaźniki stosowane w badaniach ekologicznych i rolniczych. Wskaźniki te wcześniej sformułowane, są powszechnie wykorzystywane i prezentowane w aktualnych opracowaniach naukowych. Ich istotą jest porównanie cech opisujących produktywność mieszanek i ich komponentów z odpowiadającymi im parametrami

roślin w łanach jednogatunkowych, siewach czystych [Azam-Ali i in., 1990; Vályi-Nagy i in., 2024]. Wobec obiektów występujących w badaniach własnych wskaźnikom tym nadano postać:

➤ wskaźnik ekwiwalentu gruntu (LER)

$$LER = LER_J + LER_G; \quad LER_J = P_{JM} / P_J \quad i \quad LER_G = P_{GM} / P_G \quad (2)$$

gdzie:

- J – jęczmień
- G – groch
- P_{JM} – plon jęczmienia w mieszance
- P_J – plon jęczmienia w siewie czystym
- P_{GM} – plon grochu w mieszance
- P_G – plon grochu w siewie czystym

➤ wskaźnik wydajności uprawy (CPR)

$$CPR = (P_{JM} + P_{GM}) / [(P_J \times U_J) \times (P_G \times U_G)];$$

$$CPR_J = P_{JM} / P_J \times U_J \quad i \quad CPR_G = P_{GM} / P_G \times U_G \quad (3)$$

gdzie:

- U_J – udział jęczmienia w mieszance w stosunku do jego gęstości w siewie czystym
- U_G – udział grochu w mieszance w stosunku do jego gęstości w siewie czystym
- Pozostałe oznaczenia – patrz wskaźnik LER

➤ wskaźnik rzeczywistej straty plonu informujący o względnej stracie plonu przy zastąpieniu mieszanki siewami czystymi komponentów (AYL)

$$AYL = AYL_J + AYL_G; \quad AYL_J = CPR_J - 1; \quad AYL_G = CPR_G - 1 \quad (4)$$

gdzie:

Oznaczenia – patrz wskaźniki LER, CPR

➤ wskaźnik konkurencyjności (CR)

$$CR_J = CPR_J / CPR_G \quad i \quad CR_G = CPR_G / CPR_J \quad (5)$$

gdzie:

Oznaczenia – patrz wskaźnik CPR

➤ wskaźnik agresywności (AR)

$$AR_J = CPR_J - CPR_G \quad i \quad AR_G = CPR_G - CPR_J \quad (6)$$

gdzie:

Oznaczenia – patrz wskaźnik CPR

➤ wskaźnik korzyści pieniężnej (MAI)

$$MAI = W_{KM} \times [(LER-1) / LER]; \quad W_{KM} = P_{JM} \times C_J + P_{GM} \times C_G \quad (7)$$

gdzie:

W_{KM} – wartość połączonych komponentów

C_J – cena jednostkowa ziarna jęczmienia po zaokrągleniu do 10 zł t⁻¹ (2023 r. – 680 zł t⁻¹, 2024 r. – 680 zł t⁻¹, 2025 r. – 630 zł t⁻¹, średnio – 660 zł t⁻¹) [<https://www.notowania.kpodr.pl/>]

C_G – cena jednostkowa nasion grochu po zaokrągleniu do 10 zł t⁻¹ (2023 r. – 990 zł t⁻¹, 2024 r. – 970 zł t⁻¹, 2025 r. – 810 zł t⁻¹, średnio – 920 zł t⁻¹) [<https://www.notowania.kpodr.pl/>]

Pozostałe oznaczenia – patrz wskaźnik LER

Wszystkie powyższe wskaźniki, z wyjątkiem ekonomicznych, wyliczono dla plonów:

- zielonej masy roślin w fazie BBCH 51-61,
- suchej masy roślin w fazach BBCH 51-61 i BBCH 89,
- ziarna/nasion,
- białka w zielonej i suchej masie roślin oraz ziarnie i nasionach.

Wskaźnik ekonomiczny, wobec braku rynku zielonej i suchej masy roślin jęczmienia jarego, grochu siewnego oraz ich mieszanek i tym samym braku cen na te płody, policzono tylko dla plonu ziarna/nasion.

Zaproponowano również wskaźniki oceny oddziaływania między roślinami w mieszance na przemian rzędowej w porównaniu nie do siewu czystego, ale do tradycyjnej mieszanki współrzędnej, przy jednakowym udziale komponentów w mieszankach, tj. po 50%. Oparto je o względny walidowany plon mieszanki i komponentów w rzędach na przemiennych w stosunku do mieszanki o wspólnym wysiewie jej składników oraz na formułach wskaźników oddziaływań roślin w mieszankach w stosunku do łąnów jednogatunkowych, wyżej przedstawionych. Poniższe wskaźniki są autorskim wkładem w metodykę niniejszej pracy:

- wskaźnik walidowanego plonu względnego (PW)

$$PW_J = P_{JN} / P_{JW}; \quad PW_G = P_{GN} / P_{GW};$$

$$PW_M = (P_{JN} + P_{GN}) / (P_{JW} + P_{GW}) \quad (8)$$

gdzie:

M – mieszanka

J – jęczmień

G – groch

P_{JN} – plon jęczmienia w mieszance na przemian rzędowej

P_{JW} – plon jęczmienia w mieszance współrzędnej

P_{GN} – plon grochu w mieszance na przemian rzędowej

P_{GW} – plon grochu w mieszance współrzędnej

- wskaźnik względnej straty plonu po zastąpieniu mieszanki na przemian rzędowej współrzędną (SW)

$$SW_J = PW_J - 1; \quad SW_G = PW_G - 1; \quad SW_M = PW_M - 1 \quad (9)$$

gdzie:

Oznaczenia – patrz wskaźnik PW

- wskaźnik względnego oddziaływania (WO)

$$WO_J = PW_J / PW_G \quad i \quad WO_G = PW_G / PW_J \quad (10)$$

gdzie:

Oznaczenia – patrz wskaźnik PW

- wskaźnik siły i kierunku oddziaływania (SK)

$$SK_J = PW_J - PW_G \quad i \quad SK_G = PW_G - PW_J \quad (11)$$

gdzie:

Oznaczenia – patrz wskaźnik PW

- rzeczywista różnica wartości plonu (RRW)

$$RRW = [(P_{JN} - P_{JW}) \times C_J] + [(P_{GN} - P_{GW}) \times C_G] \quad (12)$$

gdzie:

Oznaczenia – patrz wskaźnik PW i MAI

5. OMÓWIENIE WYNIKÓW

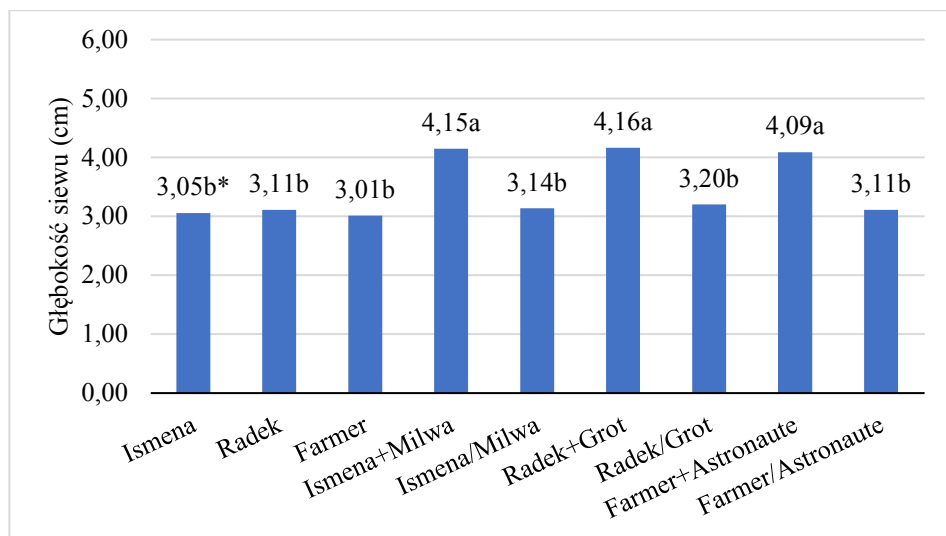
5.1. PRODUKCYJNOŚĆ ROŚLIN

5.1.1. Siew i wschody roślin

5.1.1.1. Głębokość siewu

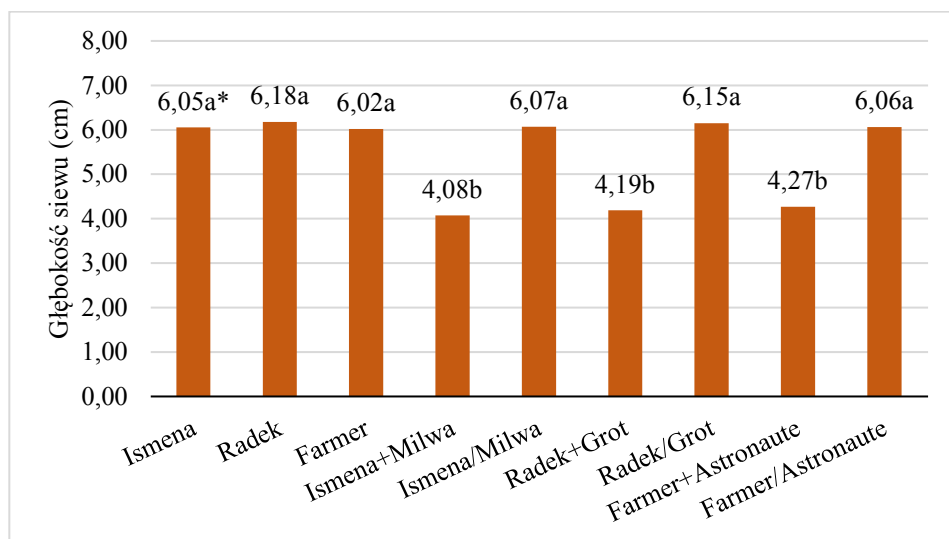
Ziarno jęczmienia jarego wszystkich odmian wysiewane w mieszankach współrzędnych z grochem siewnym (materiał siewny stanowiła mieszanka ziarna i nasion) było umieszczone w glebie istotnie głębiej niż ziarno wysiewane w siewie czystym, jednogatunkowym oraz w rzędach niezależnych od rzędów grochu, tj. w mieszankach na przemian rzędowych (rys. 4).

Z kolei nasiona grochu siewnego w mieszankach współrzędnych z jęczmieniem jarym były posadowione w glebie istotnie płycej niż w mieszankach na przemian rzędowych i w siewach czystych, a największa różnica głębokości siewu wyniosła 2,1 cm (rys. 5).



Rys. 4. Głębokość umieszczenia ziarna jęczmienia jarego w glebie w zależności od sposobu siewu – średnio w okresie badań

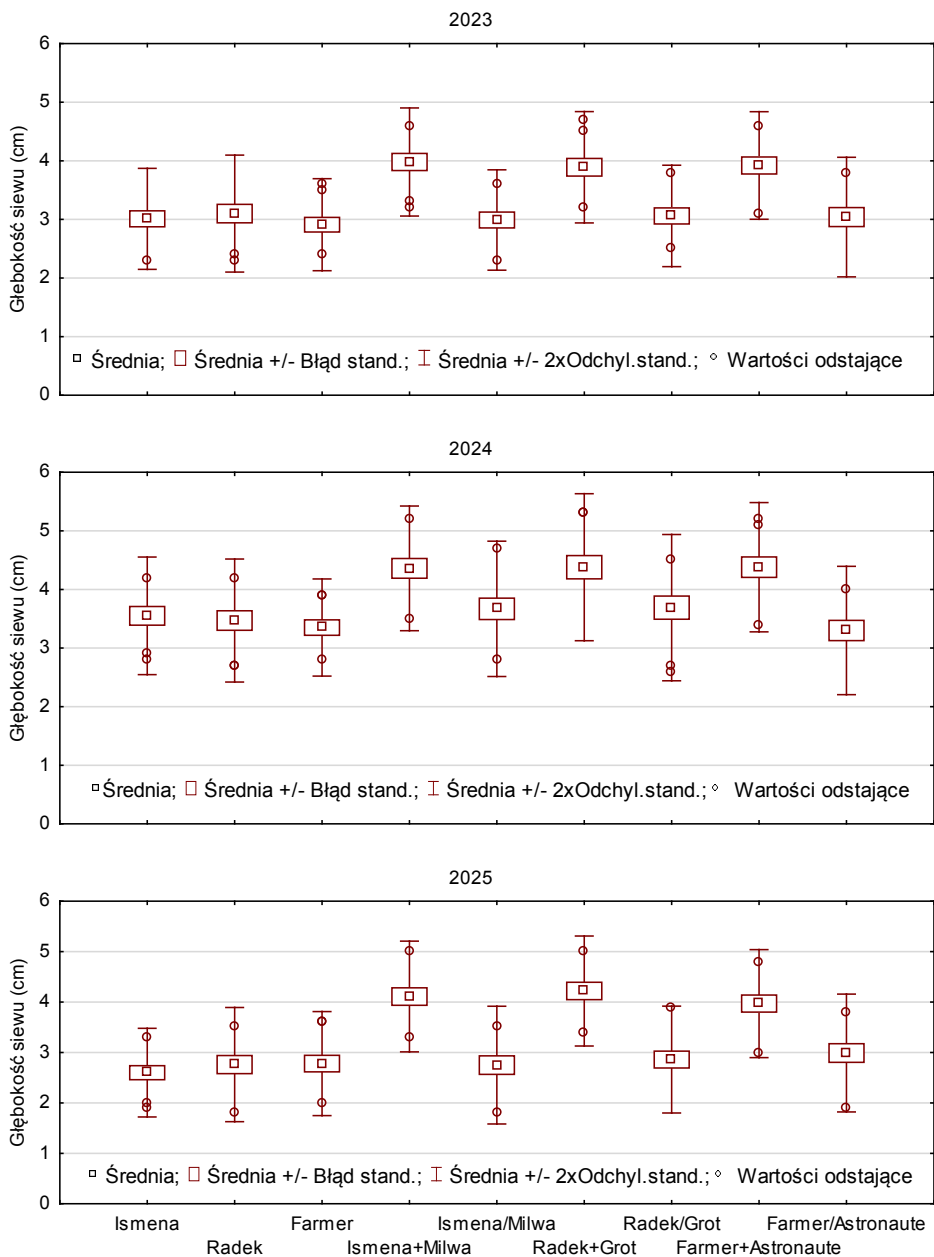
* – ta sama litera nad kolumnami oznacza brak istotnego statystycznie zróżnicowania wyników przy $p = 0,05$



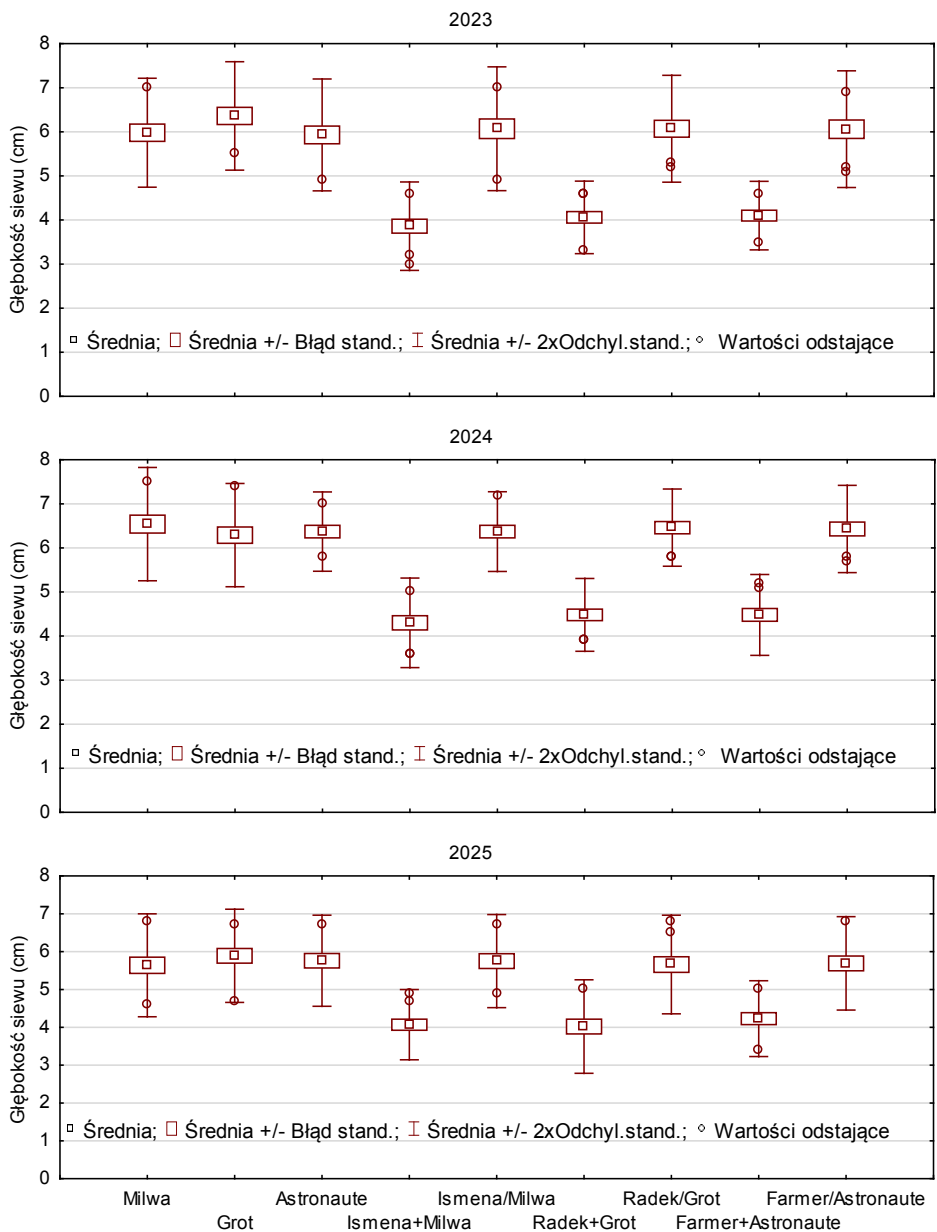
Rys. 5. Głębokość umieszczenia nasion grochu siewnego w glebie w zależności od sposobu siewu – średnio w okresie badań

* – ta sama litera nad kolumnami oznacza brak istotnego statystycznie zróżnicowania wyników przy $p = 0,05$

Rysunki 6 i 7 wskazują, że w poszczególnych latach badań zależność głębokości umieszczenia ziarna i nasion w glebie od sposobu siewu była podobna, choć różniła się ich bezwzględna wielkość. Ziarno jęczmienia jarego w siewie czystym i mieszankach współrzędnych najpłycej, poniżej 3 cm, wysiano w 2025 roku, a najgłębiej w 2024 roku. Podobne zróżnicowanie głębokości siewu na tych obiektach dotyczyło również grochu siewnego. Jego nasiona w 2024 roku były umieszczone w glebie głębiej niż 6 cm. Niezależnie od odmiany i roku badań głębokość siewu obu komponentów mieszanek na przemian rzędowych była zawsze na poziomie ich siewów jednogatunkowych i różniła się od głębokości umieszczenia ziarna/nasion w mieszankach współrzędnych. Ziarno odmian jęczmienia jarego w mieszankach na przemian rzędowych znajdowało się o około 1 cm płycej niż w mieszankach współrzędnych, natomiast nasiona grochu o 2 cm głębiej. Na obiektach z mieszankami na przemian rzędowymi większa była również wartość odchylenia standardowego i błędu standardowego średniej głębokości siewu grochu.



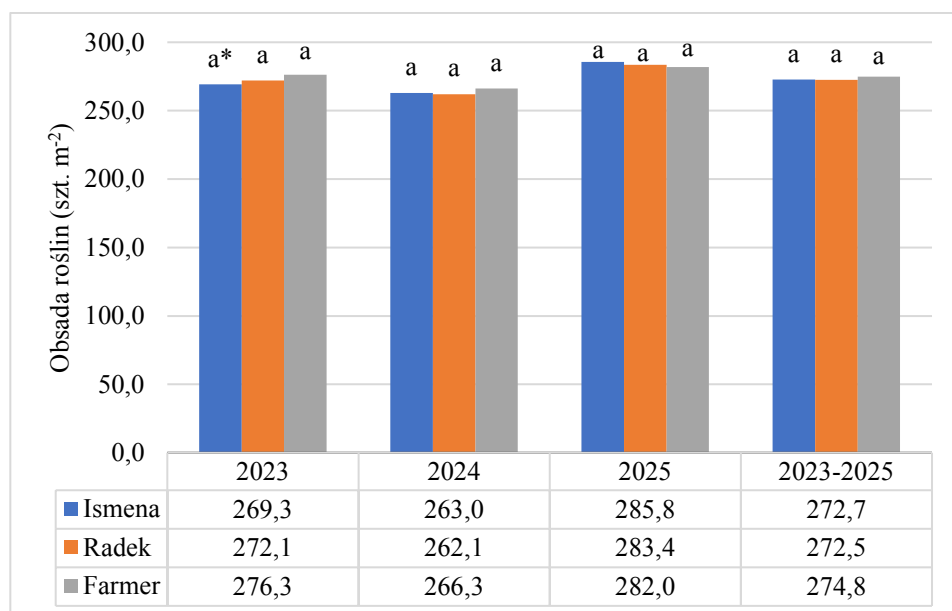
Rys. 6. Głębokość siewu ziarna jęczmienia jarego



Rys. 7. Głębokość siewu nasion grochu siewnego

5.1.1.2. Obsada roślin

Obsada roślin odmian jęczmienia jarego w uprawie jednogatunkowej wysiewanego w ten sam sposób i przy zakładanej gęstości 300 ziaren m^{-2} nie różniła się istotnie i wyniosła średnio 272,5-274,8 szt. m^{-2} , ze zróżnicowaniem w latach badań od 262,1 szt. m^{-2} do 285,8 szt. m^{-2} (rys. 8). W mieszankach obsada roślin po wschodach była mniejsza ze względu na mniejszą o 50% gęstość siewu, co wynikało z substytucyjnego modelu mieszanek. Liczba roślin na 1 m^2 mieszanek współrzędnych wahała się w latach badań od 124,9 szt. m^{-2} do 140,0 szt. m^{-2} , a na przemian rzędowych od 129,5 szt. m^{-2} do 135,2 szt. m^{-2} . Analiza statystyczna tych danych (obiekty z jednakową gęstością siewu) ani w kolejnych latach, ani średnio w trzyletnim okresie nie wykazała istotnego wpływu sposobu siewu jęczmienia jarego i tym samym rozmieszczenia ziarna, a następnie roślin na ich obsadę bezpośrednio po wschodach (tab. 5).



Rys. 8. Obsada roślin odmian jęczmienia jarego w siewie jednogatunkowym

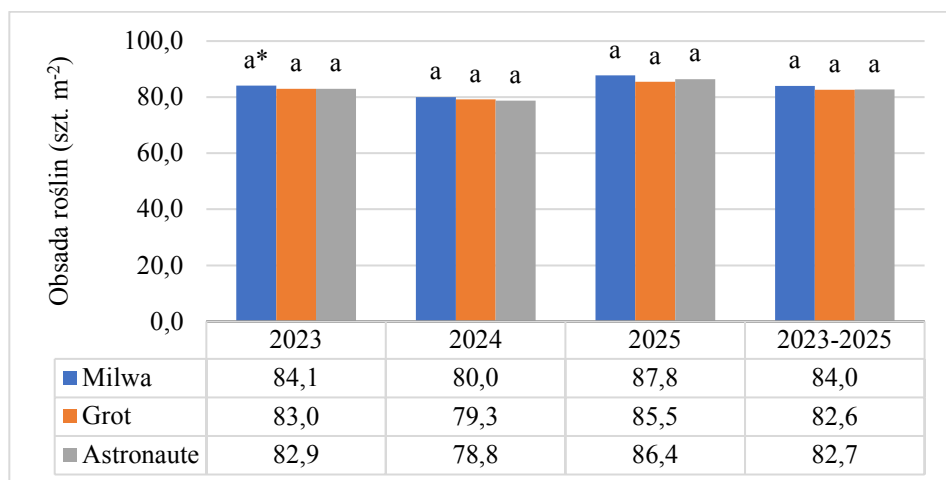
* – ta sama litera nad kolumnami w danym roku oznacza brak istotnego statystycznie zróżnicowania wyników przy $p = 0,05$

Tabela 5. Obsada roślin jęczmienia jarego (szt. m⁻²) w mieszankach współrzędnych i na przemian rzędowych z grochem siewnym

Mieszanka	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena *+Milwa	127,0	140,0	129,8	132,3
Ismena /Milwa	134,0	134,9	134,4	134,4
Radek +Grot	124,9	129,7	134,7	129,8
Radek /Grot	134,2	134,2	133,2	133,9
Farmer +Astronaute	132,1	134,7	138,1	135,0
Farmer /Astronaute	131,8	129,5	135,2	132,2
NIR _{p=0,05}	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.

n.i. – różnice wyników w kolumnie nieistotne statystycznie

* – czcionka bold – nazwa odmiany jęczmienia jarego



Rys. 9. Obsada roślin odmian grochu siewnego w siewie jednogatunkowym

* – ta sama litera nad kolumnami w danym roku oznacza brak istotnego statystycznie zróżnicowania wyników przy $p = 0,05$

Obsada roślin odmian grochu siewnego w łanie jednogatunkowym wyniosła 82,6-84,0 szt. m⁻² – średnio w latach badań i od 78,8 szt. m⁻² – ‘Astronaute’ 2024 r. do 87,8 szt. m⁻² – ‘Milwa’ 2025 r. i nie różniła się istotnie (rys. 9). Sposób siewu wpłynął natomiast na obsadę rośliny bobowatej w mieszankach (tab. 6). W mieszankach na przemian rzędowych była ona istotnie większa niż w mieszankach współrzędnych, z wyjątkiem odmiany ‘Milwa’ w 2024 roku. Średnio w okresie badań liczba roślin grochu siewnego na 1 m² w mieszankach na przemian rzędowych była większa od tej w mieszankach współrzędnych o 4,2 szt. – ‘Milwa’; 3,9 szt. – ‘Grot’; 4,7 szt. – ‘Astronaute’.

Tabela 6. Obsada roślin grochu siewnego (szt. m⁻²) w mieszankach współrzędnych i na przemian rzędowych z jęczmieniem jarym

Mieszanka	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena+ Milwa	38,3	37,8	40,1	38,7
Ismena/ Milwa	44,4	41,1	43,3	42,9
Radek+ Grot	38,6	38,8	40,4	39,3
Radek/ Grot	43,6	42,7	43,3	43,2
Farmer+ Astronaute	36,8	37,9	39,6	38,1
Farmer/ Astronaute	43,1	42,0	43,3	42,8
NIR _{p=0,05}	4,04	3,71	2,71	2,58

* – czcionka bold – nazwa odmiany grochu siewnego

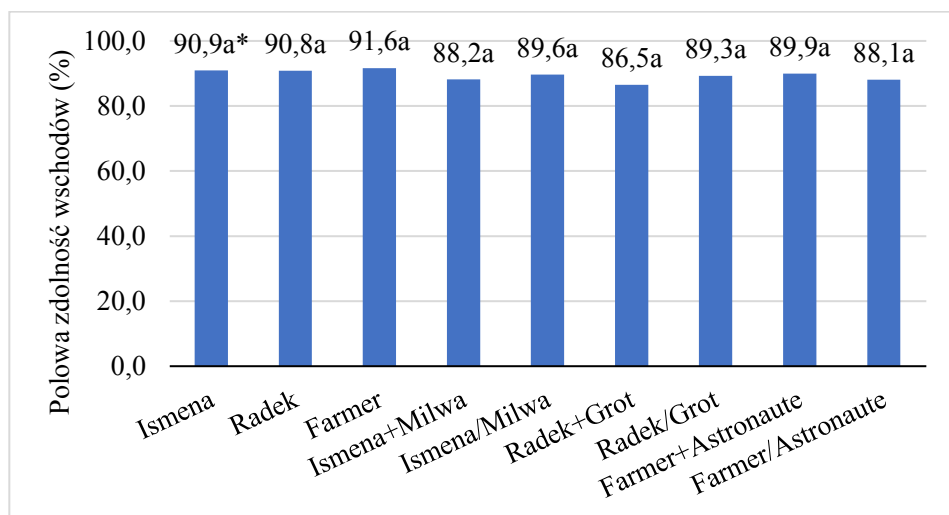
5.1.1.3. Polowa zdolność wschodów

Polowa zdolność wschodów jęczmienia jarego była nie mniejsza niż 83,3% i w każdym roku, z wyjątkiem 2024, zależała od sposobu siewu (tab. 7). W drugim roku badań sposób siewu nie wpłynął natomiast istotnie na wschody rośliny zbożowej. W 2023 roku najlepiej weszły rośliny odmiany ‘Farmer’, której PZW wyniosła 92,1%, istotnie gorzej odmiany ‘Ismena’ wysianej współrzędnie z grochem ‘Milwa’, a zwłaszcza odmiany ‘Radek’ we współrzędnej mieszance z grochem ‘Grot’. Natomiast w 2025 roku największą PZW stwierdzono na obiektach, na których wysiano odmiany ‘Ismena’ i ‘Radek’, ale istotnie mniejszą tylko w mieszance współrzędnej odmiany ‘Ismena’ z grochem ‘Milwa’. Średnio w okresie badań polowa zdolność wschodów jęczmienia jarego nie zależała od sposób siewu (rys. 10).

Tabela 7. Polowa zdolność wschodów jęczmienia jarego (%) w siewie jednogatunkowym i mieszankach z grochem siewnym w latach badań

Obiekt	Rok		
	2023	2024	2025
Ismena	89,8 abc*	87,7 a	95,3 a
Radek	90,7 ab	87,4 a	94,5 a
Farmer	92,1 a	88,6 a	94,0 ab
Ismena+Milwa	84,6 bc	93,3 a	86,5 b
Ismena/Milwa	89,3 abc	89,9 a	89,6 ab
Radek+Grot	83,3 c	86,5 a	89,8 ab
Radek/Grot	89,5 abc	89,5 a	88,8 ab
Farmer+Astronaute	88,0 abc	89,8 a	92,0 ab
Farmer/Astronaute	87,9 abc	86,3 a	90,1 ab

* – ta sama litera w kolumnie oznacza brak istotnego różnicowania wyników przy p = 0,05



Rys. 10. Polowa zdolność wschodów jęczmienia jarego w siewie jednogatunkowym i mieszankach z grochem siewnym – średnio w okresie badań

* – ta sama litera nad kolumnami oznacza brak istotnego statystycznie zróżnicowania wyników przy $p = 0,05$

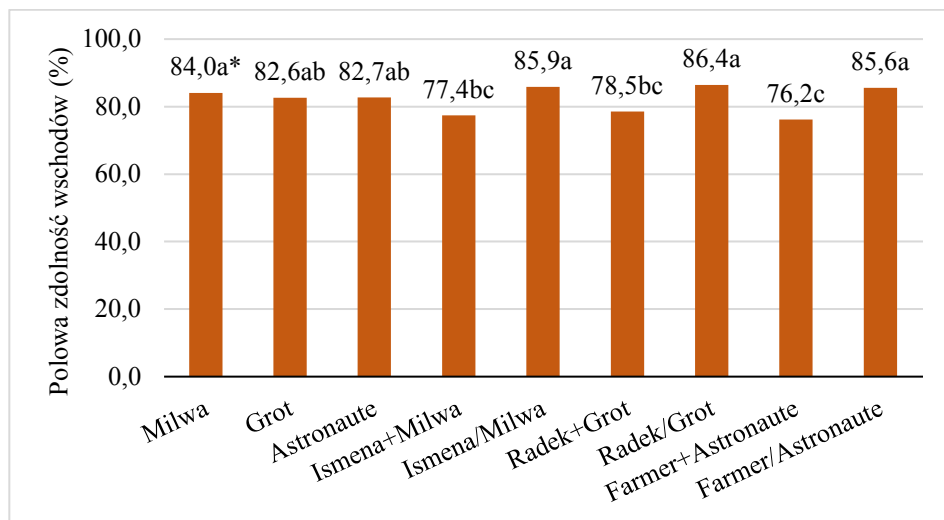
Sposób siewu wpłynął natomiast istotnie na polową zdolność wschodów grochu siewnego zarówno w kolejnych latach (tab. 8), jak i średnio w okresie badań (rys. 11). W 2023 roku odsetek roślin po wschodach w stosunku do gęstości siewu każdej jego odmiany w mieszankach na przemian rzędowych był istotnie większy niż w mieszankach współrzędnych i podobny jak w siewach czystych. Również w dwóch kolejnych latach polowa zdolność wschodów grochu wysianego w mieszankach na przemian rzędowych była istotnie większa niż w mieszankach współrzędnych tych samych jego odmian. Tylko w 2024 roku PZW grochu ‘Milwa’ i w 2025 odmiany ‘Grot’ nie zależała od rodzaju mieszanki.

Tabela 8. Polowa zdolność wschodów grochu siewnego (%) w siewie jednogatunkowym i mieszankach z jęczmieniem jarym w latach badań

Obiekt	Rok		
	2023	2024	2025
Milwa	84,1 ab*	80,0 abc	87,8 a
Grot	83,0 ab	79,3 abc	85,5 abc
Astronaute	82,9 ab	78,8 bc	86,4 ab
Ismena+Milwa	76,5 bc	75,6 c	80,2 cd
Ismena/Milwa	88,9 a	82,3 abc	86,5 ab
Radek+Grot	77,3 bc	77,5 bc	80,8 bcd
Radek/Grot	87,3 a	85,4 a	86,5 ab
Farmer+Astronaute	73,5 c	75,8 c	79,2 d
Farmer/Astronaute	86,2 a	83,9 ab	86,6 ab

* – ta sama litera w kolumnie oznacza brak istotnego zróżnicowania wyników przy $p = 0,05$

Średnio w trzyletnim okresie doświadczeń polowa zdolność wschodów grochu siewnego odmian ‘Milwa’ i ‘Astronaute’ w siewie czystym była na tym samym poziomie, co w mieszankach na przemian rzędowych i istotnie większa niż w mieszankach współrzędnych. Rośliny odmiany ‘Grot’ najlepiej wschodziły również w mieszance na przemian rzędowej, ale jej PZW w mieszance współrzędnej i siewie czystym nie różniła się istotnie.



Rys. 11. Polowa zdolność wschodów grochu siewnego w siewie jednogatunkowym i mieszankach z jęczmieniem jarym – średnio w okresie badań

* – ta sama litera nad kolumnami oznacza brak istotnego statystycznie zróżnicowania wyników przy $p = 0,05$

5.1.2. Faza wzrostu i rozwoju BBCH 51-61

5.1.2.1. Plon zielonej masy

Plon zielonej masy w fazie BBCH 51-61 był zróżnicowany w latach badań oraz w zależności od obiektu doświadczenia – sposób siewu i rozmieszczenie roślin jęczmienia jarego oraz grochu siewnego w łanie (tab. 9). Najlepiej plonującą uprawą zarówno w poszczególnych latach, jak i średnio w całym okresie była mieszanka na przemian rzędowa jęczmienia ‘Radek’ i grochu ‘Grot’. Jej plon nie różnił się jednak istotnie od plonów na przemian rzędowych mieszanek: Farmer/Astronaute – 2023 rok i średnio w latach 2023-2025 oraz Farmer/Astronaute i Ismena/Milwa – 2025 rok. Istotnie większy plon zielonej masy mieszanek na przemian rzędowych od współrzędnych miał miejsce w każdym roku, ale nie w odniesieniu do wszystkich odmian. W 2023 i 2024 roku oraz średnio w całym okresie badań łączny plon odmian ‘Ismena’ i ‘Milwa’ nie zależał od rodzaju mieszanki.

Spośród odmian jęczmienia jarego najgorzej plonującą była ‘Ismena’. Plon jej zielonej masy w siewie czystym, z wyjątkiem 2025 roku, był istotnie mniejszy

od plonu pozostałych odmian, które plonowały na podobnym poziomie. W 2025 roku plon odmian ‘Ismena’ i ‘Farmer’ nie różnił się istotnie. Z kolei największy plon świeżej masy grochu siewnego uzyskano z czystego siewu odmian ‘Grot’ – 2023 rok oraz ‘Grot’ i ‘Astronaute’ – pozostałe lata i średnio w całym okresie.

Tabela 9. Plon zielonej masy (t ha⁻¹) jęczmienia jarego i grochu siewnego w siewach czystych oraz ich mieszanek w fazie BBCH 51-61

Obiekt	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena	19,17	23,27	25,20	22,55
Radek	23,18	28,09	28,09	26,45
Farmer	21,79	28,45	26,16	25,47
Milwa	17,75	24,35	28,12	23,41
Grot	24,68	28,29	32,12	28,36
Astronaute	22,19	27,35	30,05	26,53
Ismena+Milwa	25,73	31,90	33,15	30,26
Ismena/Milwa	27,03	31,22	37,86	32,04
Radek+Grot	28,30	32,24	35,19	31,91
Radek/Grot	30,79	36,06	39,87	35,57
Farmer+Astronaute	26,22	30,01	35,95	30,73
Farmer/Astronaute	29,41	34,10	39,06	34,19
NIR _{p=0,05}	2,344	1,811	2,414	1,965

Plon zielonej masy jęczmienia jarego jako komponentu mieszanki średnio w okresie badań polowych nie zależał od jej rodzaju, czyli rozmieszczenia roślin w łanie (tab. 10). W poszczególnych latach, głównie 2023 i 2024, ujawniła się natomiast tendencja większego jego plonu w mieszkach współrzędnych niż na przemian rzędowych, która w odniesieniu do odmian ‘Radek’ (2023 r.) i ‘Ismena’ (2024 r.) przekroczyła granicę statystycznej istotności. Podobnie, odmiana ‘Farmer’ w 2025 roku lepiej plonowała w mieszance współrzędnej niż na przemian rzędowej.

Z kolei plon zielonej masy grochu siewnego każdej odmiany bez wyjątku w poszczególnych latach i średnio w okresie 2023-2025 był istotnie większy w mieszance na przemian rzędowej niż współrzędnej (tab. 11).

Tabela 10. Plon zielonej masy (t ha⁻¹) jęczmienia jarego jako komponentu mieszanek z grochem siewnym w fazie BBCH 51-61

Mieszanka	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena *+Milwa	15,59	17,67	16,67	16,64
Ismena /Milwa	14,59	15,20	17,11	15,63
Radek +Grot	15,99	16,80	17,42	16,74
Radek /Grot	14,84	16,66	17,46	16,32
Farmer +Astronaute	14,50	16,51	18,69	16,57
Farmer /Astronaute	14,29	16,23	16,37	15,63
NIR _{p=0,05}	1,137	1,328	1,176	n.i.

* – czcionka bold – nazwa odmiany jęczmienia jarego

Tabela 11. Plon zielonej masy (t ha⁻¹) grochu siewnego jako komponentu mieszanek z jęczmieniem jarym w fazie BBCH 51-61

Mieszanka	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena+ Milwa *	10,14	14,23	16,47	13,61
Ismena/ Milwa	12,43	16,01	20,75	16,40
Radek+ Grot	12,31	15,44	17,77	15,17
Radek/ Grot	15,95	19,40	22,41	19,25
Farmer+ Astronaute	11,72	13,51	17,26	14,16
Farmer/ Astronaute	15,11	17,87	22,69	18,56
NIR _{p=0,05}	0,758	1,033	1,013	2,077

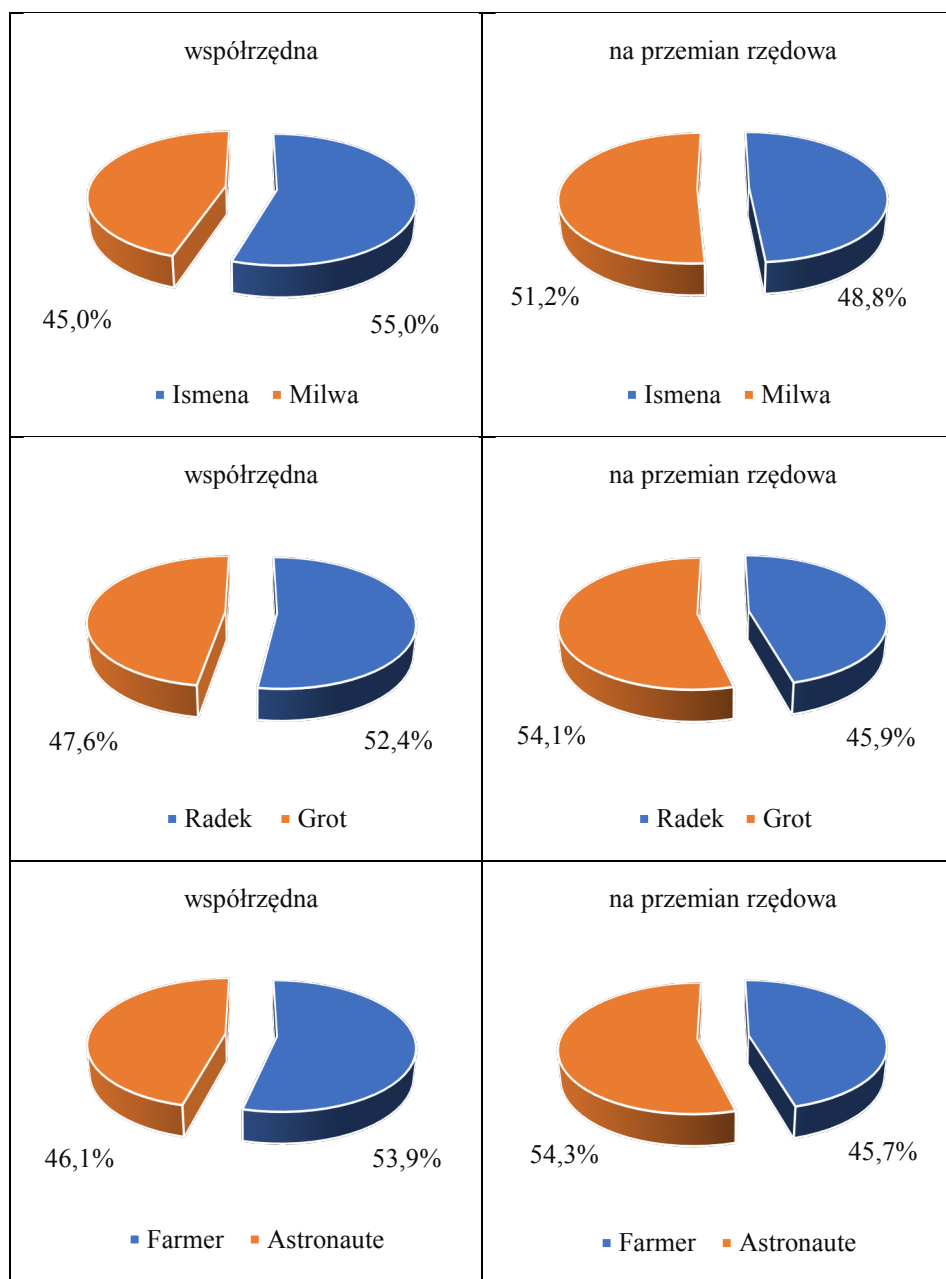
* – czcionka bold – nazwa odmiany grochu siewnego

Udział komponentów w plonie zielonej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61 był wynikiem zróżnicowania plonów odmian jęczmienia jarego i grochu siewnego w latach wskutek różnego rozmieszczenia roślin w łanie zależnego od sposobu siewu (tab. 12). Jęczmień jary przeważał w plonie mieszanek współrzędnych: odmiana ‘Ismena’ – wszystkie lata, ‘Radek’ – 2023 i 2024 rok, ‘Farmer’ – wszystkie lata. Większy udział jęczmienia w plonie mieszanek na przemian rzędowych miał miejsce tylko w uprawie odmiany ‘Ismena’ w 2023 roku.

Średnio w okresie badań (rys. 12) jęczmień jary, niezależnie od odmiany, miał większy udział w plonie zielonej masy mieszanek współrzędnych, a groch siewny mieszanek na przemian rzędowych. Różnica bezwzględna udziału jęczmienia w plonie mieszanek współrzędnych w porównaniu z grochem wyniosła 4,8-10,0 punktów procentowych, a przewaga grochu nad jęczmieniem w mieszkach na przemian rzędowych 2,4-8,6 p.p.

Tabela 12. Udział (%) komponentów w plonie zielonej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61 w latach badań

Mieszanka	Rok					
	2023		2024		2025	
	Komponent					
	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Ismena+Milwa	60,6	39,4	55,4	44,6	50,3	49,7
Ismena/Milwa	54,0	46,0	48,7	51,3	45,2	54,8
Radek+Grot	56,5	43,5	52,1	47,9	49,5	50,5
Radek/Grot	48,2	51,8	46,2	53,8	43,8	56,2
Farmer+Astronaute	55,3	44,7	55,0	45,0	52,0	48,0
Farmer/Astronaute	48,6	51,4	47,6	52,4	41,9	58,1



Rys. 12. Udział (%) komponentów w plonie zielonej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61, średnio w okresie badań

5.1.2.2. Plon suchej masy

Zawartość suchej masy w zielonej masie jęczmienia jarego w fazie BBCH 51-61 była średnio w latach 2023-2025 większa niż w biomacie grochu siewnego, choć nie stwierdzono istotnej różnicy między odmianami obu gatunków roślin (tab. 13). Również tylko tendencję większej zawartości suchej masy stwierdzono w masie zielonej mieszanek na przemian rzędowych w porównaniu z współrzędnymi. Wyniki takie wystąpiły także w poszczególnych latach. Wyjątkiem jest jedynie istotnie większa zawartość suchej masy w zielonej masie jęczmienia odmiany ‘Radek’ w porównaniu z ‘Ismeną’ w 2024 roku i odmiany ‘Ismena’ w porównaniu z innymi odmianami w 2025 roku. W tym roku istotnie większa była również zawartość suchej masy w biomacie grochu ‘Milwa’ niż ‘Grot’. Z kolei koncentracja suchej masy w zielonce mieszanek była pośrednia między jej zawartością w obu komponentach, mniejsza niż u jęczmienia, a większa niż u grochu. Natomiast różnice te nie zawsze były istotne statystycznie.

Tabela 13. Zawartość suchej masy (%) w zielonej masie jęczmienia jarego i grochu siewnego w siewach czystych oraz ich mieszanek w fazie BBCH 51-61

Obiekt	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena	18,3	18,9	21,2	19,5
Radek	18,0	19,7	20,3	19,3
Farmer	18,2	19,6	19,9	19,2
Milwa	15,7	17,2	18,7	17,2
Grot	16,3	17,6	17,9	17,3
Astronaute	16,3	17,3	18,0	17,2
Ismena+Milwa	17,2	18,0	19,7	18,3
Ismena/Milwa	17,3	18,2	20,1	18,5
Radek+Grot	17,0	17,2	19,4	17,9
Radek/Grot	17,2	17,4	19,7	18,1
Farmer+Astronaute	16,9	16,9	18,5	17,4
Farmer/Astronaute	17,2	17,2	19,0	17,8
NIR _{p=0,05}	0,61	0,70	0,72	1,33

Średnio w okresie badań największy plon suchej masy w siewach czystych osiągnął ‘Radek’, podobny jak ‘Farmer’ – odmiany jęczmienia, a także ‘Grot’ – odmiana grochu. Istotnie mniejsze były plony jęczmienia ‘Ismena’ oraz grochu ‘Astronaute’ i ‘Milwa’. Mniejsze, choć nie zawsze istotnie, plony grochu siewnego odmian ‘Astronaute’ i ‘Milwa’ niż ‘Grot’ wystąpiły również w poszczególnych latach. Natomiast istotna różnica plonu suchej masy odmian jęczmienia miała miejsce tylko w 2023 roku (tab. 14).

Plon suchej masy mieszanki z udziałem jęczmienia ‘Ismena’ i grochu ‘Milwa’ nie zależał średnio w okresie badań od sposobu ich siewu – rodzaju mieszanki, natomiast plon pozostałych mieszanek był istotnie większy, gdy rośliny

zbożowa i strączkowa występowały w oddzielnych na przemian położonych rzędach. Taka sama zależność plonu suchej masy mieszanek od sposobu rozmieszczenia roślin w łanie wystąpiła w poszczególnych latach badań. Wyjątkiem był 2025 rok, kiedy plon wszystkich mieszanek na przemian rzędowych przewyższał istotnie plon mieszanek współrzędnych.

Tabela 14. Plon suchej masy ($t\ ha^{-1}$) jęczmienia jarego i grochu siewnego w siewach czystych oraz ich mieszanek w fazie BBCH 51-61

Obiekt	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena	3,50	4,39	5,35	4,41
Radek	4,16	5,54	5,69	5,13
Farmer	3,97	5,58	5,21	4,92
Milwa	2,79	4,18	5,26	4,08
Grot	4,02	4,97	5,76	4,92
Astronaute	3,61	4,74	5,40	4,58
Ismena+Milwa	4,42	5,73	6,52	5,56
Ismena/Milwa	4,68	5,68	7,60	5,99
Radek+Grot	4,81	5,55	6,82	5,73
Radek/Grot	5,29	6,28	7,84	6,47
Farmer+Astronaute	4,44	5,07	6,66	5,39
Farmer/Astronaute	5,05	5,87	7,41	6,11
NIR _{p=0,05}	0,380	0,427	0,492	0,460

Jęczmień jary jako komponent mieszanek plonował na podobnym poziomie w obu rodzajach mieszanek z grochem siewnym i to niezależnie od jego odmiany (tab. 15). Średnio w okresie badań oraz w poszczególnych latach, zwłaszcza w 2023 roku, zaznaczyła się tylko tendencja większego plonu, gdy jęczmień występował współrzędnie, a nie na przemian rzędowo z rośliną strączkową. Natomiast plon suchej masy odmian ‘Ismena’ w 2024 roku i ‘Farmer’ w 2025 roku był istotnie większy w mieszance współrzędnej niż na przemian rzędowej.

Tabela 15. Plon suchej masy ($t\ ha^{-1}$) jęczmienia jarego jako komponentu mieszanek z grochem siewnym w fazie BBCH 51-61

Mieszanka	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena* +Milwa	2,82	3,24	3,47	3,18
Ismena /Milwa	2,69	2,84	3,56	3,03
Radek +Grot	2,88	3,37	3,54	3,26
Radek /Grot	2,69	3,35	3,61	3,22
Farmer +Astronaute	2,63	3,25	3,64	3,17
Farmer /Astronaute	2,62	3,23	3,24	3,03
NIR _{p=0,05}	0,240	0,285	0,311	n.i.

* – czcionka bold – nazwa odmiany jęczmienia jarego

Tabela 16. Plon suchej masy (t ha⁻¹) grochu siewnego jako komponentu mieszanek z jęczmieniem jarym w fazie BBCH 51-61

Mieszanaka	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena+ Milwa *	1,57	2,54	2,98	2,36
Ismena/ Milwa	1,96	2,89	3,84	2,90
Radek+ Grot	2,01	2,72	3,15	2,63
Radek/ Grot	2,64	3,49	3,92	3,35
Farmer+ Astronaute	1,89	2,33	3,15	2,46
Farmer/ Astronaute	2,47	3,08	4,21	3,25
NIR _{p=0,05}	0,134	0,228	0,276	0,547

* – czcionka bold – nazwa odmiany grochu siewnego

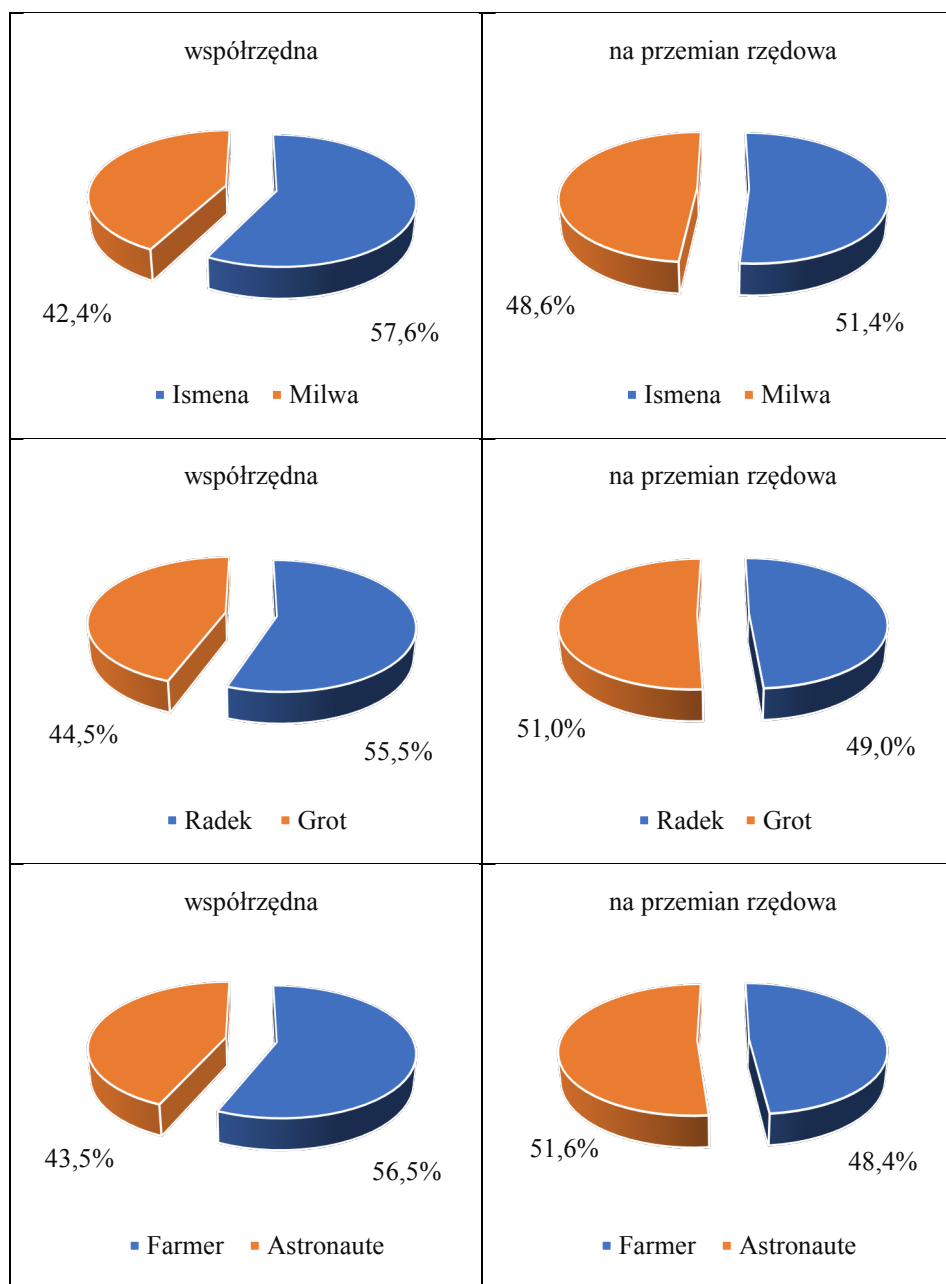
Plon suchej masy grochu siewnego, wszystkich odmian, w każdym roku i średnio w latach 2023-2025 w mieszkach na przemian rzędowych z jęczmieniem jarym był istotnie większy niż w mieszkach współrzędnych. Tylko średnio w okresie badań różnica plonów w obu rodzajach mieszanki jęczmienia ‘Ismena’ i grochu ‘Milwa’ nie osiągnęła statystycznej istotności (tab. 16).

We wszystkich latach badań suchą masę mieszanek współrzędnych w fazie BBCH 51-61 stanowił w przewadze jęczmień jary. Jego udział w plonie wynosił od 52,9% do 64,2% (tab. 17). Z kolei w mieszkach na przemian rzędowych tylko w 2023 roku sucha masa jęczmienia wszystkich odmian i w 2024 roku odmiany ‘Farmer’ była głównym komponentem plonu.

Średnio w latach badań w plonie suchej masy wszystkich mieszanek współrzędnych dominował jęczmień jary. Jego udział wynosił od 55,5-57,6% (rys. 13). Udział komponentów w plonie suchej masy mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 51-61 był bardziej wyrównany niż w plonie upraw współrzędnych. W mieszance jęczmienia ‘Ismena’ i grochu ‘Milwa’ nieznacznie przeważał jęczmień – 51,4%, a w pozostałych dwóch groch – 51,0% i 51,6%.

Tabela 17. Udział (%) komponentów w plonie suchej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61 w latach badań

Mieszanka	Rok					
	2023		2024		2025	
	Komponent					
	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Ismena+Milwa	64,2	35,8	56,1	43,9	53,8	46,2
Ismena/Milwa	57,8	42,2	49,5	50,5	48,1	51,9
Radek+Grot	58,9	41,1	55,3	44,7	52,9	47,1
Radek/Grot	50,5	49,5	49,0	51,0	48,0	52,0
Farmer+Astronaute	58,2	41,8	58,2	41,8	53,6	46,4
Farmer/Astronaute	51,4	48,6	51,2	48,8	43,5	56,5



Rys. 13. Udział (%) komponentów w plonie suchej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61, średnio w okresie badań

5.1.2.3. Plon białka

Najwięcej białka zarówno w kolejnych latach badań, jak i całym ich okresie zawierała sucha masa grochu ‘Milwa’. W masie tych roślin występowało istotnie więcej białka niż w suchej masie pozostałych odmian grochu, odmian jęczmienia i wszystkich mieszanek (tab. 18). Wyjątkiem był groch ‘Astronaute’ – 2023 rok oraz ‘Astronaute’ i ‘Grot’ – 2024 rok. Odmiany jęczmienia jarego nie różniły się pod względem zawartości białka w suchej masie w fazie BBCH 51-61 i tylko w 2025 roku w suchej masie odmiany ‘Ismena’ stwierdzono mniej białka niż w masie pozostałych odmian. Zawartość białka w suchej masie na przemian rzędowych mieszanek zbożowo-strączkowych była większa niż mieszanek współrzędnych. Statystycznie różnice zawartości białka były istotne, jak w mieszanekach jęczmienia ‘Radek’ i grochu ‘Grot’ średnio w latach 2023-2025, czy ‘Radek’ i ‘Grot’ oraz ‘Farmer’ i ‘Astronaute’ w 2025 roku, a także ‘Ismena’ i ‘Milwa’ oraz ‘Radek’ i ‘Grot’ w 2023 roku. W pozostałych mieszankach była to wyraźna tendencja.

Tabela 18. Zawartość białka (%) w suchej masie jęczmienia jarego i grochu siewnego w siewach czystych oraz ich mieszanek w fazie BBCH 51-61

Obiekt	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena	11,50	10,08	8,85	10,14
Radek	11,63	9,53	9,98	10,38
Farmer	10,93	9,85	10,13	10,30
Milwa	22,18	18,10	19,08	19,79
Grot	21,18	17,58	17,60	18,79
Astronaute	21,40	17,75	16,95	18,70
Ismena+Milwa	15,33	14,13	15,18	14,88
Ismena/Milwa	16,58	14,63	14,83	15,35
Radek+Grot	15,18	12,90	12,85	13,64
Radek/Grot	16,50	13,60	13,70	14,60
Farmer+Astronaute	15,65	13,63	13,10	14,13
Farmer/Astronaute	16,55	13,80	14,00	14,78
NIR _{p=0,05}	0,954	0,866	0,783	0,899

Plon białka suchej masy roślin w fazie BBCH 51-61, w każdym roku i średnio w latach 2023-2025, zależał od sposobu siewu i rozmieszczenia roślin jęczmienia jarego oraz grochu siewnego w łanie (tab. 19). Bezwzględnie najwięcej białka, z wyjątkiem 2025 roku, zebrano z obiektów, gdzie występował groch ‘Grot’ w siewie czystym lub mieszance na przemian rzędowej. Plon białka na niektórych innych obiektach był statystycznie taki sam i zawsze była to uprawa z udziałem rośliny strączkowej. Groch każdej odmiany w siewie czystym zapewniał istotnie większy plon białka niż odmiany jęczmienia jarego, a uprawiany w mieszance na przemian rzędowej niż we współrzędnej. Wyjątkiem był plon

białka suchej masy mieszanek jęczmienia ‘Ismena’ i grochu ‘Milwa’ w 2024 roku, kiedy plon białka suchej masy obu mieszanek był podobny.

Tabela 19. Plon białka ($t\ ha^{-1}$) suchej masy jęczmienia jarego i grochu siewnego w siewach czystych oraz ich mieszanek w fazie BBCH 51-61

Obiekt	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena	0,403	0,443	0,473	0,440
Radek	0,483	0,528	0,567	0,526
Farmer	0,434	0,549	0,527	0,503
Milwa	0,619	0,757	1,003	0,793
Grot	0,850	0,874	1,013	0,912
Astronaute	0,773	0,841	0,915	0,843
Ismena+Milwa	0,678	0,810	0,990	0,826
Ismena/Milwa	0,776	0,831	1,127	0,911
Radek+Grot	0,730	0,715	0,877	0,774
Radek/Grot	0,872	0,855	1,075	0,934
Farmer+Astronaute	0,694	0,691	0,873	0,753
Farmer/Astronaute	0,836	0,811	1,037	0,895
NIR _{p=0,05}	0,070	0,085	0,091	0,084

Plon białka suchej masy odmian jęczmienia jarego jako komponentu mieszanek, średnio w okresie badań, nie zależał od sposobu siewu i rozmieszczenia względem siebie rośliny zbożowej oraz strączkowej (tab. 20). W poszczególnych latach plon białka jęczmienia jarego w mieszankach współrzędnych był większy niż w na przemian rzędowych, jednak istotnie tylko w 2024 roku w mieszance z grochem ‘Milwa’ i w 2025 roku w mieszance z grochem odmiany ‘Astronaute’.

Plon białka odmian grochu siewnego zarówno w kolejnych latach, jak i średnio w całym okresie badań zależał od sposobu rozmieszczenia roślin w mieszance (tab. 21). W każdym roku oraz średnio w latach 2023-2025 plon białka odmian grochu jako komponentu wszystkich bez wyjątku mieszanek na przemian rzędowych był istotnie większy niż mieszanek współrzędnych.

Tabela 20. Plon białka ($t\ ha^{-1}$) suchej masy jęczmienia jarego jako komponentu mieszanek z grochem siewnym w fazie BBCH 51-61

Mieszanka	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena* +Milwa	0,322	0,344	0,306	0,324
Ismena /Milwa	0,313	0,306	0,324	0,314
Radek +Grot	0,326	0,331	0,359	0,338
Radek /Grot	0,312	0,329	0,377	0,339
Farmer +Astronaute	0,277	0,327	0,383	0,329
Farmer /Astronaute	0,285	0,335	0,345	0,321
NIR _{p=0,05}	0,033	0,030	0,030	n.i.

* – czcionka bold – nazwa odmiany jęczmienia jarego

Tabela 21. Plon białka (t ha⁻¹) suchej masy grochu siewnego jako komponentu mieszank z jęczmieniem jarym w fazie BBCH 51-61

Mieszanka	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena+ Milwa *	0,347	0,465	0,583	0,465
Ismena/ Milwa	0,445	0,543	0,768	0,585
Radek+ Grot	0,412	0,484	0,562	0,486
Radek/ Grot	0,554	0,628	0,708	0,630
Farmer+ Astronaute	0,405	0,420	0,540	0,455
Farmer/ Astronaute	0,535	0,561	0,736	0,611
NIR _{p=0,05}	0,034	0,039	0,046	0,115

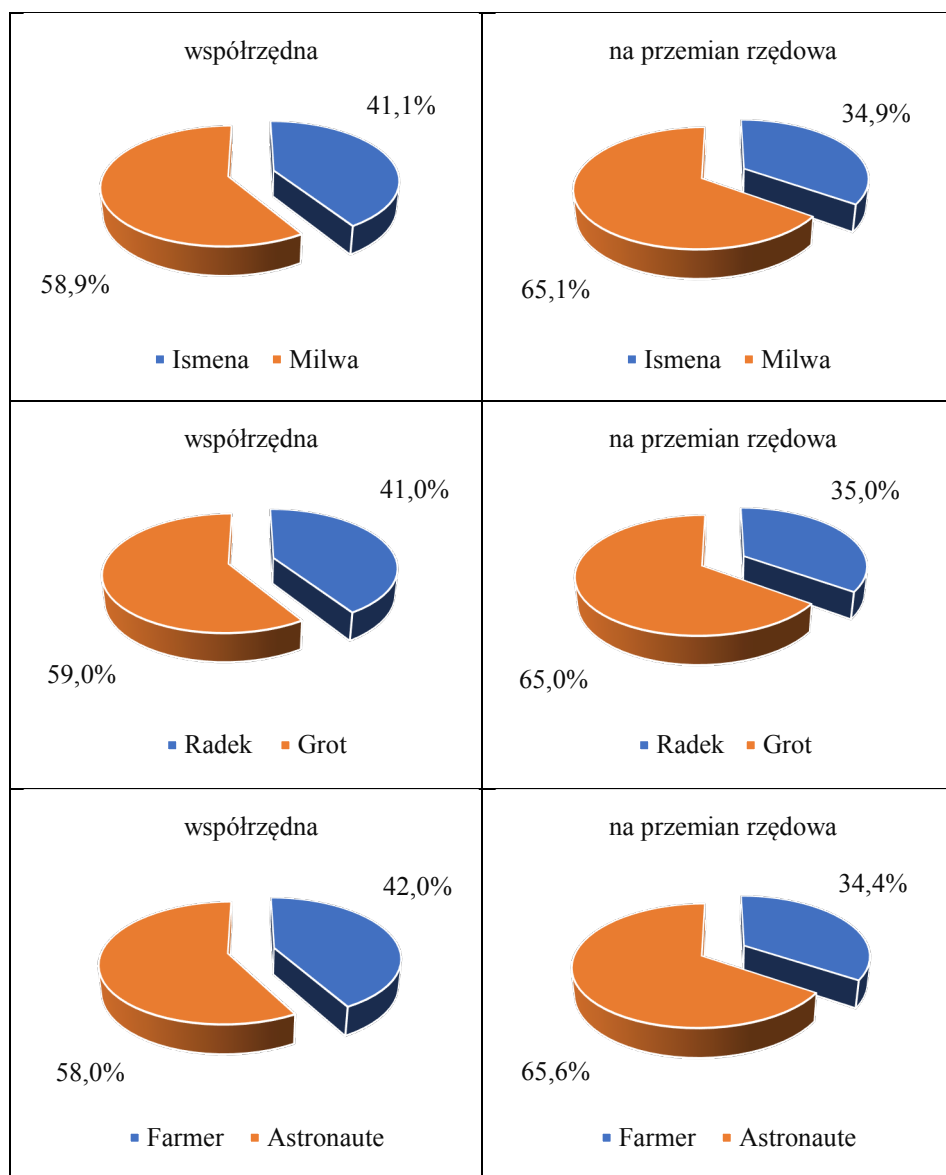
* – czcionka bold – nazwa odmiany grochu siewnego

Komponentem decydującym o plonie białka suchej masy obu rodzajów mieszanek w fazie BBCH 51-61 był groch siewny. W każdym roku i w odniesieniu do wszystkich odmian większy był udział grochu w plonie białka mieszanek na przemian rzędowych niż współrzędnych, a różnica sięgała nawet niemal 10 punktów procentowych – mieszanka jęczmienia ‘Farmer’ i grochu ‘Astronaute’ w 2025 roku (tab. 22).

Średnio w okresie badań również większy był udział grochu siewnego niż jęczmienia jarego w plonie białka suchej masy roślin (rys. 14). W mieszanekach współrzędnych stanowił on w zależności od odmiany 58,0-59,0%, a w mieszanekach na przemian rzędowych od 65,0% do 65,6%.

Tabela 22. Udział (%) komponentów w plonie białka suchej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61 w latach badań

Mieszanka	Rok					
	2023		2024		2025	
	Komponent					
	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Ismena+Milwa	48,1	51,9	42,5	57,5	34,4	65,6
Ismena/Milwa	41,3	58,7	36,0	64,0	29,7	70,3
Radek+Grot	44,2	55,8	40,6	59,4	39,0	61,0
Radek/Grot	36,0	64,0	34,4	65,6	34,7	65,3
Farmer+Astronaute	40,6	59,4	43,8	56,2	41,5	58,5
Farmer/Astronaute	34,8	65,2	37,4	62,6	31,9	68,1



Rys. 14. Udział (%) komponentów w plonie białka suchej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61, średnio w okresie badań

5.1.3. Faza wzrostu i rozwoju BBCH 89

5.1.3.1. Plon suchej masy

W fazie dojrzałości pełnej, BBCH 89, plon biomasy nadziemnej zależał od sposobu siewu i rozmieszczenia roślin w łanie (tab. 23). Plony suchej masy odmian jęczmienia jarego, nie różniące się statystycznie, były istotnie większe od

plonów odmian grochu siewnego, a średnio w okresie badań podobne do plonów mieszanek na przemian rzędowych. W każdym roku badań plon grochu odmian ‘Grot’ i ‘Astronaute’ był istotnie większy od plonu odmiany ‘Milwa’. Natomiast plon mieszanek na przemian rzędowych przewyższał, choć nie zawsze istotnie, plon mieszanek współrzędnych.

Tabela 23. Plon suchej masy ($t\ ha^{-1}$) jęczmienia jarego i grochu siewnego w siewach czystych i ich mieszanek w fazie BBCH 89

Obiekt	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena	11,10	11,23	12,68	11,67
Radek	10,82	11,92	13,29	12,01
Farmer	10,85	11,75	13,50	12,03
Milwa	6,66	7,25	7,01	6,97
Grot	8,05	9,12	8,06	8,41
Astronaute	7,77	8,31	8,28	8,12
Ismena+Milwa	9,98	10,50	10,33	10,27
Ismena/Milwa	10,81	11,17	11,90	11,29
Radek+Grot	10,12	11,36	11,31	10,93
Radek/Grot	11,22	12,53	13,49	12,41
Farmer+Astronaute	10,16	11,22	11,58	10,99
Farmer/Astronaute	11,12	12,76	13,64	12,51
NIR _{p=0,05}	0,905	1,075	0,998	0,802

Plon suchej masy jęczmienia jarego w mieszkankach średnio w okresie badań nie zależał od sposobu rozmieszczenia roślin odmian obu gatunków w łanie (tab. 24). Różna była natomiast reakcja jęczmienia jarego na sposób siewu w mieszkankach w poszczególnych latach. W 2024 roku plon suchej masy jęczmienia każdej odmiany był większy w mieszance współrzędnej niż na przemian rzędowej, a odmiany ‘Radek’ nawet istotnie. Z kolei w 2025 roku korzystniejszą dla plonu suchej masy jęczmienia, zwłaszcza odmian ‘Radek’ i ‘Farmer’, była mieszanka na przemian rzędowa.

Tabela 24. Plon suchej masy ($t\ ha^{-1}$) jęczmienia jarego jako komponentu mieszanek z grochem siewnym w fazie BBCH 89

Mieszanka	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena* +Milwa	7,14	7,28	7,36	7,26
Ismena /Milwa	7,21	6,98	7,47	7,22
Radek +Grot	6,97	7,53	7,48	7,33
Radek /Grot	7,32	6,82	7,94	7,36
Farmer +Astronaute	6,85	7,56	7,66	7,36
Farmer /Astronaute	6,63	7,27	8,08	7,33
NIR _{p=0,05}	0,371	0,405	0,396	n.i.

* – czcionka bold – nazwa odmiany jęczmienia jarego

Oddzielny wysiew jęczmienia jarego i grochu siewnego w na przemian położonych rzędach sprzyjał plonom suchej masy grochu. W fazie dojrzałości pełnej był on na tych obiektach istotnie większy niż w mieszankach współrzędnych (tab. 25). Zależność taka wystąpiła zarówno w każdym roku, jak i średnio w latach 2023-2025. Wyjątek stanowiła tylko mieszanka jęczmienia 'Ismena' i grochu 'Milwa' w 2023 roku. Na obiekcie tym plon suchej masy grochu siewnego w mieszance współrzędnej był o 0,24 t ha⁻¹ większy niż w na przemian rzędowej. Różnica ta nie osiągnęła jednak granicy statystycznej istotności.

Tabela 25. Plon suchej masy (t ha⁻¹) grochu siewnego jako komponentu mieszanek z jęczmieniem jarym w fazie BBCH 89

Mieszanka	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena+ Milwa *	2,84	3,22	2,97	3,01
Ismena/ Milwa	2,60	4,19	4,43	3,74
Radek+ Grot	3,15	3,83	3,83	3,60
Radek/ Grot	3,90	5,71	5,55	5,05
Farmer+ Astronaute	3,31	3,67	3,92	3,63
Farmer/ Astronaute	4,49	5,49	5,56	5,18
NIR _{p=0,05}	0,318	0,263	0,358	0,413

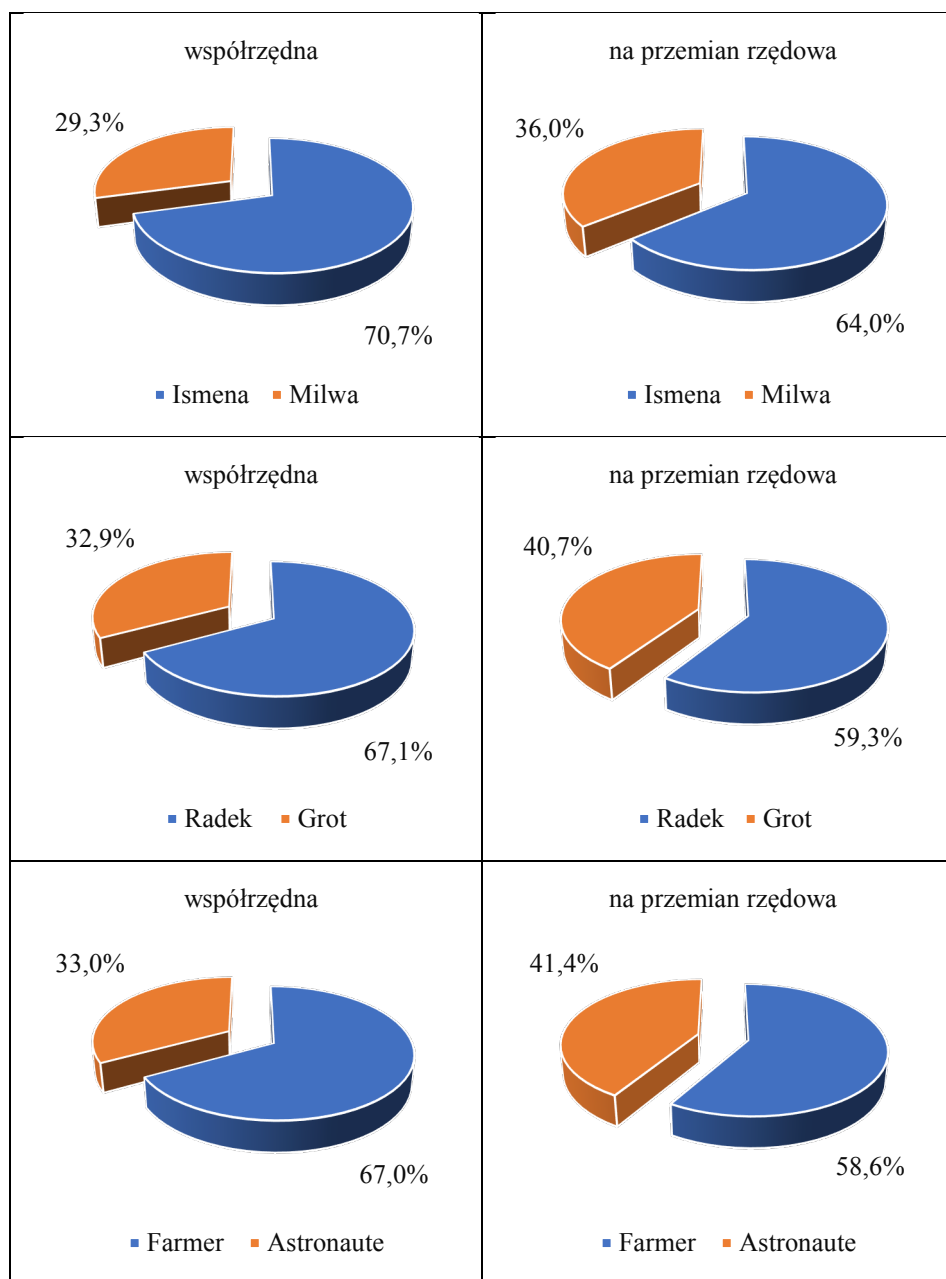
* – czcionka bold – nazwa odmiany grochu siewnego

Plon suchej masy wszystkich mieszanek w fazie BBCH 89 stanowił głównie jęczmień. Jego udział w mieszankach współrzędnych, w zależności od odmiany i roku, stanowił 66,1-71,5%. W mieszankach na przemian rzędowych był o kilka, kilkanaście punktów procentowych mniejszy, tj. od 54,4% do 66,7% (tab. 26).

Tabela 26. Udział (%) komponentów w plonie suchej masy mieszanek w fazie BBCH 89 w latach badań

Mieszanka	Rok					
	2023		2024		2025	
	Komponent					
	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Ismena+Milwa	71,5	28,5	69,3	30,7	71,2	28,8
Ismena/Milwa	66,7	33,3	62,5	37,5	62,8	37,2
Radek+Grot	68,9	31,1	66,3	33,7	66,1	33,9
Radek/Grot	65,2	34,8	54,4	45,6	58,9	41,1
Farmer+Astronaute	67,4	32,6	67,3	32,7	66,1	33,9
Farmer/Astronaute	59,6	40,4	57,0	43,0	59,2	40,8

Średnio w okresie badań udział jęczmienia w plonie suchej masy mieszanek współrzędnych wyniósł 67,0-70,7%, a na przemian rzędowych 58,6-64,0% i w każdym przypadku był największy u odmiany 'Ismena' (rys. 15).



Rys. 15. Udział (%) komponentów w plonie suchej masy mieszanek w fazie BBCH 89, średnio w okresie badań

5.1.3.2. Plon białka

Średnia w latach zawartość białka w suchej masie wszystkich odmian jęczmienia jarego w fazie dojrzałości pełnej była podobna i istotnie mniejsza niż grochu siewnego, którego odmiany również nie różniły się istotnie pod względem tej cechy (tab. 27). Zawartość białka w biomasie nadziemnej mieszanek na przemian rzędowych przewyższała tę zawartość w mieszkankach współrzędnych, choć w przypadku wspólnego siewu jęczmienia ‘Ismena’ i grochu ‘Milwa’ różnica była nieistotna.

Brak istotnego zróżnicowania zawartości białka w suchej masie poszczególnych odmian jęczmienia jarego i grochu siewnego wystąpił też w latach badań, z wyjątkiem odmiany ‘Ismena’ w 2025 roku i odmian grochu w 2023 roku. W każdym roku zawartość białka w biomasie mieszanek na przemian rzędowych była istotnie większa niż w suchej masie mieszanek współrzędnych. Tylko w 2023 roku wartość tej cechy dla biomasy obu rodzajów mieszanki jęczmienia ‘Radek’ i grochu ‘Grot’ nie różniła się istotnie.

Tabela 27. Zawartość białka (%) w suchej masie jęczmienia jarego i grochu siewnego w zasiewach czystych i ich mieszanek w fazie BBCH 89

Obiekt	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena	8,51	8,11	8,53	8,39
Radek	8,13	7,94	8,10	8,05
Farmer	8,21	8,22	8,11	8,18
Milwa	17,30	16,26	16,08	16,54
Grot	17,04	16,28	16,34	16,55
Astronaute	16,85	16,15	16,25	16,44
Ismena+Milwa	10,85	10,56	10,67	10,70
Ismena/Milwa	11,26	11,22	11,26	11,25
Radek+Grot	11,03	10,87	10,26	10,72
Radek/Grot	11,41	11,94	11,29	11,55
Farmer+Astronaute	11,22	10,95	10,57	10,91
Farmer/Astronaute	11,75	11,91	11,62	11,76
NIR _{p=0,05}	0,405	0,370	0,343	0,812

Największy plon białka suchej masy roślin, średnio w latach 2023-2025, zebrano wraz z mieszkankami na przemian rzędowymi Farmer/Astronaute i Radek/Grot oraz z czystych siewów grochu ‘Astronaute’ oraz ‘Grot’ (tab. 28). Plon białka z czystych siewów poszczególnych odmian jęczmienia jarego, średnio w latach badań i w żadnym roku, nie różnił się istotnie. Natomiast plon odmiany grochu ‘Grot’ przewyższał plon odmiany ‘Milwa’, który z kolei średnio w latach badań i w 2025 roku, był na poziomie plonów białka odmian jęczmienia.

W każdym roku plon białka biomasy mieszanek na przemian rzędowych w fazie pełni dojrzwiania był bez wyjątku większy od plonu mieszanek współrzędnych. Z kolei najmniejszy plon rośliny strączkowej – ‘Milwa’ istotnie, z wyjątkiem 2025 roku, przewyższał plon białka każdej odmiany jęczmienia jarego.

Tabela 28. Plon białka (t ha⁻¹) suchej masy jęczmienia jarego i grochu siewnego w siewach czystych i ich mieszanek w fazie BBCH 89

Obiekt	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena	0,945	0,911	1,082	0,979
Radek	0,879	0,946	1,075	0,967
Farmer	0,891	0,966	1,095	0,984
Milwa	1,153	1,179	1,127	1,153
Grot	1,373	1,484	1,316	1,391
Astronaute	1,310	1,341	1,344	1,332
Ismena+Milwa	1,082	1,110	1,103	1,098
Ismena/Milwa	1,216	1,253	1,340	1,270
Radek+Grot	1,116	1,235	1,160	1,170
Radek/Grot	1,280	1,495	1,523	1,433
Farmer+Astronaute	1,139	1,229	1,224	1,197
Farmer/Astronaute	1,307	1,520	1,584	1,470
NIR _{p=0,05}	0,105	0,140	0,130	0,198

Plon białka suchej masy jęczmienia jako komponentu mieszanek choć zależał w kolejnych latach od sposobu siewu i rozmieszczenia roślin w łanie, to średnio w okresie badań był na tym samym poziomie (tab. 29). W 2025 roku plon odmian jęczmienia w mieszankach na przemian rzędowych przewyższał plon w mieszankach współrzędnych, mimo że nie w każdym przypadku różnica była istotna statystycznie. Natomiast w latach 2023 i 2024 to plon białka jęczmienia w mieszankach współrzędnych był większy, choć nie zawsze istotnie, z wyjątkiem wspólnego siewu jęczmienia ‘Radek’ z grochem ‘Grot’ w 2023 roku.

Tabela 29. Plon białka (t ha⁻¹) suchej masy jęczmienia jarego jako komponentu mieszanek z grochem siewnym w fazie BBCH 89

Mieszanka	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena* +Milwa	0,630	0,598	0,620	0,616
Ismena /Milwa	0,618	0,579	0,639	0,612
Radek +Grot	0,579	0,616	0,593	0,596
Radek /Grot	0,632	0,576	0,653	0,620
Farmer +Astronaute	0,582	0,630	0,604	0,605
Farmer /Astronaute	0,577	0,610	0,658	0,615
NIR _{p=0,05}	0,041	0,049	0,045	n.i.

* – czcionka bold – nazwa odmiany jęczmienia jarego

Tabela 30. Plon białka (t ha⁻¹) suchej masy grochu siewnego jako komponentu mieszank z jęczmieniem jarym w fazie BBCH 89

Mieszanka	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena+ Milwa *	0,488	0,529	0,475	0,497
Ismena/ Milwa	0,624	0,697	0,719	0,680
Radek+ Grot	0,535	0,624	0,617	0,592
Radek/ Grot	0,671	0,948	0,908	0,842
Farmer+ Astronaute	0,570	0,592	0,636	0,599
Farmer/ Astronaute	0,782	0,909	0,918	0,869
NIR _{p=0,05}	0,047	0,048	0,059	0,150

* – czcionka bold – nazwa odmiany grochu siewnego

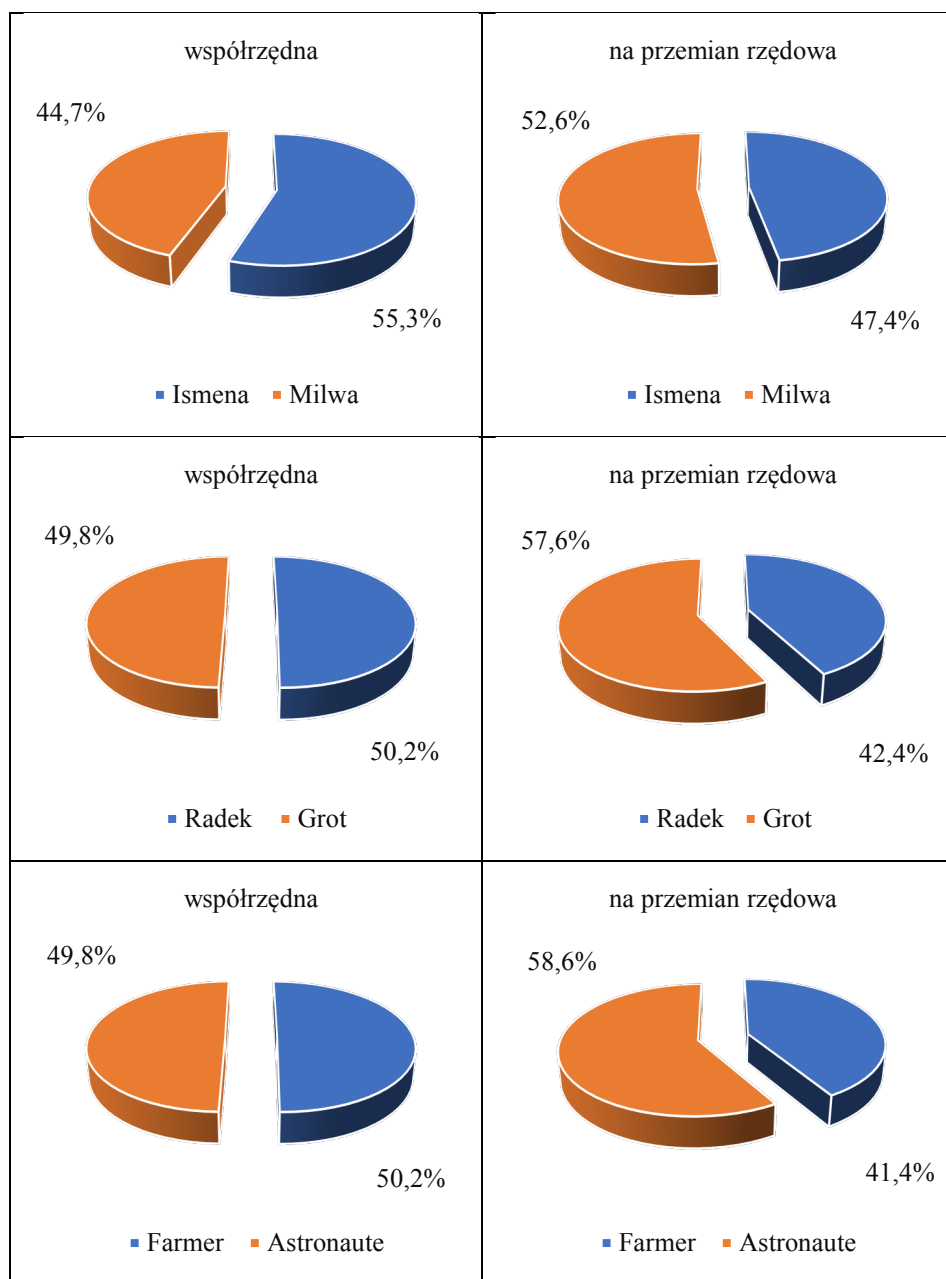
Z kolei istotne zróżnicowanie plonu białka suchej masy grochu w fazie dojrzałości pełnej w zależności od rodzaju mieszanki wystąpiło w każdym roku badań i średnio w latach 2023-2025 (tab. 30). Plon białka biomasy odmian grochu w mieszankach na przemian rzędowych przewyższał istotnie odpowiedni plon w mieszankach współrzędnych nawet o ponad 0,3 t ha⁻¹ – Farmer+Astronaute w 2024 roku, czy o blisko 0,3 t ha⁻¹ – wszystkie mieszanki w 2025 roku.

Jęczmień jary miał przeważający udział w plonie białka większości (sześć z dziewięciu) mieszank współrzędnych w kolejnych latach badań, natomiast o plonie białka wszystkich mieszank na przemian rzędowych decydował wkład grochu siewnego (tab. 31). Największy udział jęczmienia w plonie białka mieszanki wyniósł 56,6% – Ismena+Milwa w 2025 roku, a największy wkład grochu w plon białka suchej masy mieszanki w fazie dojrzałości pełnej to 62,2% – Radek/Grot 2024 rok.

Tabela 31. Udział (%) komponentów w plonie białka suchej masy mieszank w fazie BBCH 89 w latach badań

Mieszanka	Rok					
	2023		2024		2025	
	Komponent					
	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Ismena+Milwa	56,4	43,6	53,1	46,9	56,6	43,4
Ismena/Milwa	49,8	50,2	45,4	54,6	47,1	52,9
Radek+Grot	52,0	48,0	49,7	50,3	49,0	51,0
Radek/Grot	48,5	51,5	37,8	62,2	41,8	58,2
Farmer+Astronaute	50,5	49,5	51,6	48,4	48,7	51,3
Farmer/Astronaute	42,5	57,5	40,2	59,8	41,8	58,2

Średni w latach udział jęczmienia jarego jako komponentu plonu białka suchej masy roślin w fazie dojrzałości pełnej przekroczył 50% tylko w mieszankach współrzędnych o: 5,3 p.p. ‘Ismena’, 0,2 p.p. odmiany ‘Radek’ i ‘Farmer’ (rys. 16). W wielkość plonu białka mieszank na przemian rzędowych decydujący wkład miał groch siewny. Jego udział przekroczył 50% o: 2,6 p.p. – ‘Milwa’, 7,6 p.p. – ‘Grot’ i 8,6 p.p. – ‘Astronaute’.



Rys. 16. Udział (%) komponentów w plonie białka suchej masy mieszanek w fazie BBCH 89, średnio w okresie badań

5.1.4. Plon ziarna, nasion i białka

5.1.4.1. Plon ziarna i nasion

Średnio w okresie badań plon ziarna poszczególnych odmian jęczmienia jarego w siewie czystym nie różnił się i był istotnie większy od plonu nasion każdej odmiany grochu siewnego. Spośród odmian grochu najlepiej plonującymi były ‘Grot’ i ‘Astronaute’. Podobnie kształtowały się plony ziarna i nasion upraw jednogatunkowych w kolejnych latach, choć różnice plonów, nie tylko odmian grochu, ale i w niektórych przypadkach również jęczmienia osiągnęły poziom statystycznej istotności (tab. 32). Na przykład w 2024 roku plon ziarna jęczmienia ‘Ismena’ był istotnie mniejszy od plonu odmiany ‘Radek’.

W latach 2023, 2025 i średnio w okresie badań plon ziarna/nasion wszystkich na przemian rzędowych mieszanek odmian jęczmienia jarego z grochem siewnym był istotnie większy od plonu mieszanek współrzędnych. Natomiast w 2024 roku różnica plonów tych dwóch rodzajów mieszanek, na korzyść siewu na przemian rzędowego, była tylko tendencją.

Tabela 32. Plon ziarna/nasion ($t\ ha^{-1}$) jęczmienia jarego i grochu siewnego w siewach czystych i ich mieszanek

Obiekt	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena	5,65	6,14	6,58	6,12
Radek	5,38	6,63	7,03	6,35
Farmer	5,55	6,48	6,72	6,25
Milwa	3,11	3,96	4,03	3,70
Grot	3,93	4,61	4,60	4,38
Astronaute	3,75	4,33	4,87	4,32
Ismena+Milwa	5,09	6,00	5,50	5,53
Ismena/Milwa	5,53	6,27	6,18	5,99
Radek+Grot	5,15	6,41	5,76	5,77
Radek/Grot	5,76	6,46	6,73	6,32
Farmer+Astronaute	5,19	6,53	6,25	5,99
Farmer/Astronaute	5,63	6,79	6,81	6,41
NIR _{p=0,05}	0,423	0,371	0,470	0,343

Plon jęczmienia jarego w mieszankach z grochem siewnym średnio w latach 2023-2025 nie zależał od odmiany i sposobu rozmieszczenia roślin w łanie wskutek różnego siewu (tab. 33). Bezwzględna różnica plonu ziarna wyniosła $0,35\ t\ ha^{-1}$, a różnica względna plonu największego w stosunku do najmniejszego – 7,7%. W poszczególnych latach badań większy plon ziarna odmian jęczmienia był w mieszankach współrzędnych niż na przemian rzędowych, choć rzadko była to różnica istotna – tylko odmiana ‘Farmer’ w 2025 roku. Natomiast plon odmiany ‘Radek’ w 2023 roku w mieszance na przemian rzędowej przewyższał nieco (nieistotnie) plon w mieszance współrzędnej.

Tabela 33. Plon ziarna ($t\ ha^{-1}$) jęczmienia jarego jako komponentu mieszanek z grochem siewnym

Mieszanka	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena *+Milwa	3,70	4,09	4,22	4,00
Ismena /Milwa	3,61	3,95	4,03	3,86
Radek +Grot	3,68	3,81	4,26	3,92
Radek /Grot	3,81	3,57	4,01	3,80
Farmer +Astronaute	3,55	4,32	4,34	4,07
Farmer /Astronaute	3,40	3,97	3,98	3,78
NIR _{p=0,05}	0,374	0,396	0,349	n.i.

* – czcionka bold – nazwa odmiany jęczmienia jarego

Groch siewny wszystkich odmian plonował istotnie lepiej w mieszkach na przemian rzędowych niż współrzędnych zarówno w kolejnych latach, jak i średnio w okresie badań (tab. 34). W obu rodzajach mieszanek plon nasion odmian ‘Grot’ i ‘Astronaute’ był, z wyjątkiem 2023 roku, istotnie większy od plonu odmiany ‘Milwa’.

W każdym roku i w odniesieniu do wszystkich odmian decydującym komponentem plonu ziarna/nasion mieszanek, zwłaszcza współrzędnych, był jęczmień jary (tab. 35). Jego udział wyniósł od 76,7% – mieszanka współrzędna odmiany ‘Ismena’ z grochem ‘Milwa’ w 2025 roku do 55,3% – odmiana ‘Radek’ występujący na przemian rzędowo z grochem ‘Grot’ w 2024 roku. Udział jęczmienia w plonie ziarna/nasion każdej mieszanki współrzędnej był większy niż mieszanki na przemian rzędowej, a różnica wynosiła nawet 14,4 punktów procentowych – mieszanki jęczmienia jarego ‘Radek’ z grochem siewnym ‘Grot’ w 2025 roku.

Tabela 34. Plon nasion ($t\ ha^{-1}$) grochu siewnego jako komponentu mieszanek z jęczmieniem jarym

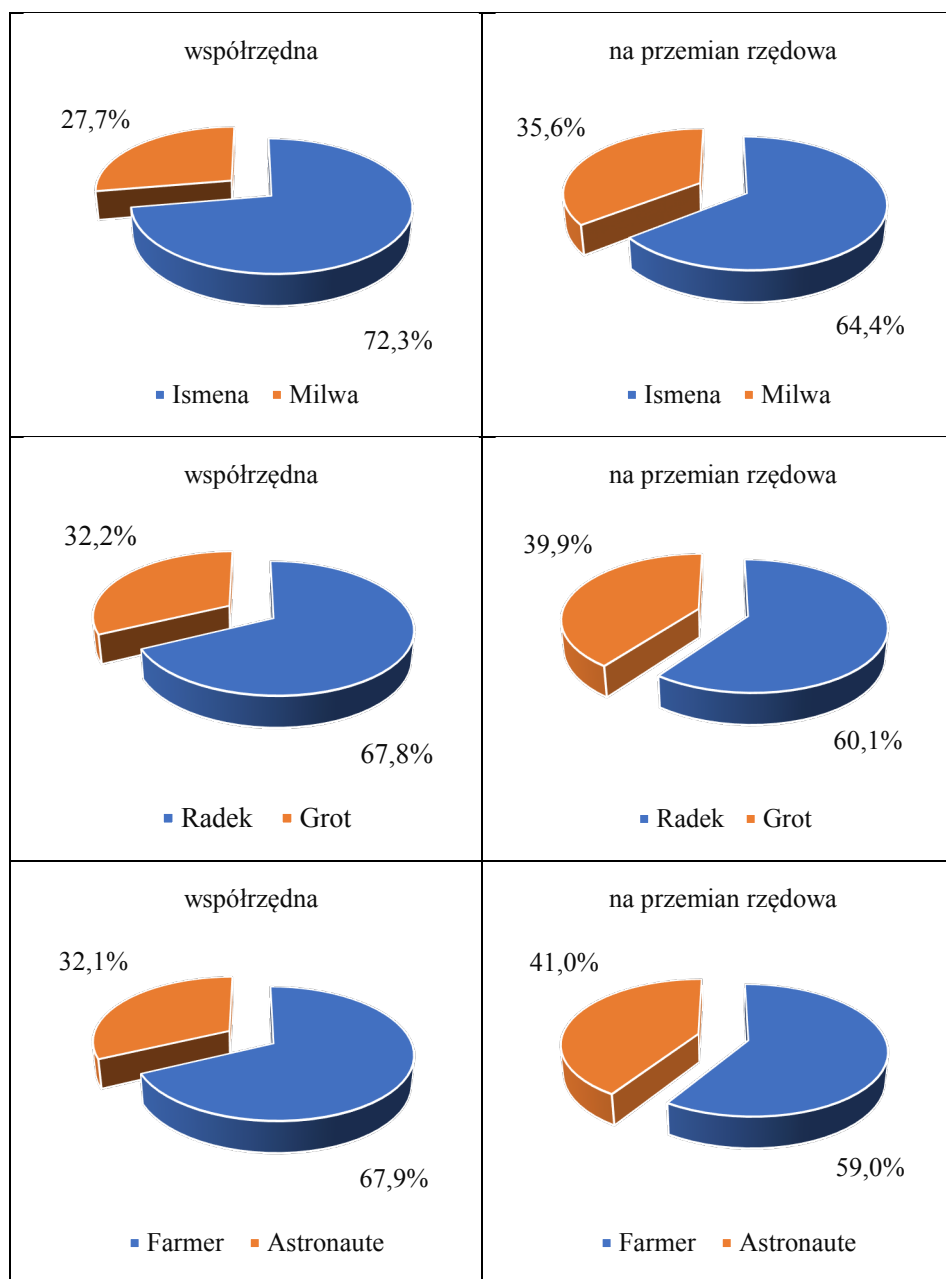
Mieszanka	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena+ Milwa *	1,39	1,91	1,28	1,53
Ismena/ Milwa	1,92	2,32	2,15	2,13
Radek+ Grot	1,47	2,60	1,50	1,86
Radek/ Grot	1,95	2,89	2,72	2,52
Farmer+ Astronaute	1,64	2,21	1,91	1,92
Farmer/ Astronaute	2,23	2,82	2,83	2,63
NIR _{p=0,05}	0,148	0,183	0,198	0,265

* – czcionka bold – nazwa odmiany grochu siewnego

Tabela 35. Udział (%) komponentów w plonie ziarna/nasion mieszanek w latach badań

Mieszanka	Rok					
	2023		2024		2025	
	Komponent					
	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Ismena+Milwa	72,7	27,3	68,2	31,8	76,7	23,3
Ismena/Milwa	65,3	34,7	63,0	37,0	65,2	34,8
Radek+Grot	71,5	28,5	59,4	40,6	74,0	26,0
Radek/Grot	66,1	33,9	55,3	44,7	59,6	40,4
Farmer+Astronaute	68,4	31,6	66,2	33,8	69,4	30,6
Farmer/Astronaute	60,4	39,6	58,5	41,5	58,4	41,6

Średnio w okresie badań udział ziarna jęczmienia w plonie mieszanek współrzędnych wyniósł od 67,8% – odmiana ‘Radek’ z grochem ‘Grot’ do 72,3% – odmiana ‘Ismena’ z grochem ‘Milwa’ (rys. 17). Natomiast jego udział w plonie mieszanek na przemian rzędowych był mniejszy o około 8,0 punktów procentowych, tj. od 59,0% – odmiana ‘Farmer’ z rośliną strączkową ‘Astronaute’ do 64,4 % – jęczmień ‘Ismena’ i groch ‘Milwa’.



Rys. 17. Udział (%) komponentów w plonie ziarna/nasion mieszanek, średnio w okresie badań

5.1.4.2. Plon białka

Zarówno średnio w latach 2023-2025, jak i w każdym roku badań zawartość białka w ziarnie wszystkich odmian jęczmienia jarego była na podobnym poziomie, a zarazem około dwukrotnie mniejsza niż w nasionach grochu siewnego. Podobnie, nasiona poszczególnych odmian grochu nie różniły się pod względem zawartości białka (tab. 36). Tylko w 2023 roku ziarno jęczmienia ‘Farmer’ zawierało istotnie więcej białka niż ziarno odmiany ‘Ismena’, a nasiona grochu ‘Milwa’ posiadały w składzie więcej białka od nasion dwóch pozostałych odmian.

Tabela 36. Zawartość białka (%) w ziarnie/nasionach jęczmienia jarego i grochu siewnego w siewach czystych i ich mieszanek

Obiekt	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena	11,95	11,15	12,02	11,71
Radek	12,03	11,20	11,86	11,70
Farmer	12,31	11,38	11,91	11,87
Milwa	23,12	22,59	21,88	22,53
Grot	22,54	22,27	21,74	22,18
Astronaute	22,65	22,59	22,03	22,42
Ismena+Milwa	15,02	14,76	14,54	14,77
Ismena/Milwa	15,84	15,30	15,53	15,56
Radek+Grot	14,92	15,56	14,51	15,00
Radek/Grot	15,45	16,13	15,98	15,85
Farmer+Astronaute	15,57	15,08	15,13	15,26
Farmer/Astronaute	16,45	15,98	16,12	16,18
NIR _{p=0,05}	0,317	0,425	0,441	0,468

We wszystkich latach i średnio w całym okresie zawartość białka w plonie łącznym (ziarno/nasiona) każdej mieszanki na przemian rzędowej była istotnie większa niż w plonie odpowiadających im mieszanek współrzędnych, a różnica bezwzględna sięgała nawet około 1,5 punktu procentowego – mieszanki jęczmienia ‘Radek’ i grochu ‘Grot’ w 2025 roku.

Średnio w okresie badań bezwzględnie największy plon białka ziarna/nasion miał miejsce w efekcie uprawy mieszanki na przemian rzędowej Farmer/Astronaute. Na tym samym poziomie statystycznej istotności kształtowały się również plony na przemian rzędowej mieszanki Radek/Grot i czystego siewu odmian grochu ‘Astronaute’ i ‘Grot’. Plon białka każdej mieszanki na przemian rzędowej był istotnie większy od plonu mieszanek współrzędnych. Natomiast plon białka ziarna żadnej odmiany jęczmienia jarego nie dorównywał plonom odmian grochu i mieszanek (tab. 37).

Zależność plonu białka w poszczególnych latach od gatunku i odmiany roślin, a także sposobu ich siewu i rozmieszczenia roślin w łanie (siewy czyste oraz mieszanki współrzędne i na przemian rzędowe) kształtowała się podobnie jak średnio w okresie badań. Nie zawsze jednak różnice były statystycznie istotne.

Na przykład większy plon białka mieszanki na przemian rzędowej jęczmienia ‘Farmer’ i grochu ‘Grot’ od ich mieszanki współrzędnej w 2024 roku był tylko tendencją, bo różnica nie przekroczyła granicy statystycznej istotności. Natomiast plon białka jęczmienia ‘Farmer’ i ‘Ismena’ w 2023 roku oraz odmian ‘Radek’ i ‘Farmer’ w 2025 roku nie różnił się istotnie od plonu białka grochu siewnego odmiany ‘Milwa’.

Tabela 37. Plon białka (t ha^{-1}) ziarna/nasion jęczmienia jarego i grochu siewnego w siewach czystych i ich mieszanek

Obiekt	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena	0,675	0,685	0,791	0,717
Radek	0,647	0,742	0,833	0,741
Farmer	0,683	0,737	0,800	0,740
Milwa	0,719	0,895	0,881	0,832
Grot	0,886	1,027	1,000	0,971
Astronaute	0,848	0,979	1,073	0,967
Ismena+Milwa	0,765	0,885	0,800	0,817
Ismena/Milwa	0,876	0,959	0,960	0,932
Radek+Grot	0,768	0,997	0,836	0,867
Radek/Grot	0,890	1,041	1,075	1,002
Farmer+Astronaute	0,808	0,984	0,946	0,913
Farmer/Astronaute	0,926	1,085	1,098	1,036
NIR _{p=0,05}	0,065	0,063	0,086	0,065

Plon białka ziarna jęczmienia jarego w jego mieszanekach z grochem siewnym w 2023 roku i średnio w latach 2023-2025 nie zależał od sposobu rozmieszczenia roślin w łanie – rodzaju mieszanki (tab. 38). Na ogół, z wyjątkiem mieszanki jęczmienia ‘Radek’ i grochu ‘Grot’ w 2023 roku, ujawniła się tendencja większego plonu białka w mieszanekach współrzędnych niż na przemian rzędowych. Tendencja powyższa potwierdziła się również w latach 2024 i 2025, a w niektórych mieszanekach osiągnęła statystyczną istotność, np. mieszanki jęczmienia ‘Farmer’ z grochem ‘Astronaute’ w 2024 i 2025 roku.

Plon białka nasion grochu we wszystkich mieszanekach na przemian rzędowych był istotnie większy niż w mieszanekach współrzędnych. Zależność taka wystąpiła w każdym roku badań oraz średnio w latach 2023-2025 (tab. 39).

Dominującym komponentem kształtującym plon białka ziarna/nasion wszystkich mieszanek współrzędnych, z wyjątkiem uprawy Radek+Grot w 2024 roku, był jęczmień jary. Roślina zbożowa dominowała również w plonie białka ziarna/nasion mieszanek na przemian rzędowych Radek/Grot w 2023 roku i Ismena/Milwa w 2025 roku (tab. 40). Udział jęczmienia jarego w plonie białka mieszanki Ismena+Milwa w 2025 roku przekroczył 65%. Z kolei największy udział grochu w plonie białka ziarna/nasion mieszanek wyniósł 61,1% i dotyczył na przemian rzędowej uprawy odmiany ‘Grot’ z jęczmieniem ‘Radek’ w 2024 roku.

Tabela 38. Plon białka (t ha⁻¹) ziarna jęczmienia jarego jako komponentu mieszanek z grochem siewnym

Mieszanka	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena *+Milwa	0,445	0,462	0,523	0,477
Ismena /Milwa	0,428	0,442	0,488	0,453
Radek +Grot	0,443	0,437	0,514	0,465
Radek /Grot	0,453	0,405	0,483	0,447
Farmer +Astronaute	0,440	0,495	0,532	0,489
Farmer /Astronaute	0,422	0,456	0,480	0,453
NIR _{p=0,05}	n.i.	0,033	0,036	n.i.

* – czcionka bold – nazwa odmiany jęczmienia jarego

Tabela 39. Plon białka (t ha⁻¹) nasion grochu siewnego jako komponentu mieszanek z jęczmieniem jarym

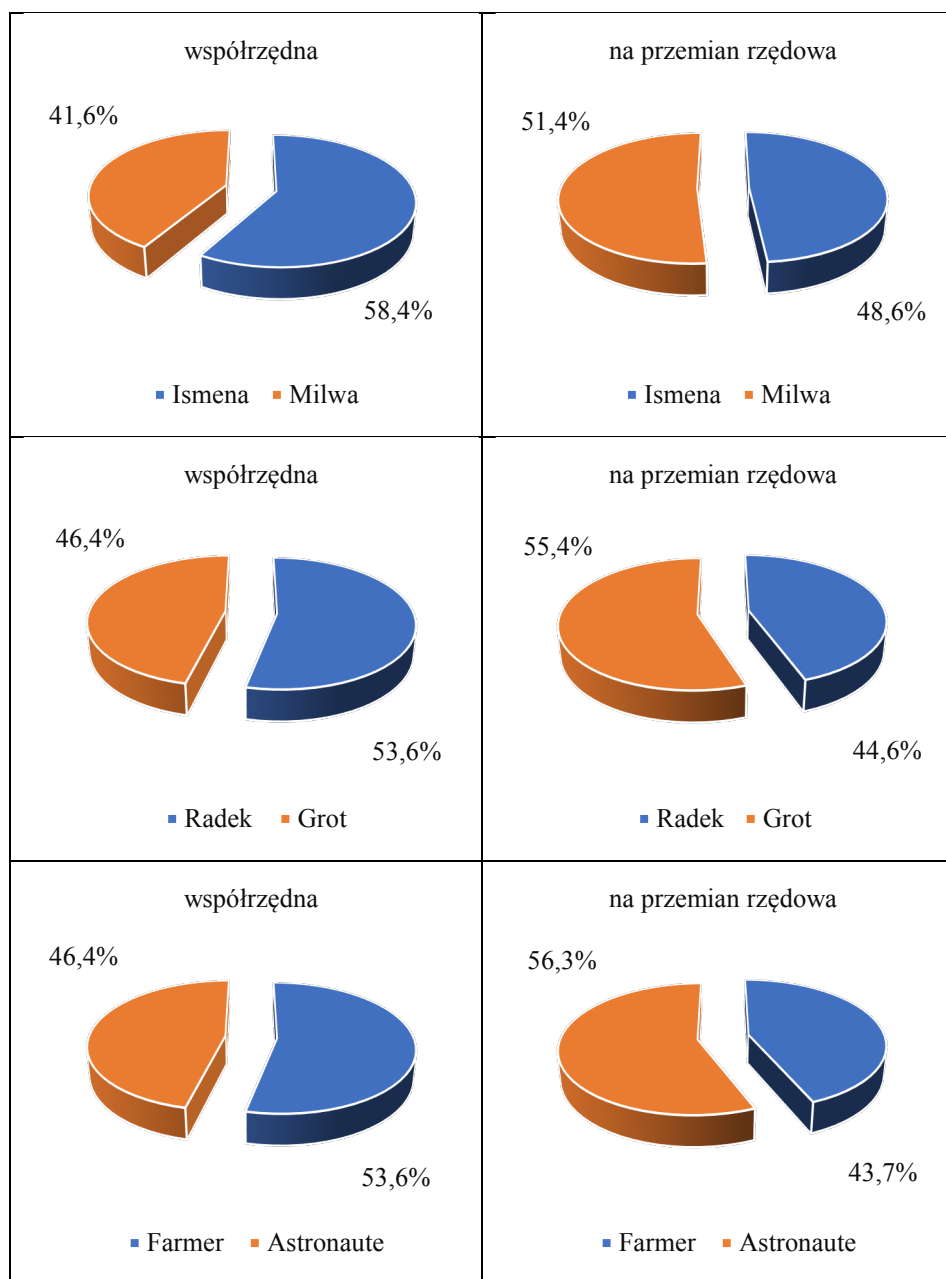
Mieszanka	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena+ Milwa *	0,319	0,424	0,277	0,340
Ismena/ Milwa	0,448	0,516	0,472	0,479
Radek+ Grot	0,325	0,561	0,323	0,403
Radek/ Grot	0,436	0,637	0,592	0,555
Farmer+ Astronaute	0,367	0,489	0,413	0,423
Farmer/ Astronaute	0,505	0,629	0,617	0,584
NIR _{p=0,05}	0,035	0,042	0,045	0,057

* – czcionka bold – nazwa odmiany grochu siewnego

Tabela 40. Udział (%) komponentów w plonie białka ziarna/nasion mieszanek w latach badań

Mieszanka	Rok					
	2023		2024		2025	
	Komponent					
	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Ismena+Milwa	58,2	41,8	52,1	47,9	65,4	34,6
Ismena/Milwa	48,9	51,1	46,1	53,9	50,8	49,2
Radek+Grot	57,7	42,3	43,8	56,2	61,4	38,6
Radek/Grot	51,0	49,0	38,9	61,1	44,9	55,1
Farmer+Astronaute	54,5	45,5	50,3	49,7	56,3	43,7
Farmer/Astronaute	45,5	54,5	42,0	58,0	43,8	56,2

Średnio w okresie badań plon białka ziarna/nasion wszystkich mieszanek na przemian rzędowych w większym stopniu kształtował groch siewny (51,4-56,3%), a współrzędnych jęczmień jary (53,6-58,4%). Odmianami grochu najwięcej wnoszącymi do łącznego plonu mieszanki współrzędnej (po 46,4%) były ‘Grot’ i ‘Astronaute’, a do mieszanki na przemian rzędowej ‘Astronaute’ (rys. 18).



Rys. 18. Udział (%) komponentów w plonie białka ziarna/nasion mieszanek, średnio w okresie badań

5.2. WSKAŹNIKI ODDZIAŁYWANIA

5.2.1. Ekwiwalent gruntu – LER

5.2.1.1. Faza BBCH 51-61

Wskaźnik ekwiwalentu gruntu LER dla plonu zielonej masy jęczmienia jarego w fazie BBCH 51-61 był na ogół większy w mieszankach współrzędnych niż na przemian rzędowych, a grochu odwrotnie, czyli większy w mieszankach na przemian rzędowych. Wyjątek stanowiły mieszanki z udziałem odmian jęczmienia ‘Ismena’ i ‘Radek’ w 2025 roku (tab. 41). Średnia (lata 2023-2025) wartość wskaźnika LER dla plonu zielonej masy jęczmienia jako komponentu mieszanek wyniosła od 0,614 – ‘Farmer’ w mieszance na przemian rzędowej do 0,738 – ‘Ismena’ w mieszance współrzędnej. Wartość tego wskaźnika dla grochu siewnego kształtowała się natomiast w przedziale od 0,534 – ‘Astronaute’ w mieszance współrzędnej do 0,701 – odmiana ‘Milwa’, mieszanka na przemian rzędowa.

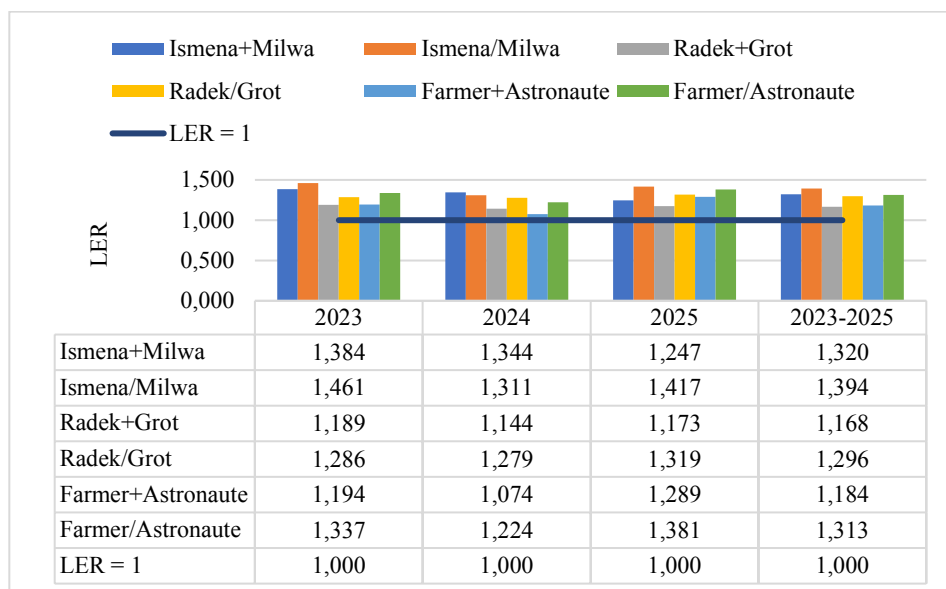
Wartość wskaźnika LER oraz jego zależność od rodzaju mieszanki, czyli rozmieszczenia roślin w łanie, dla plonów suchej masy i białka obu komponentów była zbliżona do wskaźnika właściwego dla plonu zielonej masy (tab. 41). Różnicą jest większa liczba mieszanek na przemian rzędowych, w których LER jęczmienia jarego był większy niż w mieszankach współrzędnych: rok 2023 – 1. mieszanka, 2024 – 1. mieszanka, 2025 – 2. mieszanki, 2023-2025 – 1. mieszanka.

Wskaźnik LER zarówno dla plonów zielonej i suchej masy, jak i białka w fazie BBCH 51-61 wszystkich rodzajów mieszanek miał wartość większą od 1,0 (rys. 19-21). Średnio w latach 2023-2025 oraz w poszczególnych latach badań LER dla plonów wszystkich mieszanek na przemian rzędowych był większy od mieszanek współrzędnych. Wyjątkiem był tylko wskaźnik plonu zielonej i suchej masy mieszanki jęczmienia ‘Ismena’ i grochu ‘Milwa’ w 2024 roku.

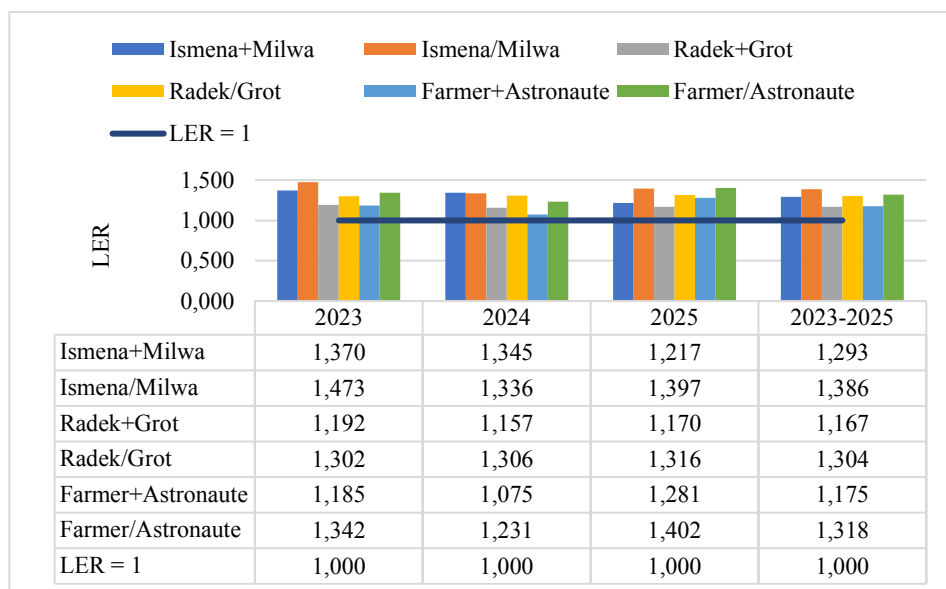
Największym wskaźnikiem LER plonu zielonej masy średnio w okresie badań charakteryzowała się na przemian rzędowa mieszanka Ismena/Milwa – 1,394 (rys. 19). Wskaźnik LER plonu suchej masy tej mieszanki wyniósł – 1,386 (rys. 20), a plonu białka – 1,460 (rys. 21). Największa wartość wskaźnika ekwiwalentu gruntu dla plonów zielonej i suchej masy oraz białka w latach badań to odpowiednio: 1,461; 1,473 i 1,496 – na przemian rzędowa mieszanka jęczmienia jarego ‘Ismena’ i grochu siewnego ‘Milwa’.

Tabela 41. Wskaźnik ekwiwalentu gruntu (LER) dla plonów komponentów mieszanek w fazie BBCH 51-61

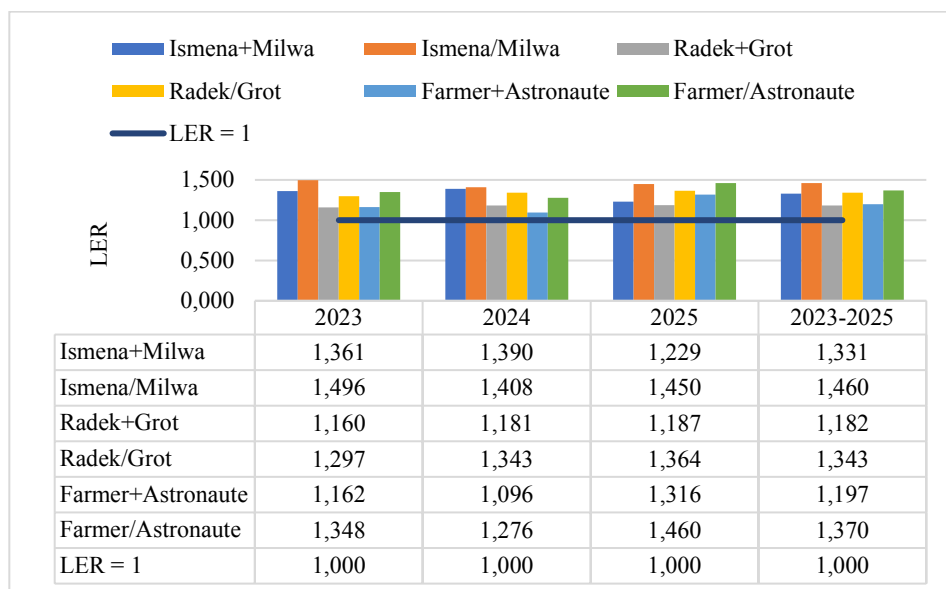
Mieszanka	Rok							
	2023		2024		2025		2023-2025	
	Komponent							
	Jęczmieni	Groch	Jęczmieni	Groch	Jęczmieni	Groch	Jęczmieni	Groch
Plon zielonej masy								
Ismena+Milwa	0,813	0,571	0,759	0,584	0,662	0,586	0,738	0,582
Ismena/Milwa	0,761	0,700	0,653	0,658	0,679	0,738	0,694	0,701
Radek+Grot	0,690	0,499	0,598	0,546	0,620	0,553	0,633	0,535
Radek/Grot	0,640	0,646	0,593	0,686	0,622	0,698	0,617	0,679
Farmer+Astronaute	0,665	0,528	0,580	0,494	0,715	0,574	0,651	0,534
Farmer/Astronaute	0,656	0,681	0,570	0,653	0,626	0,755	0,614	0,700
Plon suchej masy								
Ismena+Milwa	0,806	0,564	0,738	0,608	0,649	0,567	0,720	0,573
Ismena/Milwa	0,769	0,704	0,645	0,690	0,667	0,730	0,684	0,702
Radek+Grot	0,693	0,500	0,609	0,548	0,623	0,547	0,636	0,532
Radek/Grot	0,646	0,656	0,605	0,701	0,635	0,681	0,625	0,679
Farmer+Astronaute	0,663	0,523	0,583	0,492	0,698	0,583	0,643	0,532
Farmer/Astronaute	0,659	0,683	0,580	0,650	0,622	0,780	0,615	0,704
Plon białka suchej masy								
Ismena+Milwa	0,800	0,560	0,776	0,614	0,648	0,581	0,743	0,588
Ismena/Milwa	0,778	0,719	0,691	0,717	0,685	0,766	0,721	0,739
Radek+Grot	0,675	0,485	0,628	0,554	0,633	0,555	0,646	0,536
Radek/Grot	0,645	0,652	0,624	0,719	0,665	0,699	0,647	0,696
Farmer+Astronaute	0,638	0,524	0,596	0,500	0,726	0,591	0,652	0,546
Farmer/Astronaute	0,656	0,692	0,609	0,667	0,655	0,805	0,638	0,731



Rys. 19. Wskaźnik ekwiwalentu gruntu (LER) dla plonu zielonej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61



Rys. 20. Wskaźnik ekwiwalentu gruntu (LER) dla plonu suchej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61



Rys. 21. Wskaźnik ekwiwalentu gruntu (LER) dla plonu białka suchej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61

5.2.1.2. Faza BBCH 89

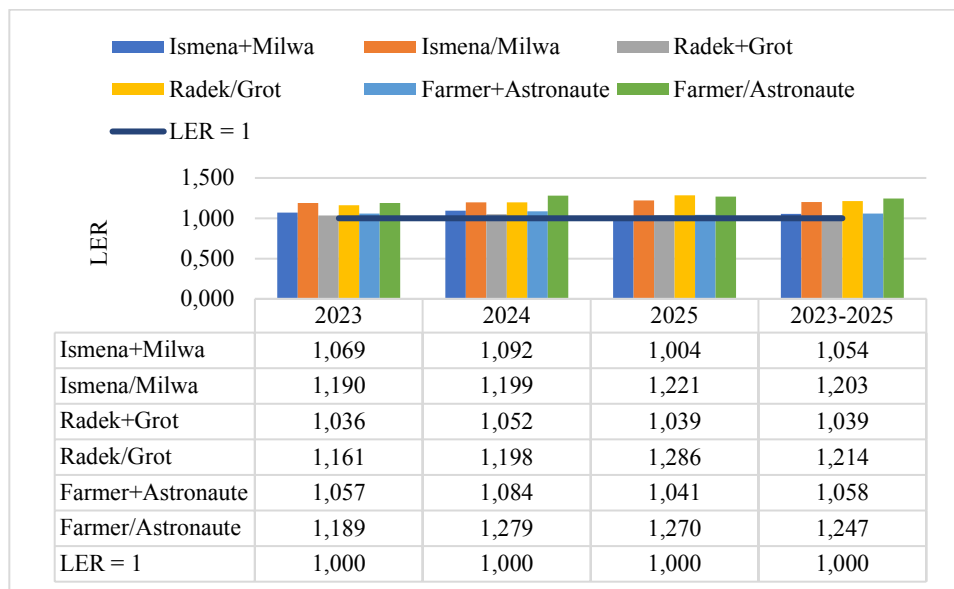
W fazie dojrzałości pełnej wskaźnik LER dla plonów białka, a zwłaszcza suchej masy jęczmienia jarego był podobny dla wszystkich odmian i rodzajów mieszanek. Średnio w latach 2023-2025 jego wartość mieściła się w przedziale odpowiednio 0,616-0,642 i 0,609-0,622. Wskaźnik ekwiwalentu gruntu grochu był mniejszy i tylko dla mieszanek na przemian rzędowych przekroczył wartość 0,5 (tab. 42). Wskaźnik LER obu komponentów mieszanek w poszczególnych latach kształtował się podobnie jak średnio w okresie badań. Osiągnął on największą wartość dla plonu suchej masy i plonu białka jęczmienia odpowiednio: 0,677 i 0,720 – odmiana ‘Radek’ w mieszance na przemian rzędowej w 2023 roku, a dla plonów grochu odpowiednio 0,689 i 0,690 – odmiana „Grot” w mieszance na przemian rzędowej – 2025 rok.

Wskaźnik LER dla plonu suchej masy wszystkich mieszanek na przemian rzędowych w każdym roku był większy niż mieszanek współrzędnych. Średnio w latach 2023-2025 wyniósł on ponad 1,20, a największą wartość przyjął dla mieszanki Farmer/Astronaute – 1,247. Natomiast wskaźnik ekwiwalentu gruntu żadnej mieszanki współrzędnej nie przekroczył wartości 1,10, a mieszanki Ismena+Milwa w 2025 roku wyniósł 1,004 (rys. 22).

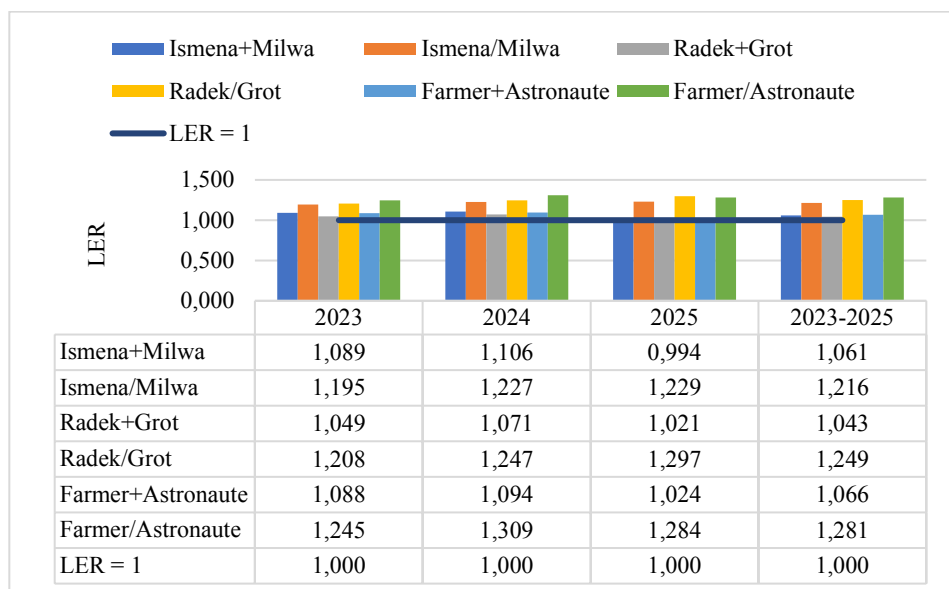
Z kolei wskaźnik LER dla plonu białka, również większy u wszystkich mieszanek na przemian rzędowych niż współrzędnych, u mieszanki Farmer/Astronaute osiągnął średnio w latach 2023-2025 wartość 1,281, a w 2024 roku przekroczył 1,30 (rys. 23). Natomiast wskaźnik ekwiwalentu gruntu dla plonu białka mieszanki współrzędnej Ismena+Milwa w 2025 roku był mniejszy od 1,00.

Tabela 42. Wskaźnik ekwiwalentu gruntu (LER) dla plonów komponentów mieszanek w fazie BBCH 89

Mieszanka	Rok							
	2023		2024		2025		2023-2025	
	Komponent							
	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Plon suchej masy								
Ismena+Milwa	0,644	0,426	0,648	0,444	0,580	0,424	0,622	0,432
Ismena/Milwa	0,650	0,540	0,621	0,577	0,589	0,632	0,619	0,584
Radek+Grot	0,644	0,391	0,632	0,420	0,563	0,475	0,610	0,429
Radek/Grot	0,677	0,484	0,572	0,626	0,598	0,689	0,613	0,601
Farmer+Astronaute	0,631	0,426	0,643	0,442	0,568	0,473	0,611	0,447
Farmer/Astronaute	0,611	0,578	0,619	0,660	0,599	0,672	0,609	0,638
Plon białka suchej masy								
Ismena+Milwa	0,666	0,423	0,657	0,449	0,573	0,421	0,629	0,432
Ismena/Milwa	0,654	0,542	0,636	0,591	0,590	0,638	0,625	0,591
Radek+Grot	0,659	0,390	0,651	0,420	0,552	0,469	0,617	0,426
Radek/Grot	0,720	0,489	0,608	0,639	0,607	0,690	0,642	0,607
Farmer+Astronaute	0,653	0,435	0,652	0,441	0,551	0,473	0,616	0,451
Farmer/Astronaute	0,648	0,597	0,631	0,678	0,601	0,683	0,626	0,655



Rys. 22. Wskaźnik ekwiwalentu gruntu (LER) dla plonu suchej masy mieszanek w fazie BBCH 89



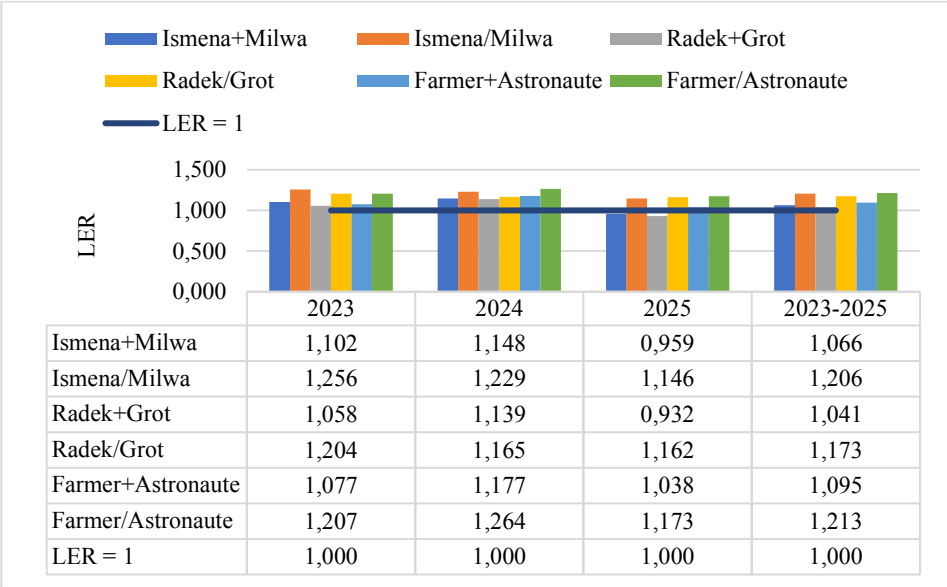
Rys. 23. Wskaźnik ekwiwalentu gruntu (LER) dla plonu białka w suchej masie mieszanek w fazie BBCH 89

5.2.1.3. Plon ziarna/nasion, białka

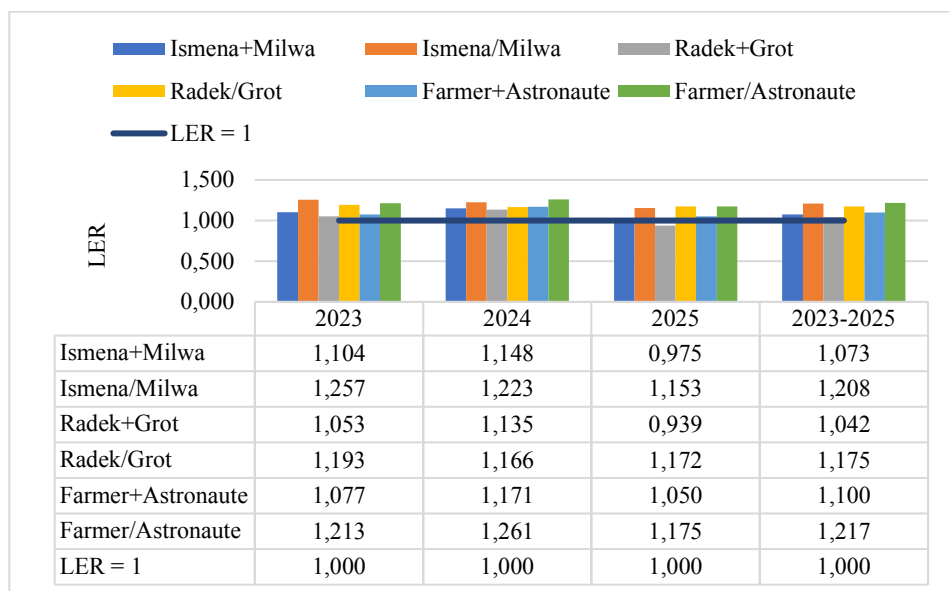
Wartość wskaźnika LER dla plonów ziarna jęczmienia jarego i jego białka we wszystkich mieszkach i latach wyniosła ponad 0,50 i była większa w mieszkach współrzędnych niż na przemian rzędowych, z wyjątkiem uprawy odmiany ‘Radek’ z grochem ‘Grot’ w 2023 roku (tab. 43). Natomiast wskaźnik ekwiwalentu gruntu grochu przekroczył wartość 0,50 tylko w mieszkach na przemian rzędowych, oprócz LER dla plonów nasion i białka w mieszance Radek/Grot w 2023 roku. Z kolei wskaźnik LER dla plonu nasion odmian grochu ‘Grot’ i ‘Astronaute’ oraz plonu białka odmiany ‘Grot’ w 2024 roku również w mieszance współrzędnej wyniósł ponad 0,5, choć był mniejszy niż w mieszance na przemian rzędowej.

Tabela 43. Wskaźnik ekwiwalentu gruntu (LER) dla plonów ziarna, nasion i białka komponentów mieszanek

Mieszanka	Rok							
	2023		2024		2025		2023-2025	
	Komponent							
	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Plon ziarna/nasion								
Ismena+Milwa	0,655	0,447	0,666	0,482	0,641	0,318	0,653	0,413
Ismena/Milwa	0,639	0,617	0,643	0,586	0,612	0,533	0,630	0,575
Radek+Grot	0,684	0,374	0,575	0,564	0,606	0,326	0,617	0,424
Radek/Grot	0,708	0,496	0,538	0,627	0,570	0,591	0,598	0,575
Farmer+Astronaute	0,640	0,437	0,667	0,510	0,646	0,392	0,651	0,444
Farmer/Astronaute	0,613	0,595	0,613	0,651	0,592	0,581	0,605	0,608
Plon białka								
Ismena+Milwa	0,659	0,444	0,675	0,473	0,661	0,314	0,665	0,409
Ismena/Milwa	0,634	0,623	0,646	0,577	0,617	0,536	0,632	0,576
Radek+Grot	0,686	0,367	0,588	0,546	0,616	0,322	0,627	0,416
Radek/Grot	0,701	0,492	0,546	0,620	0,580	0,592	0,603	0,573
Farmer+Astronaute	0,644	0,433	0,672	0,499	0,665	0,385	0,662	0,438
Farmer/Astronaute	0,618	0,595	0,618	0,643	0,600	0,575	0,613	0,604



Rys. 24. Wskaźnik ekwiwalentu gruntu (LER) dla plonu ziarna/nasion mieszanek



Rys. 25. Wskaźnik ekwiwalentu gruntu (LER) dla plonu białka ziarna/nasion mieszanek

Wskaźnik ekwiwalentu gruntu dla plonu ziarna/nasion mieszanek na przemian rzędowych, w każdym roku i średnio w latach 2023-2025, był większy od wskaźnika LER plonu odpowiadających im mieszanek współrzędnych (rys. 24). Największą wartość wskaźnika LER, powyżej 1,20, osiągnęły mieszanki Ismena/Milwa oraz Farmer/Astronaute w 2023 i 2024 roku, a także mieszanka Radek/Grot w 2023 roku. Średnio w okresie badań wskaźnik ekwiwalentu gruntu dla plonu ziarna/nasion wszystkich mieszanek na przemian rzędowych był większy od 1,17, natomiast współrzędnych mniejszy od 1,10, a mieszanek Ismena+Milwa i Radek+Grot w 2025 roku mniejszy nawet od 1,00.

Wartość wskaźnika LER dla plonu białka poszczególnych rodzajów mieszanek oraz jego wielkość w latach badań była podobna jak dla plonu ziarna/nasion. Średnio w latach 2023-2025 LER dla plonu białka mieszanek na przemian rzędowych jęczmienia odmian ‘Ismena’ i ‘Farmer’ z grochem ‘Milwa’ i ‘Astronaute’ był większy od 1,20, a wszystkich mieszanek współrzędnych nie przekroczył wartości 1,10 (rys. 25).

5.2.2. Wydajność upraw – CPR

5.2.2.1. Faza BBCH 51-61

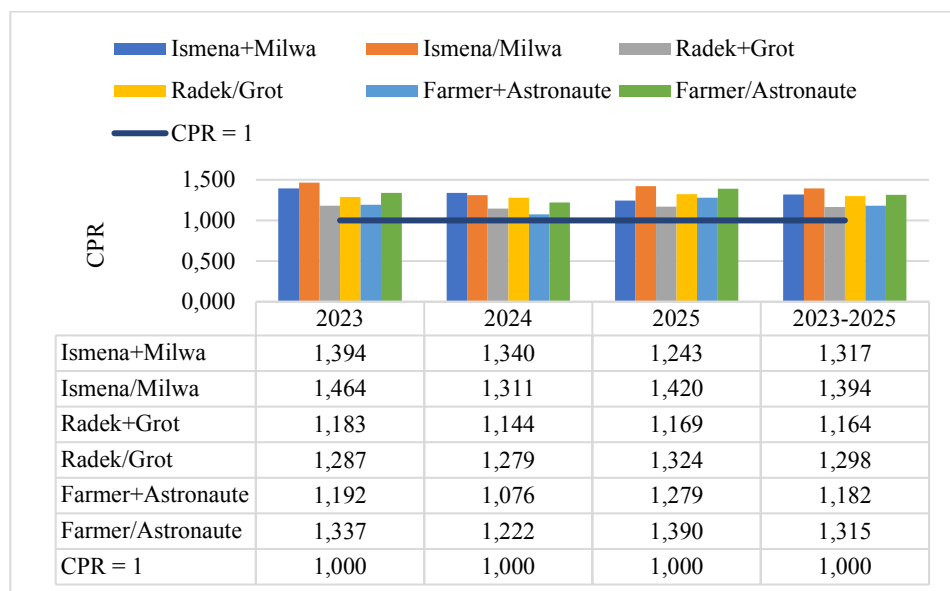
Wskaźnik wydajności CPR odmian jęczmienia i grochu obliczony dla ich plonów zielonej i suchej masy oraz plonu białka w mieszanekach w fazie BBCH 51-61 był w każdym przypadku większy od jedności, z wyjątkiem tych cech grochu ‘Grot’ we współrzędnej mieszance z jęczmieniem ‘Radek’ – Radek+Grot w 2023 roku (tab. 44). Ze względu na 50% udział poszczególnych komponentów

we wszystkich mieszankach wartość wskaźnika CPR jest dwukrotnie większa od wskaźnika LER danej cechy. Wydajność upraw jęczmienia mierzona wskaźnikiem CPR była średnio w latach badań większa w mieszankach współrzędnych niż w mieszankach na przemian rzędowych, z wyjątkiem plonu białka wspólnego siewu jęczmienia ‘Radek’ z grochem ‘Grot’. Największa różnica wartości CPR wystąpiła w uprawie mieszanki jęczmienia ‘Ismena’ z grochem ‘Milwa’. Z kolei wskaźnik wydajności uprawy grochu (dla wszystkich cech, odmian i lat badań) był większy dla mieszanek na przemian rzędowych w porównaniu z współrzędnymi i przekroczył średnio w latach badań wartość 1,40 – plon zielonej i suchej masy oraz białka w mieszance Ismena/Milwa, a także plon białka w mieszance Farmer/Astronaute.

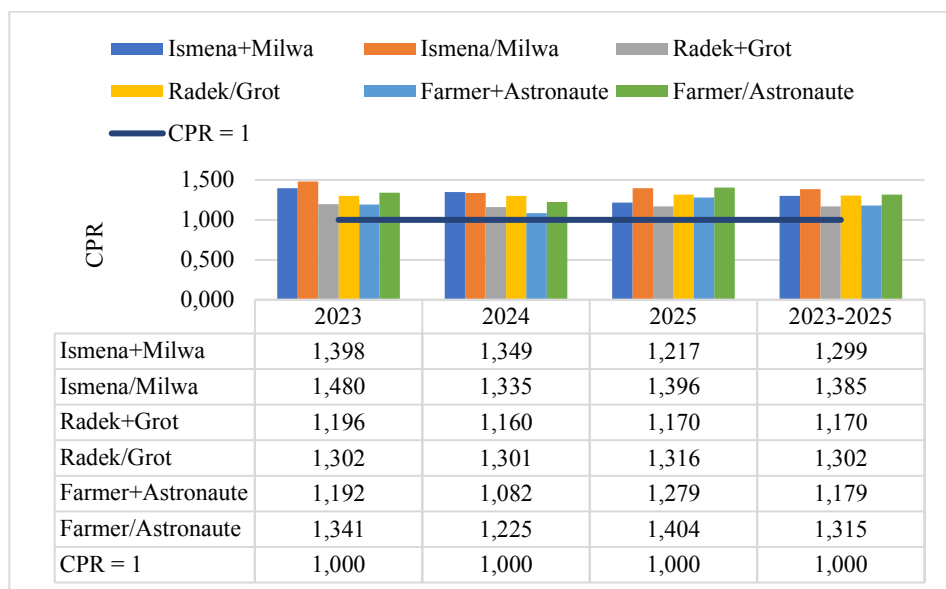
Tabela 44. Wskaźnik wydajności upraw (CPR) dla plonów komponentów mieszanek w fazie BBCH 51-61

Mieszanka	Rok							
	2023		2024		2025		2023-2025	
	Komponent							
	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Plon zielonej masy								
Ismena+Milwa	1,626	1,142	1,519	1,168	1,323	1,172	1,476	1,163
Ismena/Milwa	1,522	1,401	1,307	1,315	1,358	1,476	1,387	1,401
Radek+Grot	1,380	0,998	1,196	1,092	1,240	1,107	1,265	1,070
Radek/Grot	1,281	1,292	1,186	1,372	1,243	1,395	1,234	1,358
Farmer+Astronaute	1,331	1,056	1,160	0,988	1,429	1,149	1,301	1,067
Farmer/Astronaute	1,312	1,362	1,141	1,306	1,251	1,511	1,227	1,399
Plon suchej masy								
Ismena+Milwa	1,613	1,128	1,475	1,215	1,299	1,135	1,440	1,146
Ismena/Milwa	1,539	1,408	1,291	1,381	1,333	1,460	1,368	1,403
Radek+Grot	1,385	0,999	1,219	1,095	1,246	1,094	1,272	1,063
Radek/Grot	1,291	1,312	1,210	1,403	1,270	1,362	1,249	1,358
Farmer+Astronaute	1,325	1,045	1,165	0,984	1,397	1,166	1,286	1,063
Farmer/Astronaute	1,317	1,367	1,160	1,301	1,244	1,560	1,229	1,407
Plon białka suchej masy								
Ismena+Milwa	1,601	1,121	1,552	1,228	1,296	1,162	1,487	1,176
Ismena/Milwa	1,555	1,437	1,382	1,434	1,369	1,532	1,443	1,478
Radek+Grot	1,350	0,969	1,255	1,107	1,265	1,110	1,292	1,072
Radek/Grot	1,290	1,304	1,247	1,438	1,330	1,397	1,294	1,392
Farmer+Astronaute	1,277	1,048	1,192	0,999	1,451	1,181	1,304	1,091
Farmer/Astronaute	1,311	1,384	1,219	1,334	1,311	1,609	1,277	1,463

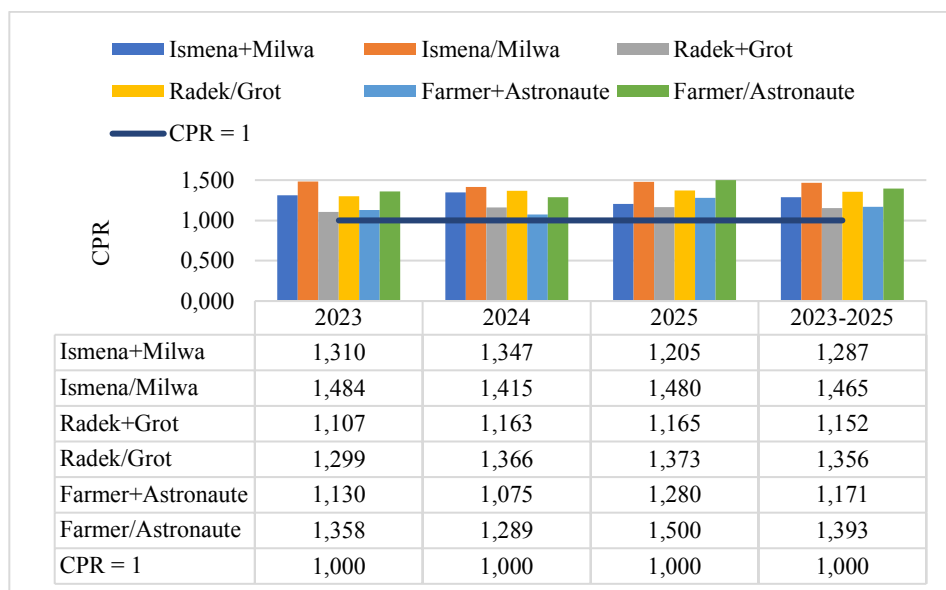
Wskaźnik wydajności upraw CPR żadnej z mieszanek zarówno w kolejnych latach, jak i średnio w okresie badań w odniesieniu do ich plonu zielonej masy (rys. 26), plonu suchej masy (rys. 27) i białka (rys. 28) nie był mniejszy od jedności. Tak wyrażona wydajność każdej mieszanki na przemian rządowej była większa od odpowiadającej jej mieszanki współrzędnej. Wyjątkiem była mieszanka jęczmienia ‘Ismena’ z grochem ‘Milwa’ – plon zielonej i suchej masy w 2024 roku. Bezwzględnie największą wartość wskaźnika CPR dla każdego rodzaju plonu osiągała na ogół mieszanka Ismena/Milwa. Średnio w okresie badań wyniósł on od 1,385 – plon suchej masy do 1,465 – plon białka suchej masy w fazie BBCH 51-61. Wskaźnik ten dla plonu białka mieszanki Farmer/Astronaute w 2025 roku osiągnął nawet wartość 1,500.



Rys. 26. Wskaźnik wydajności upraw (CPR) dla plonu zielonej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61



Rys. 27. Wskaźnik wydajności upraw (CPR) dla plonu suchej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61



Rys. 28. Wskaźnik wydajności upraw (CPR) dla plonu białka suchej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61

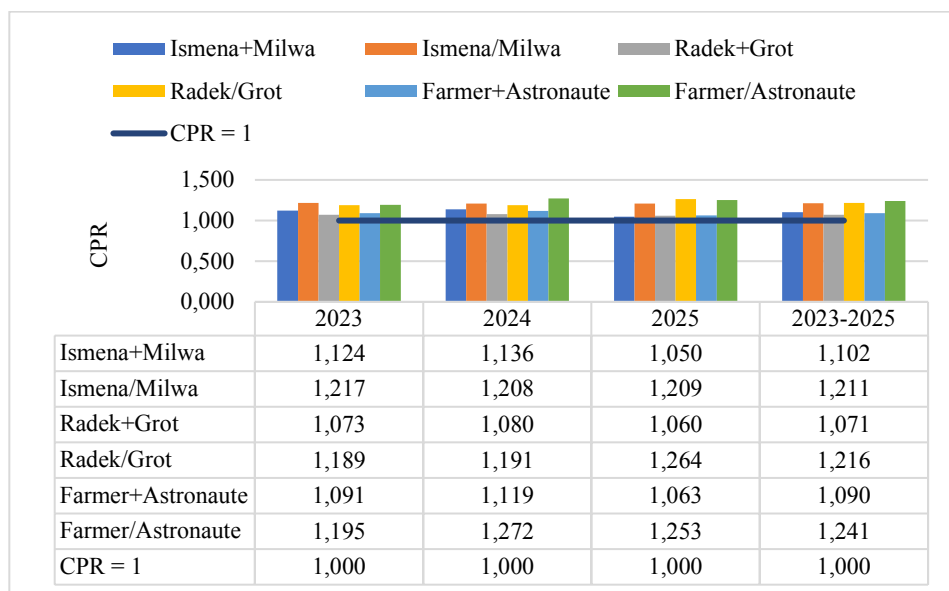
5.2.2.2. Faza BBCH 89

W fazie BBCH 89 wskaźnik CPR dla plonów suchej masy i białka jęczmienia jarego wszystkich odmian, w każdym roku i średnio w okresie badań, był większy od 1,00 i na ogół o podobnej wartości w obu rodzajach mieszanek (tab. 45). Natomiast groch osiągnął wskaźnik CPR o wartości większej od jedności tylko w mieszkach na przemian rzędowych, z wyjątkiem mieszanki Radek/Grot w 2023 roku. Różnica jego wielkości w obu rodzajach mieszanek wyniosła średnio w okresie badań nawet ponad 0,40 – plon białka przy wspólnym siewie jęczmienia ‘Farmer’ i grochu ‘Astronaute’.

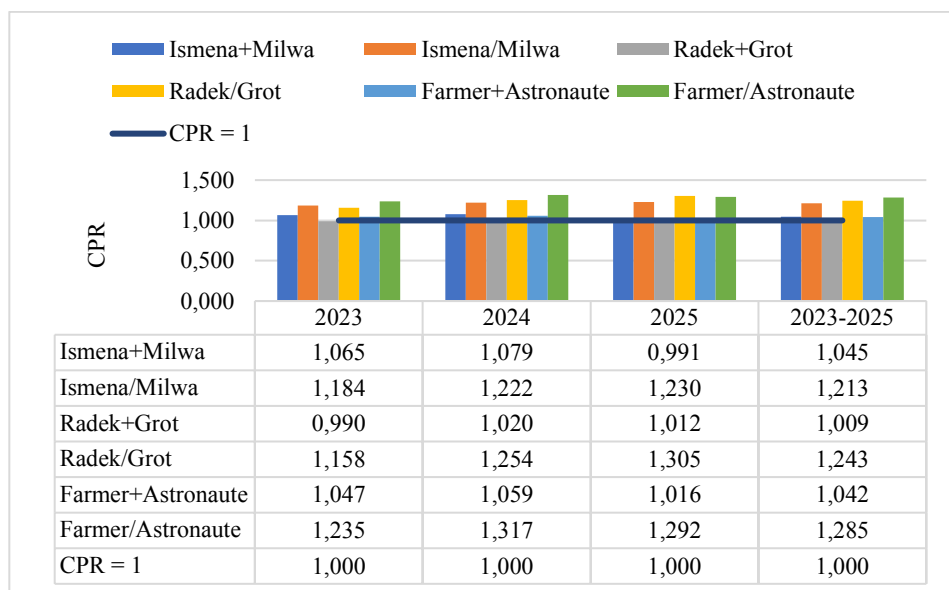
Wydajność uprawy mieszanek pod względem plonu suchej masy w fazie BBCH 89 wyrażona wskaźnikiem CPR była większa przy na przemian rzędowym rozmieszczeniu roślin odmian obu gatunków niż wskutek siewu współrzędnego. Wartość wskaźnika CPR dla upraw na przemian rzędowych średnio w latach 2023-2025 przekroczyła 1,20. Natomiast w uprawie mieszanek współrzędnych osiągnęła maksymalnie 1,102 – Ismena+Milwa (rys. 29). Podobnie, większy wskaźnik CPR dla mieszanek na przemian rzędowych niż współrzędnych charakteryzował plon białka biomasy w fazie dojrzałości pełnej (rys. 30). Jego maksymalna wartość średnio w okresie badań wyniosła 1,285, a w 2024 roku nawet 1,317 – mieszanka Farmer/Astronaute.

Tabela 45. Wskaźnik wydajności upraw (CPR) dla plonów komponentów mieszanek w fazie BBCH 89

Mieszanka	Rok							
	2023		2024		2025		2023-2025	
	Komponent							
	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Plon suchej masy								
Ismena+Milwa	1,287	0,852	1,296	0,889	1,161	0,848	1,244	0,863
Ismena/Milwa	1,300	1,080	1,243	1,155	1,178	1,265	1,237	1,168
Radek+Grot	1,289	0,782	1,263	0,840	1,126	0,951	1,220	0,857
Radek/Grot	1,353	0,969	1,144	1,252	1,195	1,377	1,226	1,201
Farmer+Astronaute	1,263	0,851	1,285	0,884	1,135	0,946	1,222	0,894
Farmer/Astronaute	1,222	1,156	1,238	1,320	1,197	1,343	1,218	1,276
Plon białka suchej masy								
Ismena+Milwa	1,333	0,846	1,314	0,898	1,146	0,842	1,258	0,863
Ismena/Milwa	1,308	1,083	1,272	1,183	1,181	1,276	1,249	1,183
Radek+Grot	1,318	0,779	1,302	0,840	1,103	0,938	1,234	0,853
Radek/Grot	1,439	0,977	1,217	1,277	1,214	1,380	1,284	1,215
Farmer+Astronaute	1,306	0,870	1,305	0,882	1,103	0,946	1,232	0,901
Farmer/Astronaute	1,295	1,194	1,263	1,356	1,201	1,366	1,252	1,309



Rys. 29. Wskaźnik wydajności upraw (CPR) dla plonu suchej masy mieszanek w fazie BBCH 89



Rys. 30. Wskaźnik wydajności upraw (CPR) dla plonu białka suchej masy mieszanek w fazie BBCH 89

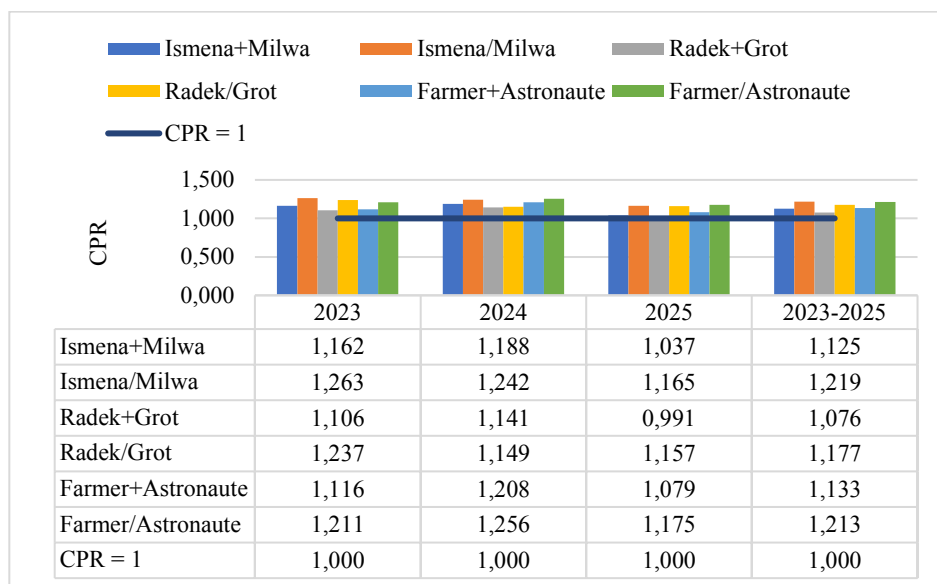
5.2.2.3. Plon ziarna/nasion, białka

Wskaźnik CPR dla plonów ziarna odmian jęczmienia jarego i plonów ich białka w każdym ocenianym okresie w mieszankach współrzędnych był większy niż w mieszankach na przemian rzędowych, z wyjątkiem siewu jęczmienia ‘Radek’ z grochem ‘Grot’ w 2023 roku (tab. 46). Średnio w okresie badań wartość wskaźnika CPR dla plonu ziarna i białka jęczmienia w mieszankach Ismena+Milwa i Farmer+Astronaute przekroczyła 1,30. Natomiast wskaźnik CPR dla plonu nasion i białka odmian grochu większy od jedności miał miejsce w mieszankach na przemian rzędowych – maksymalnie 1,303 dla plonu nasion mieszanki Farmer/Astronaute w 2024 roku. W 2024 roku $CPR > 1,0$ był właściwy również dla plonu nasion grochu ‘Grot’ i ‘Astronaute’ oraz plonu białka odmiany ‘Grot’ w mieszankach współrzędnych.

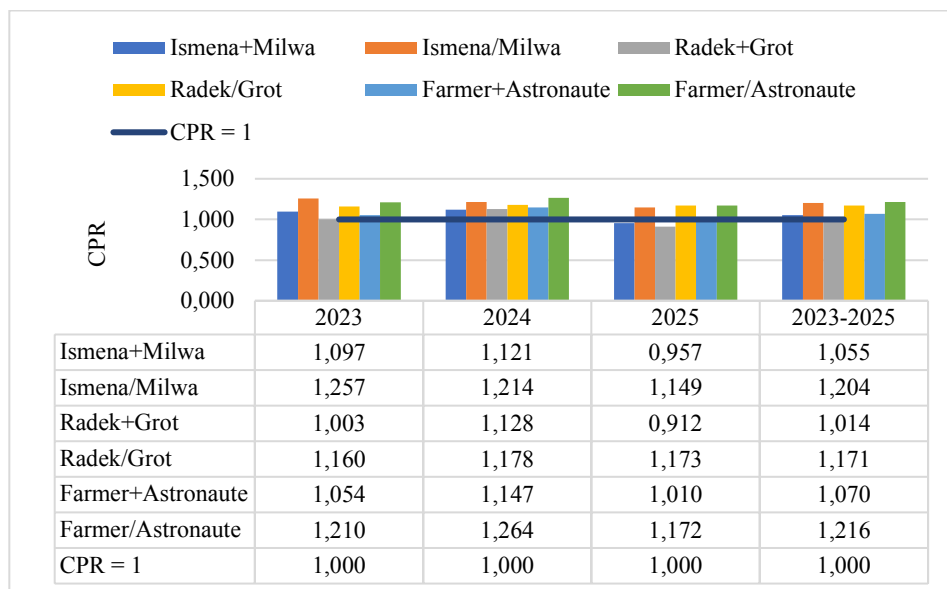
Wartość wskaźnika wydajności upraw dla plonu ziarna/nasion (rys. 31) i plonu białka (rys. 32) wszystkich mieszanek na przemian rzędowych zarówno w latach badań, jak i średnio w okresie 2023-2025 była większa od 1,00. Natomiast mieszanki współrzędne jęczmienia ‘Radek’ i grochu ‘Grot’ w 2025 roku – plon ziarna/nasion oraz mieszanki Ismena+Milwa i Radek+Grot w 2025 roku – plon białka nie osiągnęły tej wartości wskaźnika CPR. Średnio w okresie badań różnica wielkości wskaźnika CPR dla plonu ziarna/nasion na korzyść mieszanek na przemian rzędowych wyniosła od 0,080 – jęczmień ‘Farmer’ i groch ‘Astronaute’ do 0,101 – ‘Radek’ i ‘Grot’. Analogiczna różnica wskaźnika CPR dla plonu białka osiągnęła wielkość od 0,146 – mieszanki jęczmienia ‘Farmer’ z grochem ‘Astronaute’ do 0,157 – dla mieszanek odmian ‘Radek’ i ‘Grot’.

Tabela 46. Wskaźnik wydajności upraw (CPR) dla plonów ziarna, nasion i białka komponentów mieszanek

Mieszanka	Rok							
	2023		2024		2025		2023-2025	
	Komponent							
	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Plon ziarna/nasion								
Ismena+Milwa	1,310	0,894	1,332	0,965	1,283	0,635	1,306	0,825
Ismena/Milwa	1,278	1,235	1,287	1,172	1,225	1,067	1,261	1,151
Radek+Grot	1,368	0,748	1,149	1,128	1,212	0,652	1,234	0,848
Radek/Grot	1,416	0,992	1,077	1,254	1,141	1,183	1,195	1,150
Farmer+Astronaute	1,279	0,875	1,333	1,021	1,292	0,784	1,302	0,888
Farmer/Astronaute	1,225	1,189	1,225	1,303	1,185	1,162	1,210	1,216
Plon białka								
Ismena+Milwa	1,319	0,888	1,349	0,947	1,322	0,628	1,330	0,817
Ismena/Milwa	1,269	1,245	1,291	1,154	1,235	1,071	1,263	1,153
Radek+Grot	1,371	0,734	1,176	1,093	1,233	0,645	1,254	0,831
Radek/Grot	1,401	0,984	1,092	1,241	1,159	1,184	1,206	1,145
Farmer+Astronaute	1,288	0,865	1,344	0,998	1,330	0,771	1,324	0,876
Farmer/Astronaute	1,235	1,190	1,237	1,285	1,200	1,150	1,225	1,209



Rys. 31. Wskaźnik wydajności upraw (CPR) dla plonu ziarna/nasion mieszanek



Rys. 32. Wskaźnik wydajności upraw (CPR) plonu białka ziarna/nasion mieszanek

5.2.3. Rzeczywista strata plonu – AYL

5.2.3.1. Faza BBCH 51-61

Rzeczywista strata plonu zielonej masy odmian jęczmienia jarego w fazie BBCH 51-61 wyrażona wskaźnikiem AYL wyniosła w kolejnych latach od 0,141 – mieszanka Farmer/Astronaute 2024 rok do 0,626 – Ismena+Milwa 2023 rok, co oznacza, że zastąpienie tych mieszanek siewami czystymi ich komponentów spowodowałoby powyższe względne straty (tab. 47). Analogiczna strata plonu zielonej masy grochu w mieszankach wyniosła od -0,002 – Radek+Grot 2003 rok do 0,511 – Farmer/Astronaute w 2025 roku. Zbliżoną wartość, jak dla plonu zielonej masy, miał wskaźnik straty plonu suchej masy i plonu białka obu komponentów mieszanek. Podobna była również wielkość wskaźnika w zależności od sposobu rozmieszczenia roślin wskutek różnego siewu – u jęczmienia jarego większa w mieszankach współrzędnych, a u grochu w mieszankach na przemian rzędowych. Wyjątek stanowił głównie 2025 rok, kiedy wskaźnik AYL niektórych odmian jęczmienia był większy w mieszankach na przemian rzędowych.

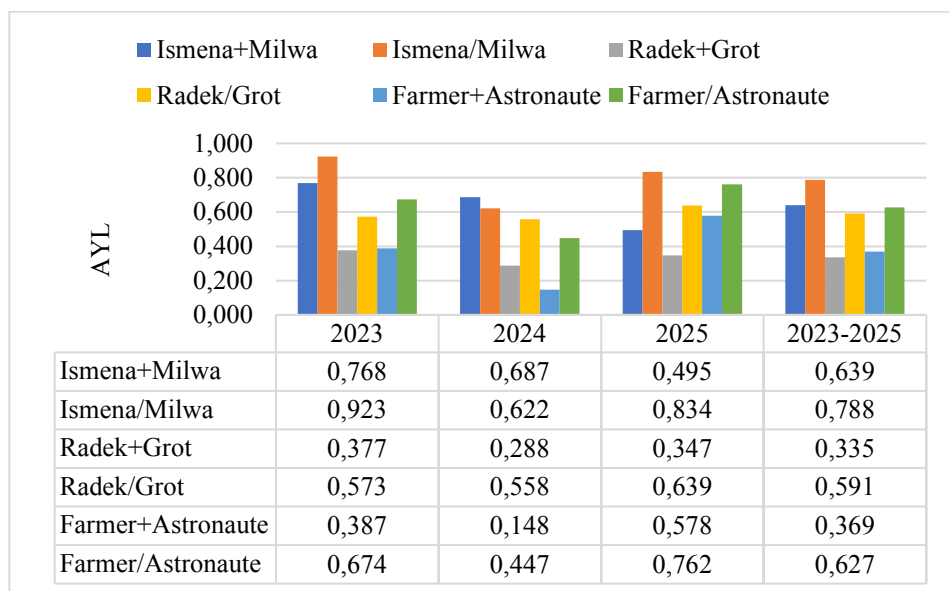
Wskaźnik rzeczywistej straty plonu (AYL) zielonej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61 zarówno w każdym roku, jak i średnio w latach 2023-2025 był większy przy na przemian rzędowym siewie komponentów niż współrzędnym (rys. 33). Największa jego wartość wystąpiła w 2023 roku w mieszankach jęczmienia ‘Ismena’ i grochu ‘Milwa’. Wyjątkiem był tylko 2024 rok, kiedy wskaźnik AYL mieszanki na przemian rzędowej jęczmienia ‘Ismena’ i grochu ‘Milwa’ był mniejszy niż mieszanki współrzędnej.

Strata plonu suchej masy (rys. 34) i jej plonu białka (rys. 35) wyrażona wskaźnikiem AYL kształtowała się podobnie jak plonu zielonej masy. Większa jego wartość dla mieszanki na przemian rzędowej jęczmienia ‘Ismena’ i grochu ‘Milwa’ niż współrzędnej dotyczyła tylko plonu suchej masy, a nie plonu białka.

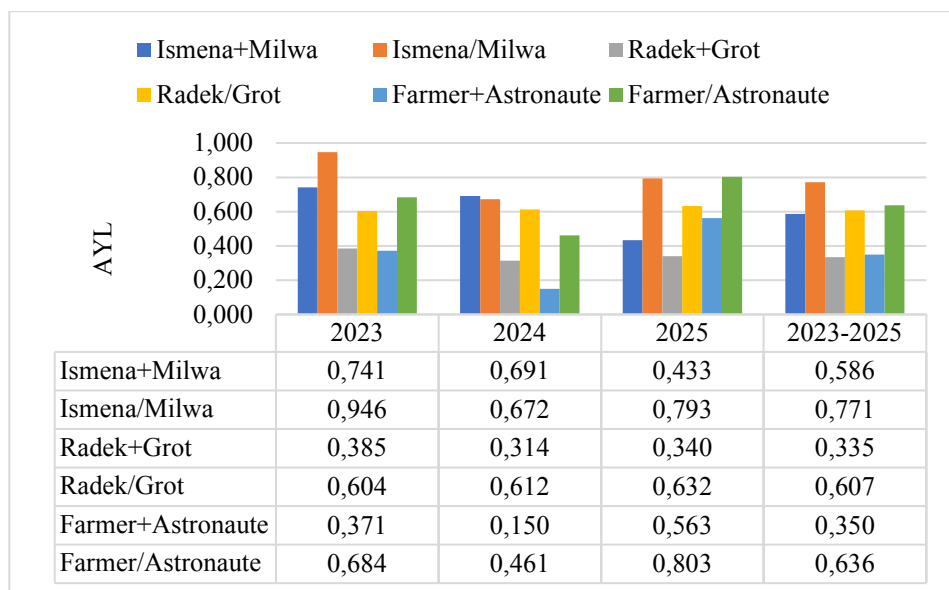
Średnio w okresie badań największa wartość wskaźnika straty plonu AYL dotyczyła mieszanki na przemian rzędowej Ismena/Milwa (rys. 33-35) i wyniosła ona: 0,788 – plon zielonej masy; 0,771 – plon suchej masy; 0,921 – plon białka suchej masy.

Tabela 47. Wskaźnik rzeczywistej straty plonu (AYL) komponentów mieszanek w fazie BBCH 51-61

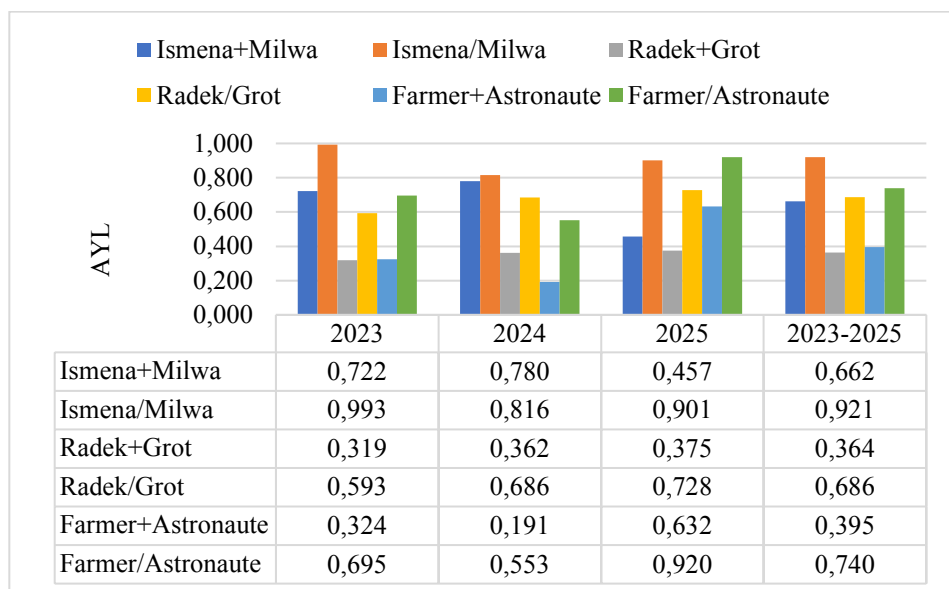
Mieszanka	Rok							
	2023		2024		2025		2023-2025	
	Komponent							
	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Plon zielonej masy								
Ismena+Milwa	0,626	0,142	0,519	0,168	0,323	0,172	0,476	0,163
Ismena/Milwa	0,522	0,401	0,307	0,315	0,358	0,476	0,387	0,401
Radek+Grot	0,380	-0,002	0,196	0,092	0,240	0,107	0,265	0,070
Radek/Grot	0,281	0,292	0,186	0,372	0,243	0,395	0,234	0,358
Farmer+Astronaute	0,331	0,056	0,160	-0,012	0,429	0,149	0,301	0,067
Farmer/Astronaute	0,312	0,362	0,141	0,306	0,251	0,511	0,227	0,399
Plon suchej masy								
Ismena+Milwa	0,613	0,128	0,475	0,215	0,299	0,135	0,440	0,146
Ismena/Milwa	0,539	0,408	0,291	0,381	0,333	0,460	0,368	0,403
Radek+Grot	0,385	-0,001	0,219	0,095	0,246	0,094	0,272	0,063
Radek/Grot	0,291	0,312	0,210	0,403	0,270	0,362	0,249	0,358
Farmer+Astronaute	0,325	0,045	0,165	-0,016	0,397	0,166	0,286	0,063
Farmer/Astronaute	0,317	0,367	0,160	0,301	0,244	0,560	0,229	0,407
Plon białka suchej masy								
Ismena+Milwa	0,601	0,121	0,552	0,228	0,296	0,162	0,487	0,176
Ismena/Milwa	0,555	0,437	0,382	0,434	0,369	0,532	0,443	0,478
Radek+Grot	0,350	-0,031	0,255	0,107	0,265	0,110	0,292	0,072
Radek/Grot	0,290	0,304	0,247	0,438	0,330	0,397	0,294	0,392
Farmer+Astronaute	0,277	0,048	0,192	-0,001	0,451	0,181	0,304	0,091
Farmer/Astronaute	0,311	0,384	0,219	0,334	0,311	0,609	0,277	0,463



Rys. 33. Wskaźnik rzeczywistej straty plonu (AYL) zielonej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61



Rys. 34. Wskaźnik rzeczywistej straty plonu (AYL) suchej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61



Rys. 35. Wskaźnik rzeczywistej straty plonu (AYL) białka suchej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61

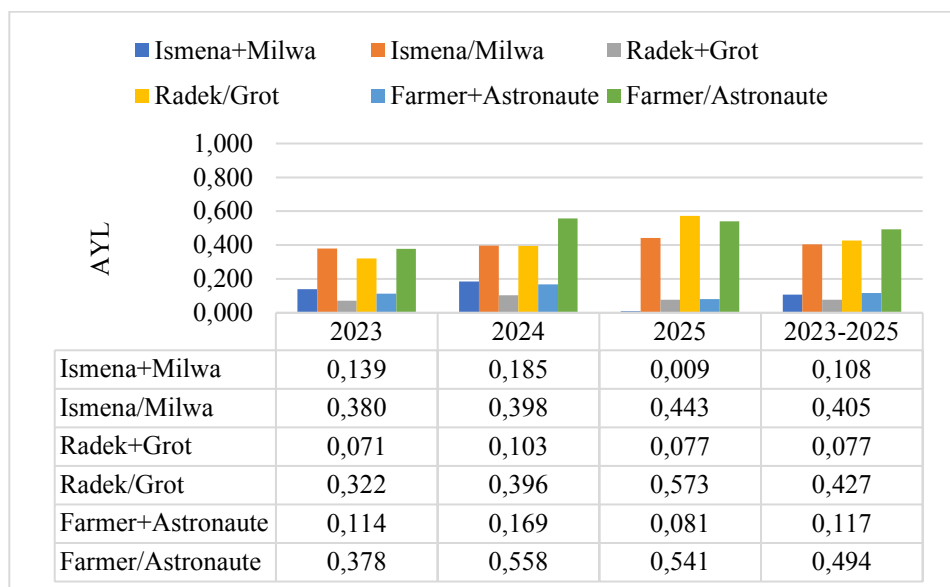
5.2.3.2. Faza BBCH 89

W fazie BBCH 89 wskaźnik straty plonu suchej masy i białka grochu jako komponentu mieszanek, głównie współrzędnych, przyjął wartość ujemną. Natomiast wskaźnik AYL plonów grochu w mieszanekach na przemian rzędowych, a zwłaszcza jęczmienia w obu rodzajach mieszanek, był dodatni i na ogół o większej bezwzględnej wartości (tab. 48). Średnio w okresie badań wartość wskaźnika AYL odmian grochu w mieszanekach na przemian rzędowych wyniosła w zależności od odmiany 0,168-0,276 – plon suchej masy i 0,183-0,309 – plon białka. Natomiast wskaźnik AYL jęczmienia był w małym stopniu zróżnicowany w zależności od rodzaju mieszanek i wahał się w zakresie 0,218-0,244 – plon suchej masy oraz 0,232-0,284 – plon białka suchej masy.

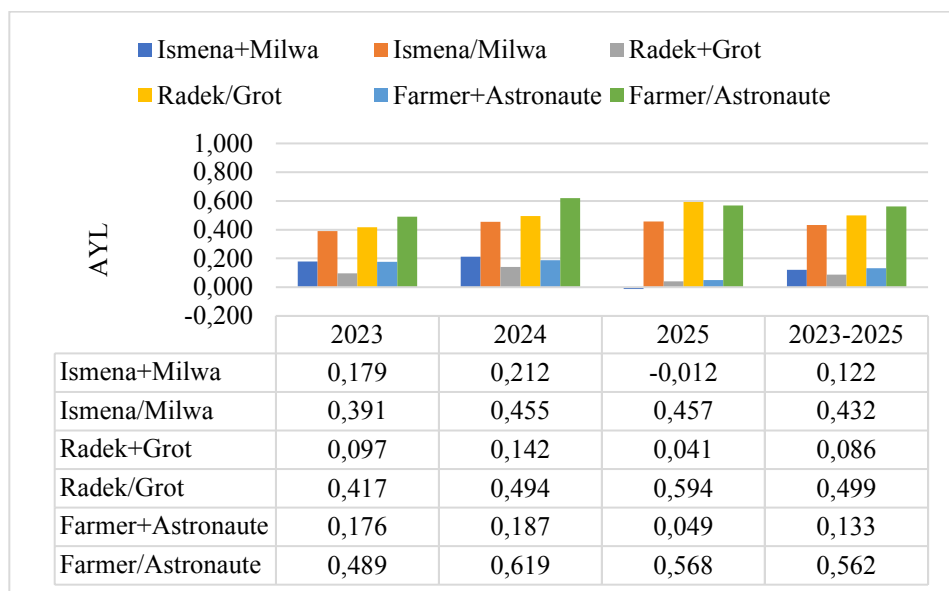
Wskaźnik rzeczywistej straty plonu suchej masy (rys. 36) i plonu białka (rys. 37) w fazie dojrzałości pełnej każdej mieszanki na przemian rzędowej zarówno w kolejnych latach, jak i w okresie 2023-2025 był większy niż odpowiadających im mieszanek współrzędnych. Średnio w latach badań największa wartość wskaźnika AYL odnosiła się do na przemian rzędowej mieszanki jęczmienia ‘Farmer’ z grochem ‘Astronaute’, a najmniejsza do mieszanki Radek+Grot. Wyniosła ona odpowiednio 0,494 i 0,077 dla plonu suchej masy oraz 0,562 i 0,086 dla plonu białka suchej masy.

Tabela 48. Wskaźnik rzeczywistej straty plonu (AYL) komponentów mieszanek w fazie BBCH 89

Mieszanka	Rok							
	2023		2024		2025		2023-2025	
	Komponent							
	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Plon suchej masy								
Ismena+Milwa	0,287	-0,148	0,296	-0,111	0,161	-0,152	0,244	-0,137
Ismena/Milwa	0,300	0,080	0,243	0,155	0,178	0,265	0,237	0,168
Radek+Grot	0,289	-0,218	0,263	-0,160	0,126	-0,049	0,220	-0,143
Radek/Grot	0,353	-0,031	0,144	0,252	0,195	0,377	0,226	0,201
Farmer+Astronaute	0,263	-0,149	0,285	-0,116	0,135	-0,054	0,222	-0,106
Farmer/Astronaute	0,222	0,156	0,238	0,320	0,197	0,343	0,218	0,276
Plon białka suchej masy								
Ismena+Milwa	0,333	-0,154	0,314	-0,102	0,146	-0,158	0,258	-0,137
Ismena/Milwa	0,308	0,083	0,272	0,183	0,181	0,276	0,249	0,183
Radek+Grot	0,318	-0,221	0,302	-0,160	0,103	-0,062	0,234	-0,147
Radek/Grot	0,439	-0,023	0,217	0,277	0,214	0,380	0,284	0,215
Farmer+Astronaute	0,306	-0,130	0,305	-0,118	0,103	-0,054	0,232	-0,099
Farmer/Astronaute	0,295	0,194	0,263	0,356	0,201	0,366	0,252	0,309



Rys. 36. Wskaźnik rzeczywistej straty plonu (AYL) suchej masy mieszanek w fazie BBCH 89



Rys. 37. Wskaźnik rzeczywistej straty plonu (AYL) białka w suchej masie mieszanek w fazie BBCH 89

5.2.3.3. Plon ziarna/nasion, białka

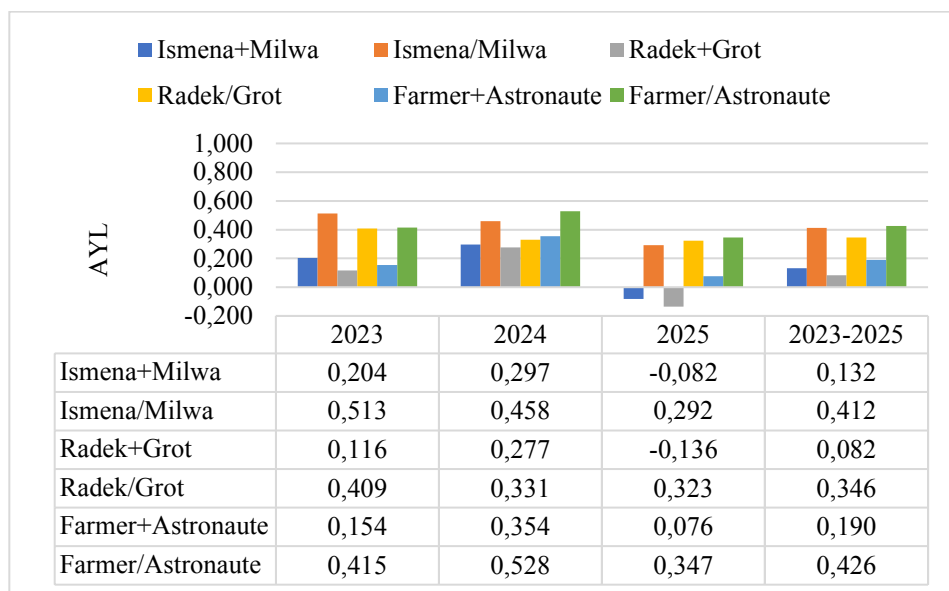
Wskaźnik rzeczywistej straty plonu nasion i białka grochu w mieszankach współrzędnych w 2023 i 2025 roku oraz średnio w latach 2023-2025, jak również mieszanki Ismena+Milwa w 2024 roku był ujemny. Ujemny wskaźnik AYL, oprócz powyższych, miała także mieszanka współrzędna Farmer+Astronaute w latach 2023 i 2024 dla plonu białka i w 2023 roku dla plonu nasion (tab. 49). Dodatnia była natomiast wartość wskaźnika AYL plonu nasion i białka grochu w mieszankach na przemian rzędowych, z wyjątkiem odmiany ‘Grot’ wysianej w 2023 roku z odmianą jęczmienia ‘Radek’. Wartość AYL średnio w okresie badań wyniosła dla plonu nasion od 0,150 – odmiana ‘Grot’ do 0,216 – odmiana ‘Astronaute’. Wartość analogicznych wskaźników AYL dla plonu białka wyniosła 0,145 i 0,209.

Wartość wskaźnika straty plonu ziarna i białka jęczmienia jarego uprawianego w obu rodzajach mieszanek miała wartość dodatnią i większą w mieszankach współrzędnych niż na przemian rzędowych, z wyjątkiem uprawy odmiany ‘Radek’ z grochem ‘Grot’ w 2023 roku. Średnio w latach badań największy wskaźnik AYL był właściwy odmianie ‘Ismena’ w mieszance współrzędnej z grochem ‘Milwa’ – 0,306 dla plonu ziarna i 0,330 dla plonu białka.

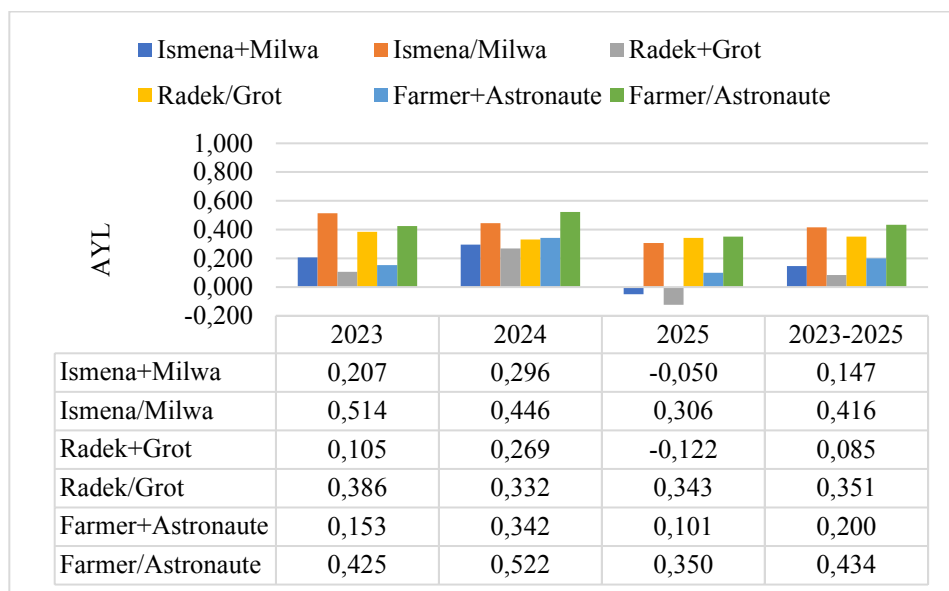
Tabela 49. Wskaźnik rzeczywistej straty plonów (AYL) ziarna, nasion i białka komponentów mieszanek

Mieszanka	Rok							
	2023		2024		2025		2023-2025	
	Komponent							
	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Plon ziarna/nasion								
Ismena+Milwa	0,310	-0,106	0,332	-0,035	0,283	-0,365	0,306	-0,175
Ismena/Milwa	0,278	0,235	0,287	0,172	0,225	0,067	0,261	0,151
Radek+Grot	0,368	-0,252	0,149	0,128	0,212	-0,348	0,234	-0,152
Radek/Grot	0,416	-0,008	0,077	0,254	0,141	0,183	0,195	0,150
Farmer+Astronaute	0,279	-0,125	0,333	0,021	0,292	-0,216	0,302	-0,112
Farmer/Astronaute	0,225	0,189	0,225	0,303	0,185	0,162	0,210	0,216
Plon białka								
Ismena+Milwa	0,319	-0,112	0,349	-0,053	0,322	-0,372	0,330	-0,183
Ismena/Milwa	0,269	0,245	0,291	0,154	0,235	0,071	0,263	0,153
Radek+Grot	0,371	-0,266	0,176	0,093	0,233	-0,355	0,254	-0,169
Radek/Grot	0,401	-0,016	0,092	0,241	0,159	0,184	0,206	0,145
Farmer+Astronaute	0,288	-0,135	0,344	-0,002	0,330	-0,229	0,324	-0,124
Farmer/Astronaute	0,235	0,190	0,237	0,285	0,200	0,150	0,225	0,209

Ujemna wartość wskaźnika AYL była właściwa dla plonów ziarna/nasion mieszanek współrzędnych Ismena+Milwa i Radek+Grot w 2025 roku (rys. 38), jak również dla plonów ich białka (rys. 39). Dlatego średnio w latach badań wskaźnik straty plonów ziarna/nasion i białka tych mieszanek oraz mieszanek współrzędnej Farmer+Astronaute był mniejszy niż mieszanek na przemian rzędowych. Jego wielkość nie przekroczyła wartości 0,190 – plon ziarna/nasion i 0,200 – plon białka. Natomiast wskaźnik AYL plonu ziarna/nasion i białka mieszanek na przemian rzędowych wyniósł 0,346-0,426 – ziarno/nasiona i 0,351-0,434 – białko.



Rys. 38. Wskaźnik rzeczywistej straty plonu (AYL) ziarna/nasion mieszanek



Rys. 39. Wskaźnik rzeczywistej straty plonu (AYL) białka ziarna/nasion mieszanek

5.2.4. Konkurencyjność – CR

5.2.4.1. Faza BBCH 51-61

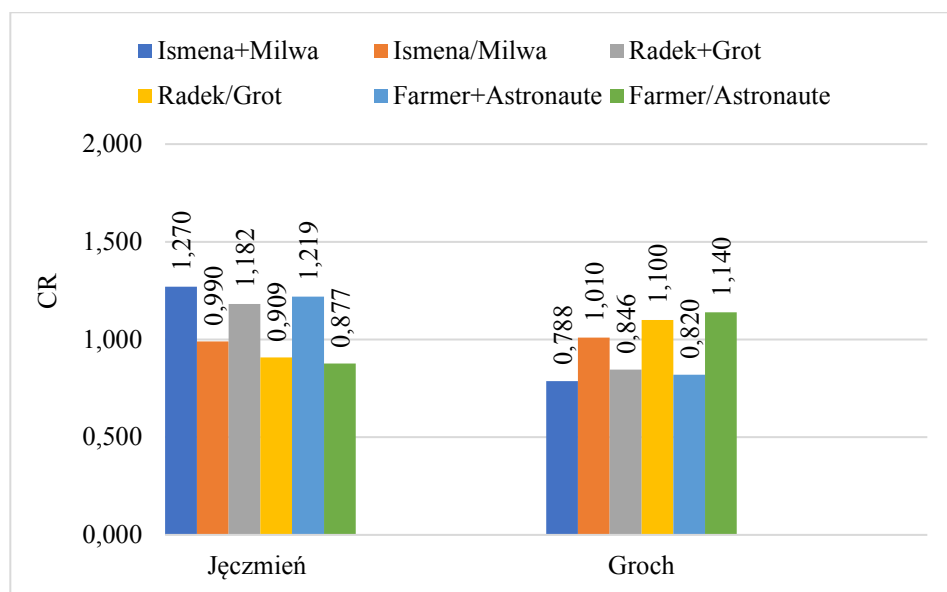
Wskaźnik konkurencyjności jęczmienia jarego w mieszankach współrzędnych był większy niż grochu siewnego. Prawidłowość ta wystąpiła w każdym roku badań i w odniesieniu zarówno do plonu zielonej i suchej masy, jak i plonu białka suchej masy roślin w fazie BBCH 51-61 (tab. 50). Największą wartość wskaźnika CR i największą różnicę względem tego wskaźnika dla grochu, tj. ponad 0,7, posiadał jęczmień odmiany ‘Ismena’ w 2023 roku. W mieszankach na przemian rzędowych bardziej konkurencyjnym komponentem był groch siewny. Wyjątek stanowiła mieszanka Ismena/Milwa uprawiana w 2023 roku. W każdym przypadku (odmiany, lata, rodzaj plonu) wskaźnik CR jęczmienia jarego był większy w mieszankach współrzędnych niż na przemian rzędowych, a grochu odwrotnie.

Tabela 50. Wskaźnik konkurencyjności (CR) komponentów mieszanek w fazie BBCH 51-61 w latach badań

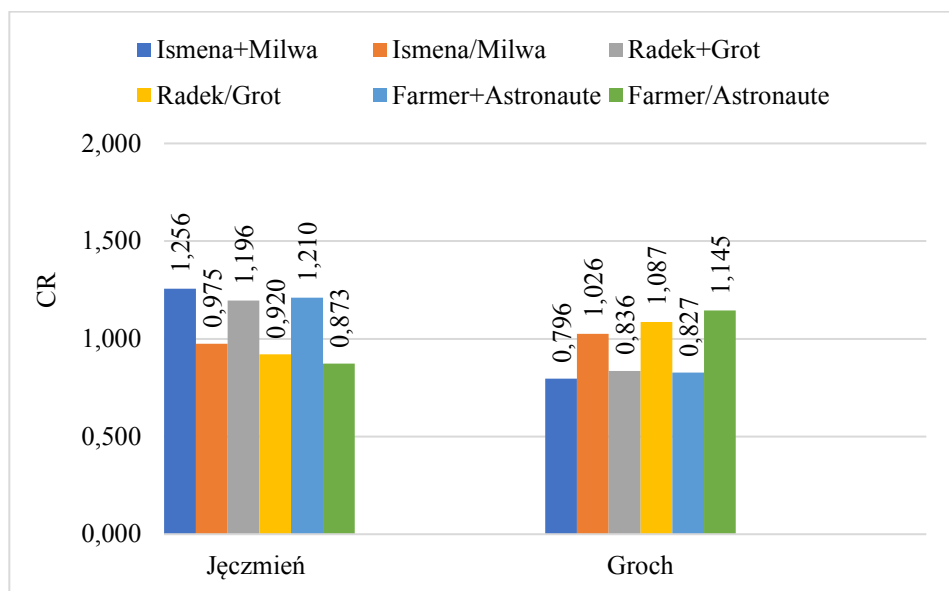
Mieszanka	Rok					
	2023		2024		2025	
	Komponent					
	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Plon zielonej masy						
Ismena+Milwa	1,424	0,702	1,300	0,769	1,129	0,885
Ismena/Milwa	1,087	0,920	0,993	1,007	0,920	1,086
Radek+Grot	1,383	0,723	1,095	0,913	1,121	0,892
Radek/Grot	0,991	1,009	0,865	1,156	0,891	1,122
Farmer+Astronaute	1,260	0,794	1,175	0,851	1,244	0,804
Farmer/Astronaute	0,963	1,038	0,873	1,145	0,828	1,207
Plon suchej masy						
Ismena+Milwa	1,429	0,700	1,214	0,824	1,144	0,874
Ismena/Milwa	1,093	0,915	0,935	1,070	0,913	1,095
Radek+Grot	1,386	0,721	1,113	0,899	1,139	0,878
Radek/Grot	0,984	1,016	0,863	1,159	0,932	1,072
Farmer+Astronaute	1,268	0,789	1,184	0,845	1,198	0,835
Farmer/Astronaute	0,964	1,038	0,892	1,121	0,797	1,254
Plon białka suchej masy						
Ismena+Milwa	1,428	0,700	1,264	0,791	1,115	0,897
Ismena/Milwa	1,082	0,924	0,963	1,038	0,894	1,119
Radek+Grot	1,393	0,718	1,134	0,882	1,140	0,877
Radek/Grot	0,989	1,011	0,867	1,153	0,952	1,050
Farmer+Astronaute	1,219	0,821	1,194	0,838	1,229	0,814
Farmer/Astronaute	0,947	1,056	0,914	1,094	0,814	1,228

Średnio w okresie badań wskaźnik konkurencyjności każdej odmiany jęczmienia jarego w mieszance współrzędnej w fazie BBCH 51-61 był większy od jej wskaźnika CR w mieszance na przemian rzędowej. Największa różnica wartości wskaźnika CR jęczmienia jarego w obu rodzajach mieszanki wystąpiła przy wspólnym siewie odmiany 'Farmer' z grochem 'Astronaute'. Wyniosła ona: 0,342 – plon zielonej masy (rys. 40), 0,337 – plon suchej masy (rys. 41) i 0,322 – plon białka suchej masy roślin (rys. 42). Jednocześnie wskaźnik CR każdej odmiany jęczmienia w mieszance współrzędnej był większy od wskaźnika konkurencyjności odpowiadającej jej odmiany grochu w obu rodzajach mieszanki.

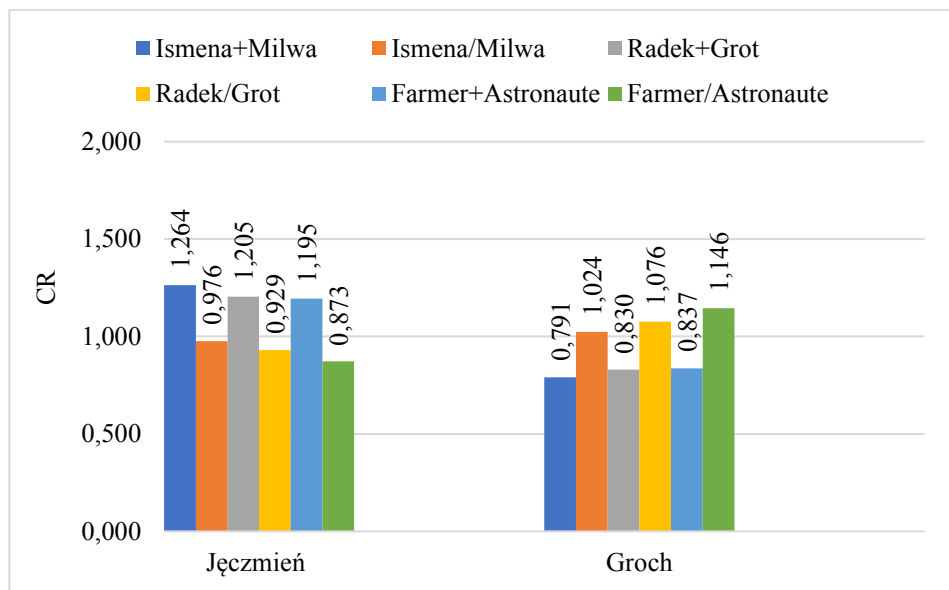
Z kolei groch siewny, wszystkie jego odmiany, był bardziej konkurencyjny w mieszankach na przemian rzędowych niż współrzędnych (rys. 40-42). Największa różnica wskaźnika CR dla plonów zielonej i suchej masy oraz plonu białka właściwa odmianie 'Astronaute' wyniosła odpowiednio: 0,320; 318 i 309.



Rys. 40. Wskaźnik konkurencyjności (CR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu zielonej masy w fazie BBCH 51-61, średnio w okresie badań



Rys. 41. Wskaźnik konkurencyjności (CR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu suchej masy w fazie BBCH 51-61, średnio w okresie badań



Rys. 42. Wskaźnik konkurencyjności (CR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu białka suchej masy w fazie BBCH 51-61, średnio w okresie badań

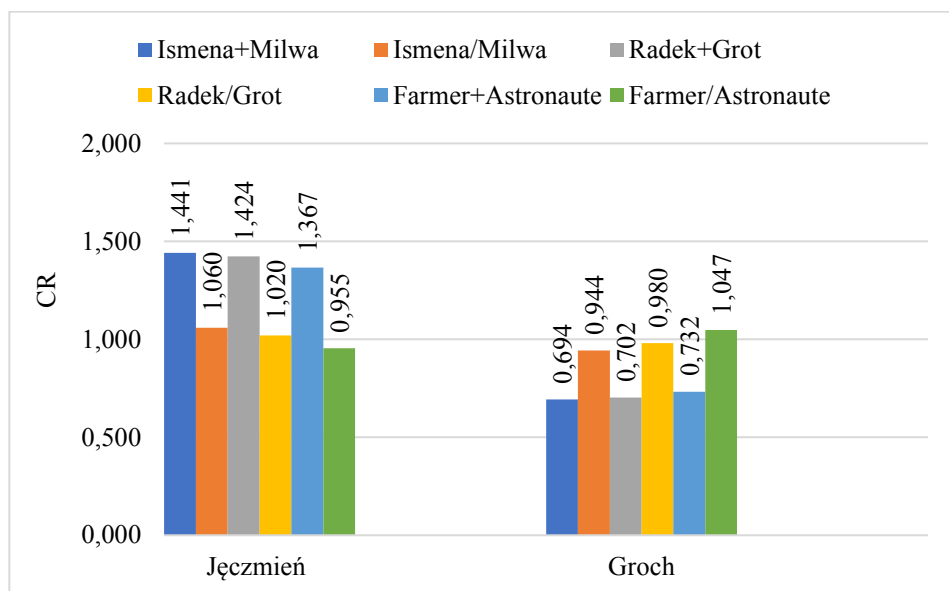
5.2.4.2. Faza BBCH 89

W fazie dojrzałości pełnej wartość wskaźnika konkurencyjności jęczmienia jarego w odniesieniu zarówno do plonu suchej masy, jak i plonu białka była większa we wszystkich mieszankach współrzędnych niż na przemian rzędowych. Natomiast odmiany grochu siewnego charakteryzowały się większym wskaźnikiem CR w mieszankach na przemian rzędowych (tab. 51). Wskaźnik konkurencyjności jęczmienia był większy niż grochu we wszystkich mieszankach współrzędnych oraz mieszankach na przemian rzędowych uprawianych w 2023 roku i mieszance Ismena/Milwa (na przemian rzędowa) w 2024 roku. Największa jego różnica przekroczyła wartość 1,0 – mieszanka Radek+Grot w 2023 roku.

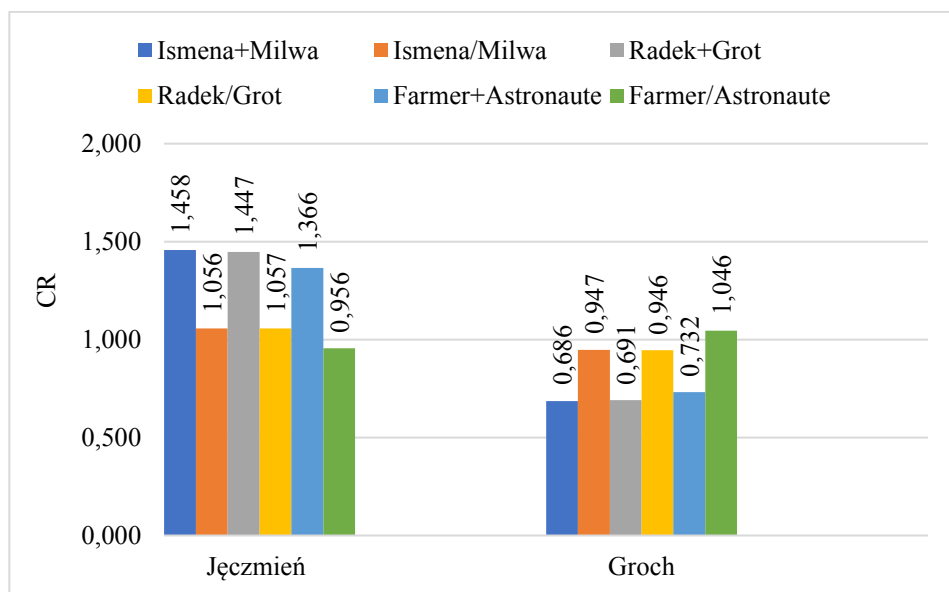
Średnio w latach 2023-2025, w fazie BBCH 89 wskaźnik CR poszczególnych odmian jęczmienia jarego, zwłaszcza ‘Ismena’ i ‘Radek’ w odniesieniu do plonu suchej masy (rys. 43) i jej białka (rys. 44) był podobny i większy w mieszankach współrzędnych niż na przemian rzędowych. Większa była również wartość wskaźnika konkurencyjności każdej odmiany jęczmienia w mieszance współrzędnej od jego wartości wszystkich odmian grochu niezależnie od sposobu rozmieszczenia rośliny bobowatej w łanie – rodzaj mieszanki. Natomiast wskaźnik CR każdej odmiany grochu siewnego był większy w mieszance na przemian rzędowej niż współrzędnej i niezależnie od sposobu siewu mniejszy od jedności. Tylko w mieszance Farmer/Astronaute jego wartość wyniosła 1,047 – dla plonu suchej masy i 1,046 – plon białka.

Tabela 51. Wskaźnik konkurencyjności (CR) komponentów mieszanek w fazie BBCH 89 w latach badań

Mieszanka	Rok					
	2023		2024		2025	
	Komponent					
	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Plon suchej masy						
Ismena+Milwa	1,511	0,662	1,459	0,686	1,369	0,731
Ismena/Milwa	1,203	0,831	1,076	0,929	0,932	1,073
Radek+Grot	1,647	0,607	1,504	0,665	1,184	0,844
Radek/Grot	1,397	0,716	0,914	1,094	0,868	1,152
Farmer+Astronaute	1,484	0,674	1,455	0,687	1,200	0,834
Farmer/Astronaute	1,057	0,946	0,937	1,067	0,892	1,122
Plon białka suchej masy						
Ismena+Milwa	1,574	0,635	1,463	0,684	1,360	0,735
Ismena/Milwa	1,207	0,828	1,075	0,930	0,925	1,081
Radek+Grot	1,691	0,591	1,550	0,645	1,176	0,850
Radek/Grot	1,472	0,679	0,953	1,050	0,880	1,136
Farmer+Astronaute	1,501	0,666	1,479	0,676	1,165	0,858
Farmer/Astronaute	1,084	0,922	0,931	1,074	0,879	1,137



Rys. 43. Wskaźnik konkurencyjności (CR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu suchej masy w fazie BBCH 89, średnio w okresie badań



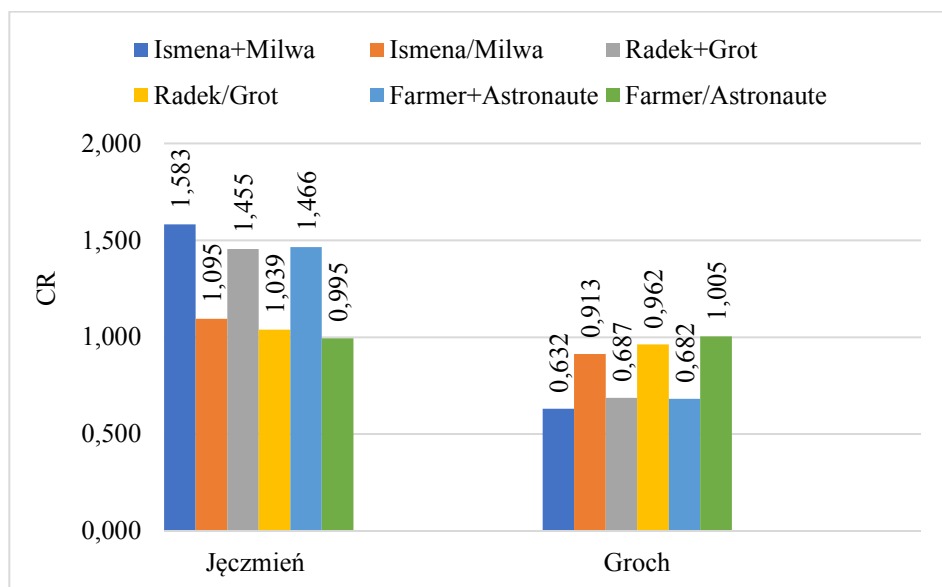
Rys. 44. Wskaźnik konkurencyjności (CR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu białka suchej masy w fazie BBCH 89, średnio w okresie badań

5.2.4.3. Plon ziarna/nasion, białka

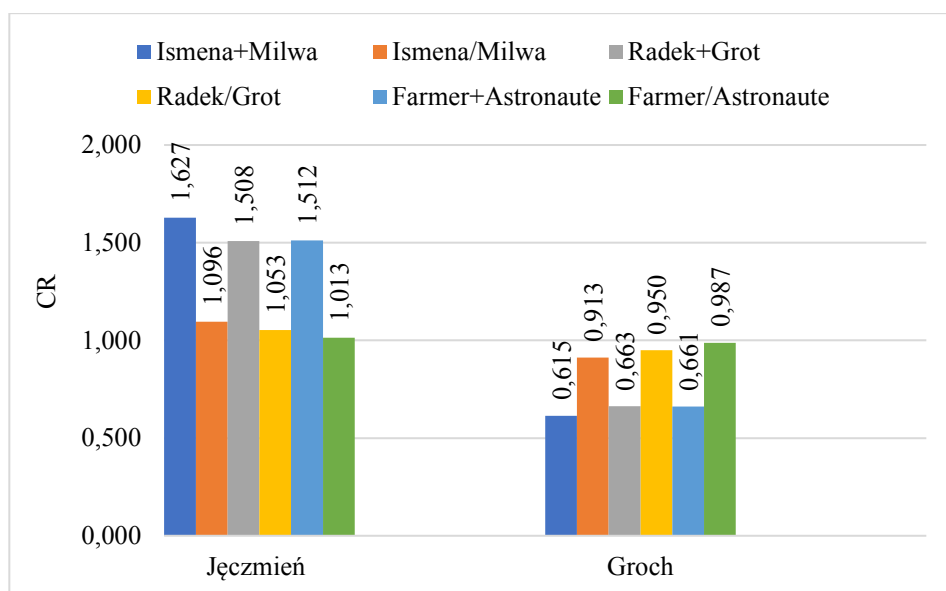
Wskaźnik konkurencyjności jęczmienia jarego w odniesieniu do plonu ziarna/nasion i plonu białka był w większości mieszanek większy od wskaźnika CR grochu siewnego. Tylko w mieszankach na przemian rzędowych Radek/Grot w 2024 i 2025 roku oraz Farmer/Astronaute w 2024 roku większy był wskaźnik CR rośliny strączkowej niż zbożowej (tab. 52). We wszystkich latach i dla wszystkich odmian, choć w różnym stopniu, wskaźnik konkurencyjności jęczmienia jarego w mieszankach współrzędnych był większy niż w na przemian rzędowych. Szczególnie duża różnica wartości CR, ponad 0,8, wystąpiła w 2025 roku – mieszanki odmian ‘Ismena’ i ‘Radek’ z grochem ‘Milwa’ oraz ‘Grot’. Natomiast wskaźnik CR grochu był większy w mieszankach na przemian rzędowych niż współrzędnych w każdym roku badań zarówno w odniesieniu do plonu nasion, jak i białka.

Tabela 52. Wskaźnik konkurencyjności (CR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu ziarna, nasion i białka w latach badań

Mieszanka	Rok					
	2023		2024		2025	
	Komponent					
	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Plon ziarna/nasion						
Ismena+Milwa	1,465	0,682	1,381	0,724	2,019	0,495
Ismena/Milwa	1,035	0,966	1,098	0,911	1,148	0,871
Radek+Grot	1,829	0,547	1,019	0,981	1,858	0,538
Radek/Grot	1,427	0,701	0,859	1,164	0,965	1,037
Farmer+Astronaute	1,463	0,684	1,306	0,766	1,647	0,607
Farmer/Astronaute	1,030	0,971	0,941	1,063	1,019	0,981
Plon białka						
Ismena+Milwa	1,485	0,674	1,425	0,702	2,106	0,475
Ismena/Milwa	1,019	0,982	1,119	0,894	1,152	0,868
Radek+Grot	1,868	0,535	1,076	0,929	1,911	0,523
Radek/Grot	1,424	0,702	0,880	1,137	0,979	1,022
Farmer+Astronaute	1,489	0,672	1,346	0,743	1,726	0,579
Farmer/Astronaute	1.038	0.963	0.962	1.039	1.044	0.958



Rys. 45. Wskaźnik konkurencyjności (CR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu ziarna/nasion, średnio w okresie badań



Rys. 46. Wskaźnik konkurencyjności (CR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu białka ziarna/nasion, średnio w okresie badań

Średnio w latach 2023-2025 wskaźnik konkurencyjności CR jęczmienia jarego w odniesieniu do plonu ziarna w mieszankach współrzędnych wyniósł, w zależności od odmiany, 1,466-1,583. W mieszankach na przemian rzędowych był on mniejszy o około 0,4-0,6, ale mimo to większy od wskaźnika konkurencyjności wszystkich odmian rośliny strączkowej w obu rodzajach mieszanek, z wyjątkiem mieszanki Farmer/Astronaute (rys. 45).

Podobnie kształtował się wskaźnik konkurencyjności jęczmienia jarego w odniesieniu do plonu białka ziarna (rys. 46). W tym przypadku wskaźnik CR rośliny zbożowej w mieszance na przemian rzędowej Farmer/Astronaute był większy od jego wartości dla wszystkich odmian grochu niezależnie od sposobu rozmieszczenia rośliny strączkowej w łanie – rodzaju mieszanki.

Wskaźnik konkurencyjności każdej odmiany grochu był mniejszy od jedności, z wyjątkiem plonu nasion mieszanki Farmer/Astronaute, i większy w uprawie na przemian rzędowej niż współrzędnej.

5.2.5. Agresywność – AR

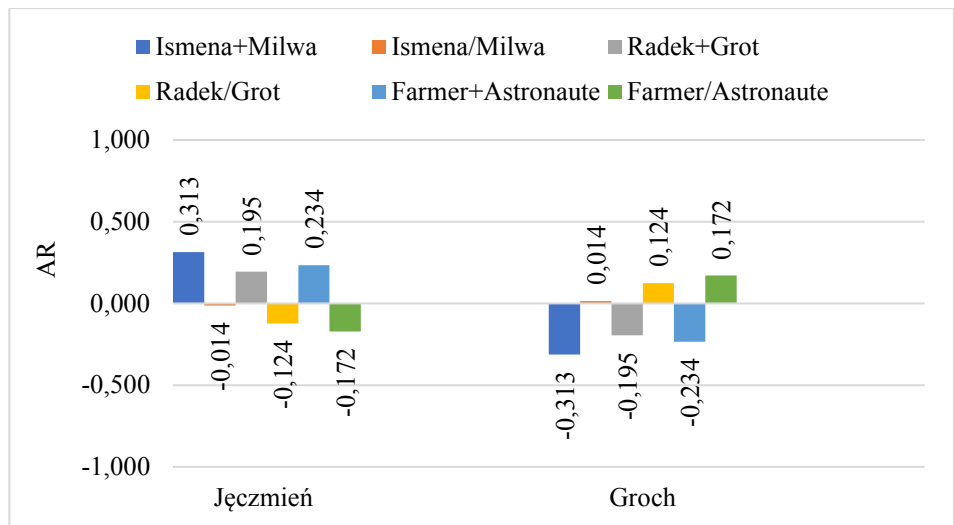
5.2.5.1. Faza BBCH 51-61

Wskaźnik agresywności (AR) jęczmienia jarego w odniesieniu do plonów zielonej i suchej masy oraz białka w fazie BBCH 51-61 miał wartość dodatnią we wszystkich mieszankach współrzędnych w każdym roku badań, a także w mieszance na przemian rzędowej Ismena/Milwa w 2023 roku. Dodatniemu wskaźnikowi AR jednego komponentu towarzyszy ujemny wskaźnik drugiego składnika. Dlatego taką wartość AR posiadał groch siewny w powyższych mieszankach, a dodatnią w większości mieszanek na przemian rzędowych (tab. 53). Natomiast największą bezwzględną wartością wskaźnika agresywności odznaczały się komponenty mieszanek Ismena+Milwa’ w 2023 i 2024 roku, Radek+Grot w 2023 roku oraz Farmer+Astronaute w 2025 roku.

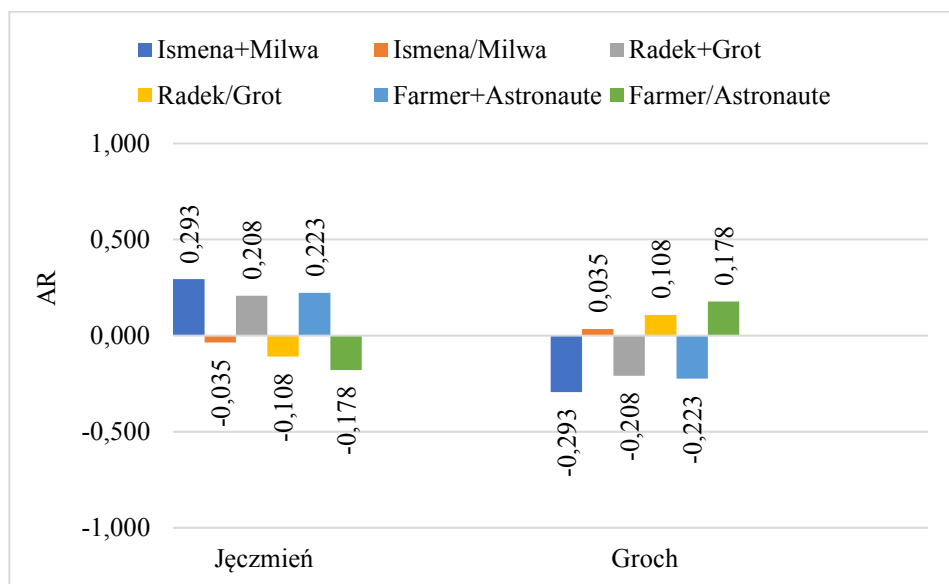
Średnio w latach 2023-2025 dodatnia wartość wskaźnika AR jęczmienia jarego, w zależności od odmiany wyniosła w mieszankach współrzędnych od: 0,195 ‘Radek’ do 0,313 ‘Ismena’ – plon zielonej masy (rys. 47); od 0,208 ‘Radek’ do 0,293 ‘Ismena’ – plon suchej masy (rys. 48) oraz od 0,213 ‘Farmer’ do 0,311 ‘Ismena’ – plon białka suchej masy roślin (rys. 49). W mieszankach na przemian rzędowych wartość bezwzględna wskaźnika AR każdej odmiany jęczmienia była mniejsza, a wskaźnik ujemny (rys. 47-49). Wskaźnik agresywności odmian grochu siewnego występujących w poszczególnych mieszankach miał tę samą wielkość, ale z przeciwnym znakiem do wskaźnika AR właściwego do współwystępującej odmiany jęczmienia. Był zatem dodatni w mieszankach na przemian rzędowych, a ujemny we współrzędnych.

Tabela 53. Wskaźnik agresywności (AR) komponentów mieszanek w fazie BBCH 51-61 w latach badań

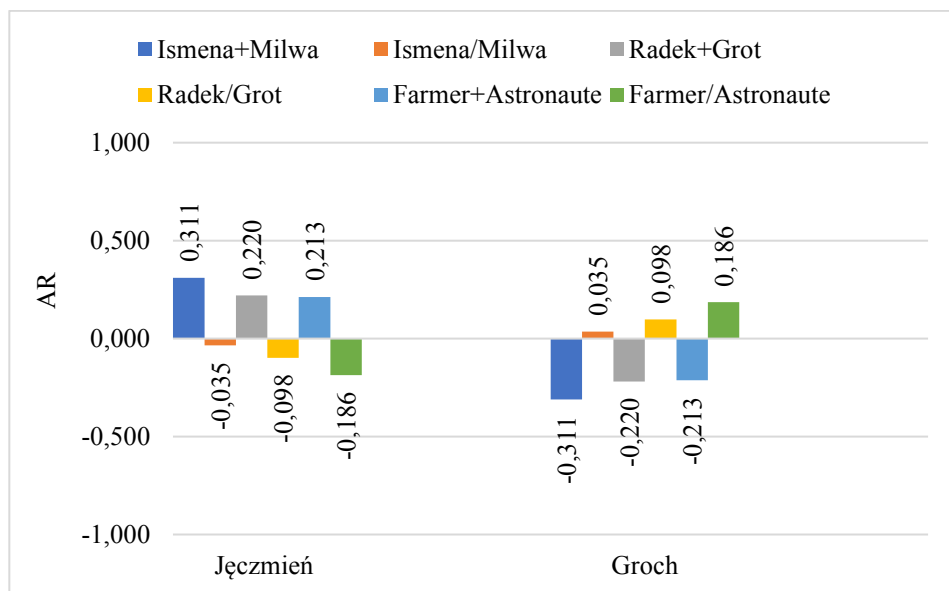
Mieszanka	Rok					
	2023		2024		2025	
	Komponent					
	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Plon zielonej masy						
Ismena+Milwa	0,484	-0,484	0,350	-0,350	0,152	-0,152
Ismena/Milwa	0,122	-0,122	-0,009	0,009	-0,117	0,117
Radek+Grot	0,382	-0,382	0,104	-0,104	0,134	-0,134
Radek/Grot	-0,012	0,012	-0,185	0,185	-0,152	0,152
Farmer+Astronaute	0,275	-0,275	0,173	-0,173	0,281	-0,281
Farmer/Astronaute	-0,050	0,050	-0,166	0,166	-0,259	0,259
Plon suchej masy						
Ismena+Milwa	0,484	-0,484	0,260	-0,260	0,164	-0,164
Ismena/Milwa	0,131	-0,131	-0,090	0,090	-0,127	0,127
Radek+Grot	0,386	-0,386	0,123	-0,123	0,152	-0,152
Radek/Grot	-0,021	0,021	-0,193	0,193	-0,092	0,092
Farmer+Astronaute	0,280	-0,280	0,181	-0,181	0,231	-0,231
Farmer/Astronaute	-0,050	0,050	-0,140	0,140	-0,316	0,316
Plon białka suchej masy						
Ismena+Milwa	0,480	-0,480	0,324	-0,324	0,134	-0,134
Ismena/Milwa	0,118	-0,118	-0,052	0,052	-0,163	0,163
Radek+Grot	0,381	-0,381	0,148	-0,148	0,156	-0,156
Radek/Grot	-0,014	0,014	-0,191	0,191	-0,067	0,067
Farmer+Astronaute	0,229	-0,229	0,193	-0,193	0,270	-0,270
Farmer/Astronaute	-0,073	0,073	-0,115	0,115	-0,299	0,299



Rys. 47. Wskaźnik agresywności (AR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu zielonej masy w fazie BBCH 51-61, średnio w okresie badań



Rys. 48. Wskaźnik agresywności (AR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu suchej masy w fazie BBCH 51-61, średnio w okresie badań



Rys. 49. Wskaźnik agresywności (AR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu białka suchej masy w fazie BBCH 51-61, średnio w okresie badań

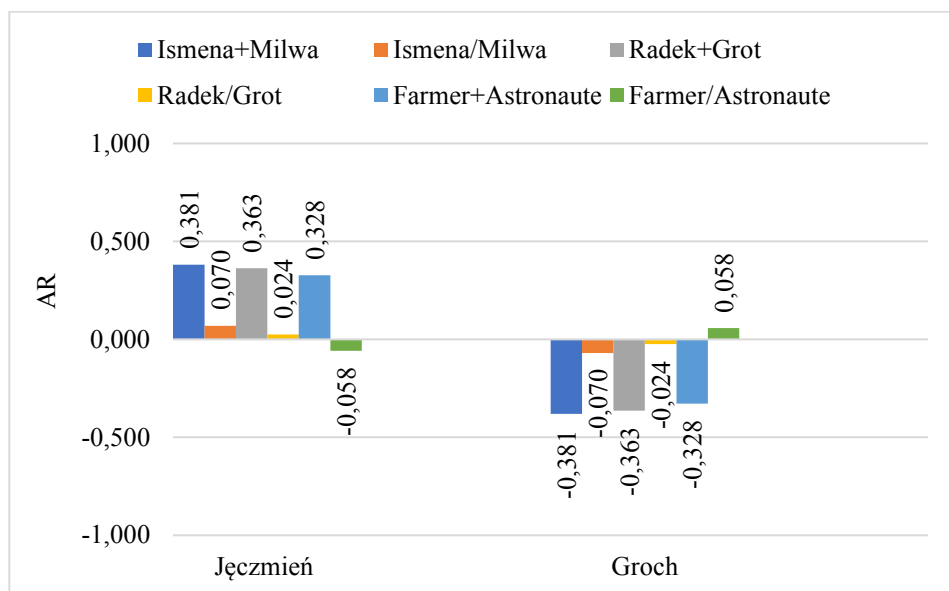
5.2.5.2. Faza BBCH 89

Wskaźnik agresywności wszystkich odmian jęczmienia jarego w obu rodzajach mieszanek w 2023 roku, we wszystkich mieszankach współrzędnych w 2024 i 2025 roku oraz w na przemian rzędowej mieszance Ismena/Milwa w 2024 roku był dodatni zarówno w odniesieniu do plonu suchej masy roślin, jak i białka (tab. 54). Największa jego wartość dodatnia wystąpiła u mieszanek współrzędnych w 2023 i 2024 roku oraz mieszanki Ismena+Milwa w 2025 r., a tym samym największa ujemna wartość wskaźnika AR odmian grochu siewnego. Natomiast największy ujemny wskaźnik agresywności jęczmienia miał miejsce u odmian ‘Radek’ i ‘Farmer’ w mieszankach na przemian rzędowych z grochem ‘Grot’ i ‘Astronaute’ w 2025 roku.

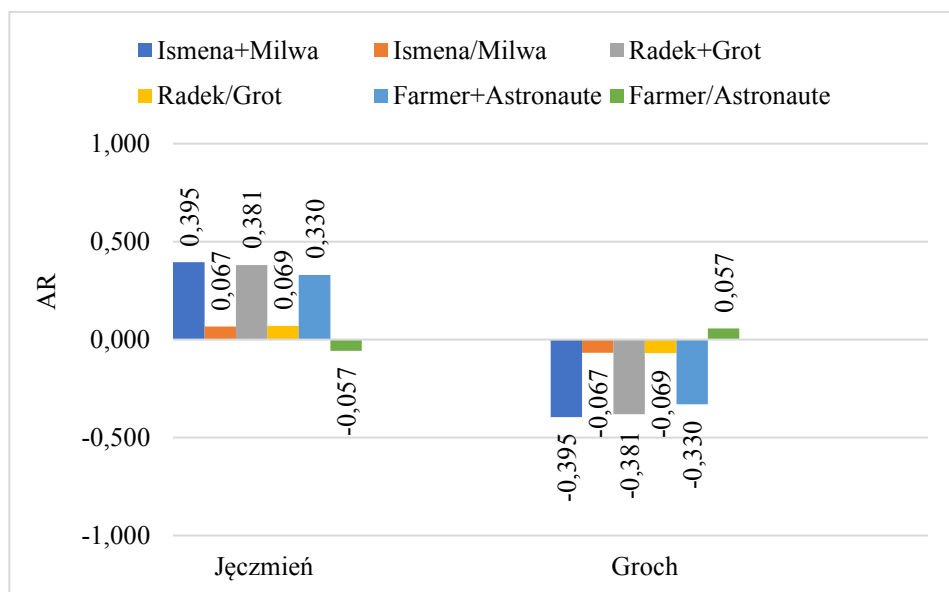
Średnio w okresie badań wskaźnik AR odmian jęczmienia jarego w odniesieniu do plonu suchej masy (rys. 50) i plonu jej białka (rys. 51) w fazie BBCH 89 był dodatni w obu rodzajach mieszanek, z wyjątkiem mieszanki na przemian rzędowej Farmer/Astronaute. Jego dodatnia wartość u wszystkich odmian jęczmienia w mieszankach współrzędnych była podobna i wynosiła około 0,33-0,38 dla plonu suchej masy i 0,33-0,40 dla plonu białka. Natomiast dodatni wskaźnik AR odmian ‘Ismena’ i ‘Radek’ w mieszankach na przemian rzędowych był bliski 0,00. Z kolei dodatnia wartość wskaźnika agresywności grochu siewnego wystąpiła tylko w na przemian rzędowej uprawie jego odmiany ‘Astronaute’ z odmianą ‘Farmer’ jęczmienia jarego.

Tabela 54. Wskaźnik agresywności (AR) komponentów mieszanek w fazie BBCH 89 w latach badań

Mieszanka	Rok					
	2023		2024		2025	
	Komponent					
	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Plon suchej masy						
Ismena+Milwa	0,435	-0,435	0,408	-0,408	0,313	-0,313
Ismena/Milwa	0,220	-0,220	0,088	-0,088	-0,086	0,086
Radek+Grot	0,506	-0,506	0,423	-0,423	0,175	-0,175
Radek/Grot	0,385	-0,385	-0,108	0,108	-0,182	0,182
Farmer+Astronaute	0,412	-0,412	0,402	-0,402	0,189	-0,189
Farmer/Astronaute	0,066	-0,066	-0,083	0,083	-0,146	0,146
Plon białka suchej masy						
Ismena+Milwa	0,486	-0,486	0,416	-0,416	0,304	-0,304
Ismena/Milwa	0,224	-0,224	0,089	-0,089	-0,095	0,095
Radek+Grot	0,539	-0,539	0,462	-0,462	0,165	-0,165
Radek/Grot	0,462	-0,462	-0,061	0,061	-0,165	0,165
Farmer+Astronaute	0,436	-0,436	0,423	-0,423	0,157	-0,157
Farmer/Astronaute	0,101	-0,101	-0,094	0,094	-0,165	0,165



Rys. 50. Wskaźnik agresywności (AR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu suchej masy w fazie BBCH 89, średnio w okresie badań



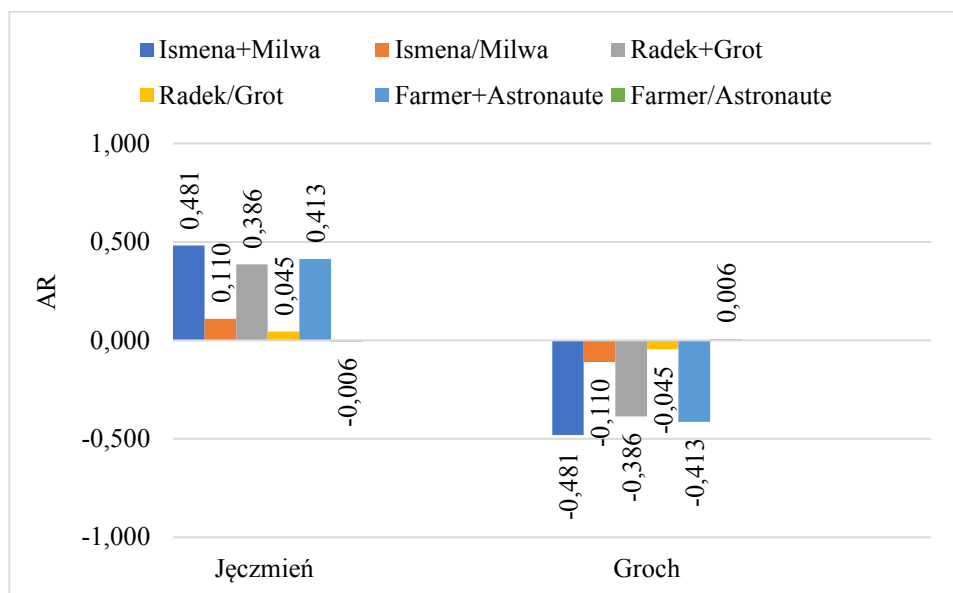
Rys. 51. Wskaźnik agresywności (AR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu białka suchej masy w fazie BBCH 89, średnio w okresie badań

5.2.5.3. Plon ziarna/nasion, białka

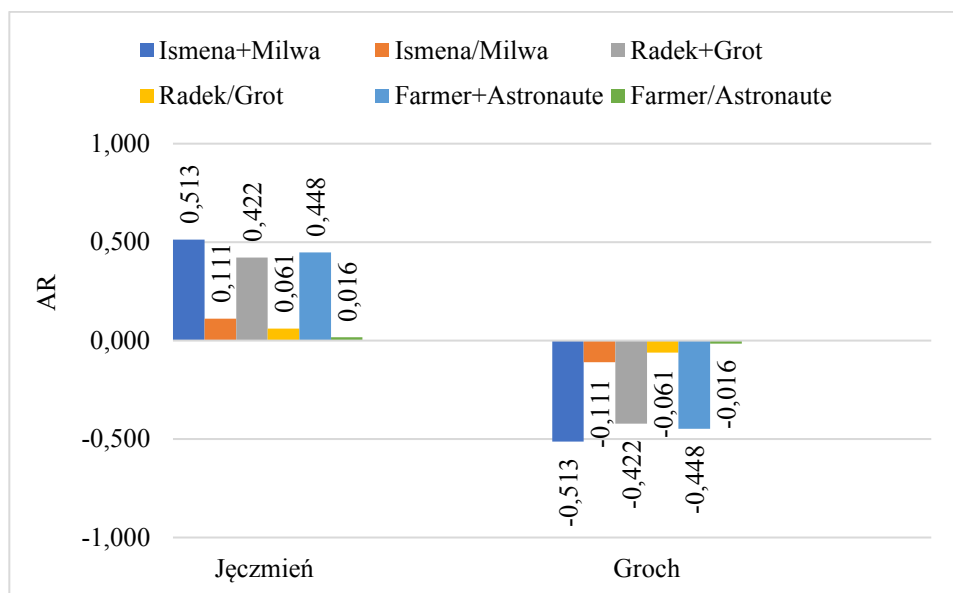
Wartość wskaźnika agresywności każdej z trzech odmian jęczmienia jarego względem plonu ziarna i jego białka w każdym roku badań była dodatnia w mieszankach współrzędnych. Dodatnia była również wartość wskaźnika AR we wszystkich mieszankach na przemian rzędowych w 2023 roku, odmian ‘Ismena’ w 2024 roku oraz ‘Ismena’ i ‘Farmer’ w 2025 roku (tab. 55). Spośród zasiewów grochu dodatni wskaźnik agresywności w odniesieniu do plonu nasion i plonu białka nasion miała tylko odmiana ‘Grot’ w na przemian rzędowej mieszance z jęczmieniem ‘Radek’ w 2024 i 2025 roku oraz odmiana ‘Astronaute’ występująca w na przemiennych rzędach z jęczmieniem ‘Farmer’ w 2024 roku.

Tabela 55. Wskaźnik agresywności (AR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu ziarna, nasion i białka w latach badań

Mieszanka	Rok					
	2023		2024		2025	
	Komponent					
	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Plon ziarna/nasion						
Ismena+Milwa	0,416	-0,416	0,368	-0,368	0,647	-0,647
Ismena/Milwa	0,043	-0,043	0,115	-0,115	0,158	-0,158
Radek+Grot	0,620	-0,620	0,021	-0,021	0,560	-0,560
Radek/Grot	0,424	-0,424	-0,177	0,177	-0,042	0,042
Farmer+Astronaute	0,405	-0,405	0,313	-0,313	0,507	-0,507
Farmer/Astronaute	0,036	-0,036	-0,077	0,077	0,022	-0,022
Plon białka						
Ismena+Milwa	0,430	-0,430	0,403	-0,403	0,694	-0,694
Ismena/Milwa	0,023	-0,023	0,137	-0,137	0,163	-0,163
Radek+Grot	0,637	-0,637	0,083	-0,083	0,588	-0,588
Radek/Grot	0,417	-0,417	-0,149	0,149	-0,025	0,025
Farmer+Astronaute	0,423	-0,423	0,345	-0,345	0,560	-0,560
Farmer/Astronaute	0,045	-0,045	-0,048	0,048	0,050	-0,050



Rys. 52. Wskaźnik agresywności (AR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu ziarna/nasion, średnio w okresie badań



Rys. 53. Wskaźnik agresywności (AR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu białka ziarna/nasion, średnio w okresie badań

Wskaźnik agresywności wszystkich odmian jęczmienia jarego jako komponentu mieszanek współrzędnych był średnio w latach badań dodatni i wyniósł od 0,386 (odmiana ‘Radek’) do 0,481 (odmiana ‘Ismena’) – dla plonu ziarna (rys. 52) oraz odpowiednio dla powyższych odmian od 0,422 do 0,513 – dla plonu białka (rys. 53). W mieszankach tych wskaźnik AR odmian grochu był natomiast ujemny, o największej bezwzględnej wartości u odmiany ‘Milwa’.

Dodatnią wartość miał również wskaźnik agresywności jęczmienia w mieszankach na przemian rzędowych, choć znacznie mniejszą niż w mieszankach współrzędnych. Jego wielkość nie przekroczyła wartości 0,110 (odmiana ‘Ismena’) – dla plonu ziarna i 0,111 – dla plonu białka. Natomiast wskaźnik AR odmiany jęczmienia ‘Farmer’ w mieszance na przemian rzędowej był nawet ujemny, choć bliski 0,00 – plon ziarna.

Ujemną wartość wskaźnika agresywności AR posiadały wszystkie odmiany grochu siewnego. Bezwzględna jego wartość była większa w mieszankach współrzędnych, największa u odmiany ‘Milwa’, a mniejsza w mieszankach na przemian rzędowych.

5.2.6. Korzyść pieniężna – MAI

Korzyść pieniężna uprawy mieszanek jęczmienia jarego z grochem siewnym wyliczona według algorytmu rachunku wskaźnika (MAI) wyniosła średnio w okresie badań od 169 zł ha⁻¹ – współrzędna mieszanka jęczmienia ‘Radek’ z odmianą grochu ‘Grot’ do 863 zł ha⁻¹ – mieszanka na przemian rzędowa Farmer/Astronaute (tab. 56).

Tabela 56. Wskaźnik korzyści pieniężnej (MAI) plonu ziarna/nasion mieszanek

Mieszanka	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena+Milwa	360*	599	-158	250
Ismena/Milwa	889	920	545	770
Radek+Grot	217	623	-284	169
Radek/Grot	767	742	658	710
Farmer+Astronaute	289	764	157	385
Farmer/Astronaute	776	1135	709	863

* – wartość zaokrąglona do pełnych złotych

Wartość wskaźnika MAI zależała nie tylko od rodzaju mieszanki, większa dla na przemian rzędowego siewu rośliny zbożowej i bobowatej, ale również od roku badań. W 2025 roku uprawa odmian jęczmienia ‘Ismena’ z grochem ‘Milwa’ oraz ‘Radek’ z rośliną strączkową ‘Grot’ w mieszance współrzędnej była nawet mniej korzystna niż siewy czyste komponentów – ujemna wartość wskaźnika MAI. Natomiast największą wartość, ponad 1100 zł ha⁻¹, wskaźnik ten osiągnął dla mieszanki na przemian rzędowej Farmer/Astronaute w 2024 roku.

5.2.7. Wskaźniki mieszanek na przemian rzędowych vs współrzędnych

5.2.7.1. Faza BBCH 51-61

Wskaźnik walidowanego plonu względnego (PW) zielonej i suchej masy oraz białka suchej masy jęczmienia jarego w fazie BBCH 51-61 w większości mieszanek na przemian rzędowych z grochem siewnym miał wartość mniejszą od jedności, dlatego wskaźnik względnej straty (SW) jest ujemny. Tylko wartość wskaźnika PW odmian ‘Ismena’ i ‘Radek’ w 2025 roku była większa od 1,0, a względnej straty dodatnia. Ujemna wartość wskaźnika SW oznacza zwiększenie plonu w efekcie ewentualnej zamiany mieszanki na przemian rzędowej na współrzędną. Odwrotnie, dodatni SW wskazuje na większe plony w mieszance na przemian rzędowej wbrew określeniu - strata (tab. 57). Średnio w latach 2023-2025 wskaźnik PW plonu zielonej masy jęczmienia w mieszankach na przemian rzędowych, w zależności od odmiany, wyniósł od 0,939 – ‘Ismena’ do 0,975 – ‘Radek’. Wartość analogicznych wskaźników walidowanego plonu względnego suchej masy i białka suchej masy jęczmienia to odpowiednio: 0,950 i 0,983 oraz 0,971 i 1,002. Zatem średnio w latach badań dodatni wskaźnik względnej straty wystąpił tylko w odniesieniu do plonu białka odmiany ‘Radek’.

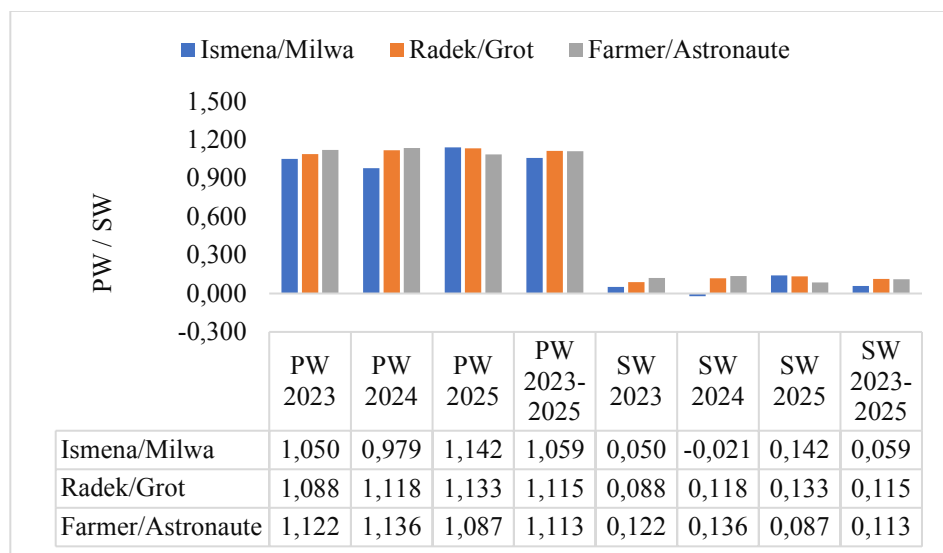
Wskaźnik walidowanego plonu względnego zarówno zielonej oraz suchej masy, jak i białka każdej odmiany grochu siewnego w mieszankach na przemian rzędowych z jęczmieniem jarym w poszczególnych latach i całym okresie badań był większy od 1,0, a wskaźnik SW dodatni (tab. 57). Średnio w latach 2023-2025 największą wartość wskaźnika PW w fazie BBCH 51-61 osiągnęła odmiana ‘Astronaute’. Wyniosła ona 1,311 – plon zielonej masy, 1,324 – plon suchej masy i 1,341 – plon białka. Natomiast najmniejszy wskaźnik PW miała odmiana ‘Milwa’. Było to odpowiednio do plonów zielonej i suchej masy oraz białka: 1,205; 1,224; i 1,257. Odmiana ‘Astronaute’ odznaczała się na ogół również największą wartością wskaźnika względnej straty w kolejnych latach badań. Wynosiła ona, z wyjątkiem plonu zielonej masy w 2023 roku, ponad 0,30.

Tabela 57. Wskaźniki walidowanego plonu względnego (PW) i względnej straty (SW) plonów zielonej i suchej masy oraz białka komponentów mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 51-61

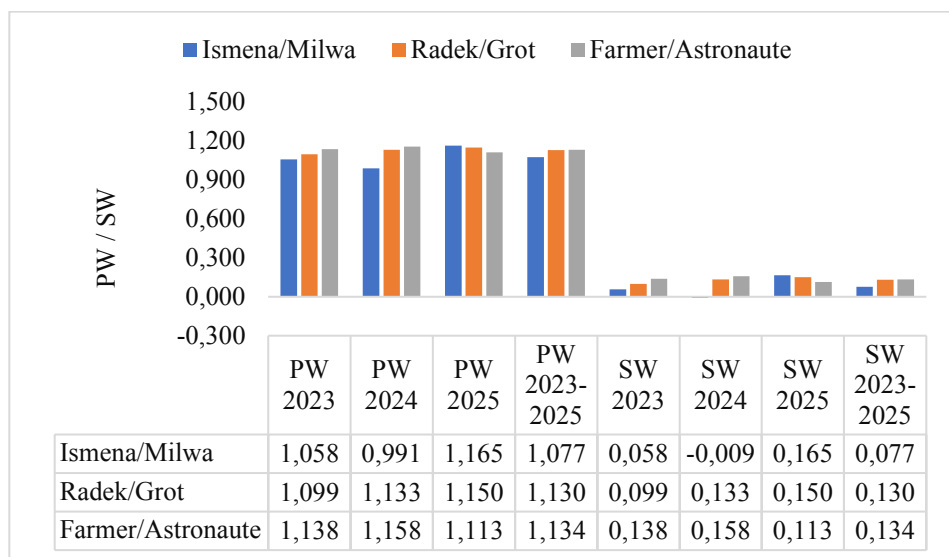
Mieszanka	Rok	Plon względny (PW)		Strata względna (SW)	
		Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Plon zielonej masy					
Ismena/Milwa	2023	0,936	1,226	-0,064	0,226
	2024	0,860	1,126	-0,140	0,126
	2025	1,027	1,260	0,027	0,260
	2023-2025	0,939	1,205	-0,061	0,205
Radek/Grot	2023	0,928	1,296	-0,072	0,296
	2024	0,992	1,256	-0,008	0,256
	2025	1,003	1,261	0,003	0,261
	2023-2025	0,975	1,269	-0,025	0,269
Farmer/Astronaute	2023	0,986	1,290	-0,014	0,290
	2024	0,983	1,323	-0,017	0,323
	2025	0,875	1,315	-0,125	0,315
	2023-2025	0,943	1,311	-0,057	0,311
Plon suchej masy					
Ismena/Milwa	2023	0,954	1,248	-0,046	0,248
	2024	0,875	1,136	-0,125	0,136
	2025	1,027	1,287	0,027	0,287
	2023-2025	0,950	1,224	-0,050	0,224
Radek/Grot	2023	0,932	1,313	-0,068	0,313
	2024	0,993	1,280	-0,007	0,280
	2025	1,019	1,245	0,019	0,245
	2023-2025	0,983	1,277	-0,017	0,277
Farmer/Astronaute	2023	0,994	1,307	-0,006	0,307
	2024	0,996	1,321	-0,004	0,321
	2025	0,890	1,337	-0,110	0,337
	2023-2025	0,955	1,324	-0,045	0,324
Plon białka suchej masy					
Ismena/Milwa	2023	0,972	1,282	-0,028	0,282
	2024	0,890	1,168	-0,110	0,168
	2025	1,057	1,318	0,057	0,318
	2023-2025	0,971	1,257	-0,029	0,257
Radek/Grot	2023	0,955	1,345	-0,045	0,345
	2024	0,994	1,299	-0,006	0,299
	2025	1,052	1,259	0,052	0,259
	2023-2025	1,002	1,299	0,002	0,299
Farmer/Astronaute	2023	1,027	1,321	0,027	0,321
	2024	1,022	1,335	0,022	0,335
	2025	0,903	1,362	-0,097	0,362
	2023-2025	0,979	1,341	-0,021	0,341

W pierwszych dwóch latach badań walidowany plon względny zielonej masy na przemian rzędowych mieszanek Radek/Grot, a zwłaszcza Farmer/Astronaute w fazie BBCH 51-61 był większy niż mieszanki Ismena/Milwa, natomiast w 2025 roku wskaźnik PW mieszanki Ismena/Milwa przewyższył pozostałe (rys. 54). Średnio w latach 2023-2025 wskaźnik walidowanego plonu względnej zielonej masy wszystkich mieszanek był większy od jedności, a mieszanek Radek/Grot i Farmer/Astronaute od wartości 1,11. Wartość wskaźnika względnej straty wyniosła zatem od 0,059 – Ismena/Milwa do 0,115 – Radek/Grot.

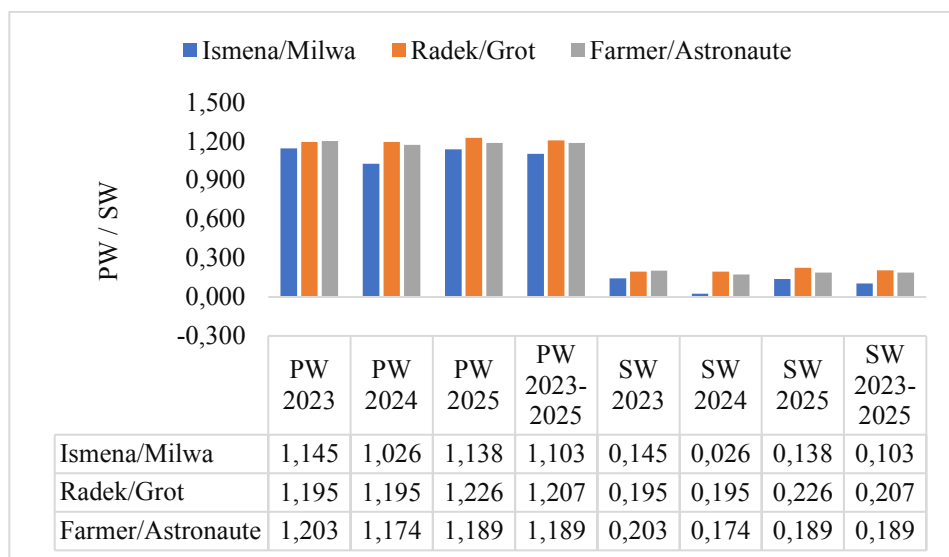
Wartość wskaźników walidowanego plonu względnego (PW) i względnej straty (SW) plonu suchej masy (rys. 55) i białka (rys. 56) mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 51-61 kształtowała się podobnie do wskaźników właściwych dla plonu zielonej masy. Wyjątkiem był 2025 rok, kiedy najmniejszą wartość tego wskaźnika dla plonu białka, podobnie jak we wcześniejszych latach, miała mieszanka Ismena/Milwa. Średnio w latach 2023-2025 największą wartością wskaźników PW i SW dla plonu suchej masy i białka charakteryzowały się odpowiednio mieszanki Farmer/Astronaute oraz Radek/Grot. Wyniosła ona 1,134 i 1,207 – wskaźnik PW oraz 0,134 i 0,207 – wskaźnik SW.



Rys. 54. Wskaźniki walidowanego plonu względnego (PW) i względnej straty (SW) plonu zielonej masy mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 51-61



Rys. 55. Wskaźniki walidowanego plonu względnego (PW) i względnej straty (SW) plonu suchej masy mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 51-61



Rys. 56. Wskaźniki walidowanego plonu względnego (PW) i względnej straty (SW) plonu białka suchej masy mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 51-61

W każdym z trzech lat badań wartość wskaźnika względnego oddziaływania (WO) odmian jęczmienia jarego na plony zielonej i suchej masy oraz białka w fazie BBCH 51-61 we wszystkich mieszankach była mniejsza od jedności, a wskaźnika siły i kierunku oddziaływania (SK) ujemna. Natomiast wskaźniki te dla odmian grochu przyjęły odpowiednio wartość większą niż 1,0 i dodatnią (tab. 58).

Wskaźnik WO odnoszący się do plonu zielonej masy przyjął największą wartość bezwzględną u odmiany jęczmienia 'Ismena', a najmniejszą u odmiany grochu 'Milwa' w 2025 roku, odpowiednio 0,815 i 1,227. Dla tych komponentów mieszanki najmniejsza była również wartość bezwzględna wskaźnika SK – |0,233|. Mieszanka oraz wskaźniki analogiczne do powyższych, a odnoszące się do plonu suchej masy i plonu białka, to: mieszanka Radek/Grot w 2025 i wskaźniki 0,819; 1,221; |0,225| – plon suchej masy oraz 0,835; 1,197; |0,208| – plon białka.

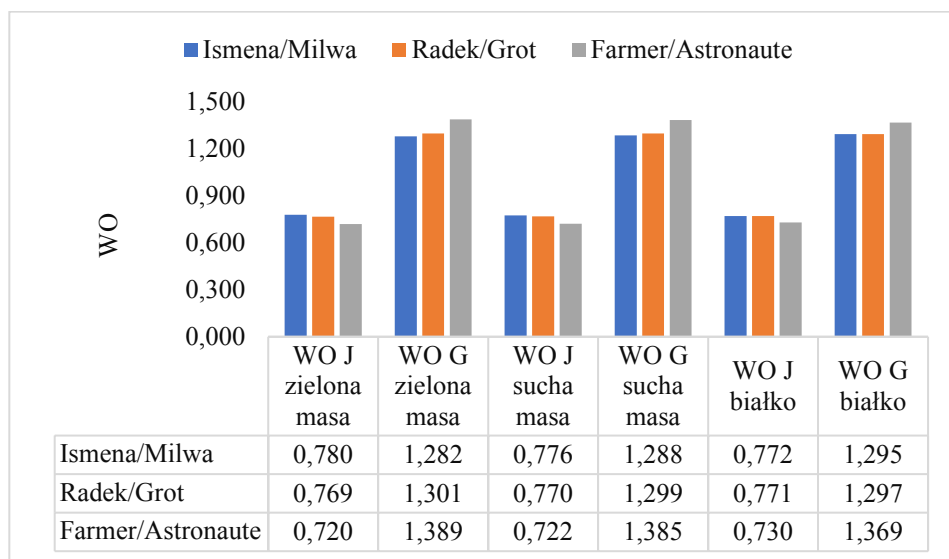
Najmniejsza wartość wskaźnika WO jęczmienia, a największa grochu oraz największa wartość bezwzględna wskaźnika SK miała miejsce u komponentów mieszanki Farmer/Astronaute w 2025 roku. Ich wartość dla plonu zielonej i suchej masy oraz plonu białka to odpowiednio: 0,666, 1,502, |0,440|; 0,666, 1,502, |0,447| i 0,663, 1,509, |0,459|.

Średnio w okresie badań wskaźnik względnego oddziaływania (WO) na plony zielonej i suchej masy oraz białka jęczmienia jarego był najmniejszy u odmiany 'Farmer', nie przekraczając wartości 0,730, a większy u odmian 'Ismena' i 'Radek' – maksymalnie 0,780 (rys. 57). Analogicznie, największa wartość wskaźnika WO grochu siewnego jako komponentu mieszanek na przemian rzędowych wystąpiła u odmiany 'Astronaute' – maksymalnie 1,389 dla plonu zielonej masy w fazie BBCH 51-61, 1,385 dla plonu suchej masy i 1,369 – białko.

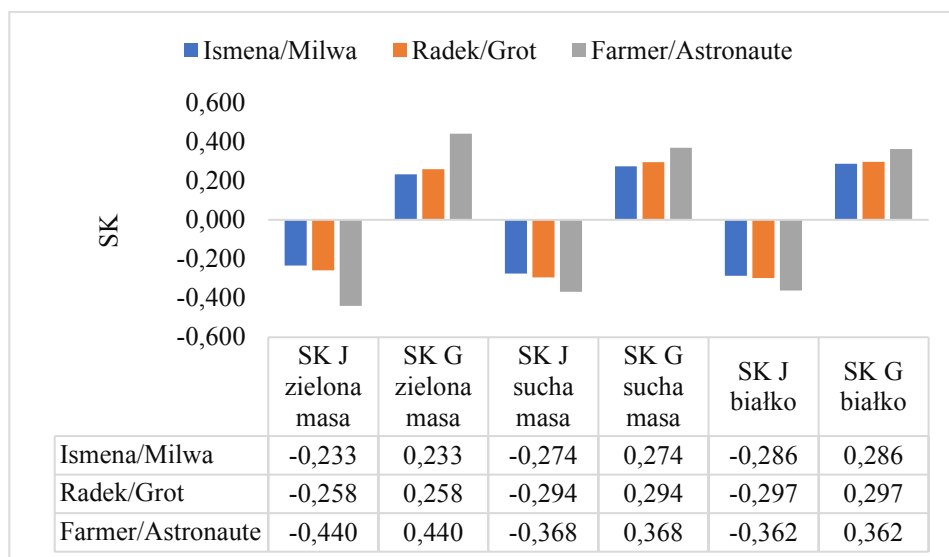
Wskaźnik siły i kierunku oddziaływania (SK) jęczmienia jarego średnio w latach 2023-2025 zarówno na plonu zielonej i suchej masy, jak i plonu białka suchej masy w fazie BBCH 51-61 był ujemny i o największej bezwzględnej wartości dla odmiany 'Farmer' w mieszance z grochem siewnym 'Astronaute' (rys. 58). Maksymalna jego wartość bezwzględna wyniosła |0,440| – plon zielonej masy. Analogiczne wskaźniki SK grochu siewnego miały tę samą wartość bezwzględną, ale były dodatnie. Największa wartość wskaźnika SK grochu wynosząca 0,440 dotyczyła plonu zielonej masy odmiany 'Astronaute'.

Tabela 58. Wskaźniki względnego oddziaływania (WO) oraz jego siły i kierunku (SK) na plony zielonej i suchej masy oraz białka komponentów mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 51-61 w latach badań

Mieszanka	Rok	Oddziaływanie względne (WO)		Siła i kierunek (SK)	
		Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Plon zielonej masy					
Ismena/Milwa	2023	0,763	1,310	-0,290	0,290
	2024	0,764	1,308	-0,265	0,265
	2025	0,815	1,227	-0,233	0,233
Radek/Grot	2023	0,716	1,396	-0,367	0,367
	2024	0,790	1,267	-0,264	0,264
	2025	0,795	1,258	-0,258	0,258
Farmer/Astronaute	2023	0,764	1,308	-0,304	0,304
	2024	0,743	1,345	-0,340	0,340
	2025	0,666	1,502	-0,440	0,440
Plon suchej masy					
Ismena/Milwa	2023	0,765	1,308	-0,294	0,294
	2024	0,770	1,299	-0,262	0,262
	2025	0,798	1,253	-0,260	0,260
Radek/Grot	2023	0,710	1,408	-0,381	0,381
	2024	0,775	1,290	-0,288	0,288
	2025	0,819	1,221	-0,225	0,225
Farmer/Astronaute	2023	0,760	1,315	-0,313	0,313
	2024	0,754	1,327	-0,326	0,326
	2025	0,666	1,502	-0,447	0,447
Plon białka suchej masy					
Ismena/Milwa	2023	0,758	1,320	-0,311	0,311
	2024	0,762	1,312	-0,278	0,278
	2025	0,802	1,248	-0,262	0,262
Radek/Grot	2023	0,710	1,408	-0,390	0,390
	2024	0,765	1,307	-0,305	0,305
	2025	0,835	1,197	-0,208	0,208
Farmer/Astronaute	2023	0,777	1,287	-0,294	0,294
	2024	0,766	1,306	-0,313	0,313
	2025	0,663	1,509	-0,459	0,459



Rys. 57. Wskaźnik względnego oddziaływania (WO) na plony zielonej i suchej masy oraz białka komponentów (J – jęczmień, G – groch) mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 51-61, średnio w okresie badań



Rys. 58. Wskaźnik siły i kierunku oddziaływania (SK) na plony zielonej i suchej masy oraz białka komponentów (J – jęczmień, G – groch) mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 51-61, średnio w okresie badań

5.2.7.2. Faza BBCH 89

Walidowany plon względny oraz względna strata suchej masy i białka poszczególnych odmian jęczmienia jarego w mieszkach na przemian rzędowych w fazie BBCH 89 były zmienne w okresie badań. W latach 2023 i 2025 wskaźnik PW dla plonu suchej masy odmian 'Ismena' i 'Radek' oraz odmiany 'Farmer' w 2025 roku przyjął wartość większą od jedności, a wskaźnik SW od 0,0. Natomiast wskaźnik PW dla plonu białka odmian 'Ismena' i 'Farmer' był większy od jedności tylko w jednym – 2025 roku, a odmiany 'Radek' w dwóch latach (2023, 2025), w których jednocześnie wskaźnik SW był > od 0,0 (tab. 59). Średnio w latach 2023-2025 największa wartość tych wskaźników zarówno dla plonu suchej masy, jak i białka wystąpiła u odmiany 'Radek'.

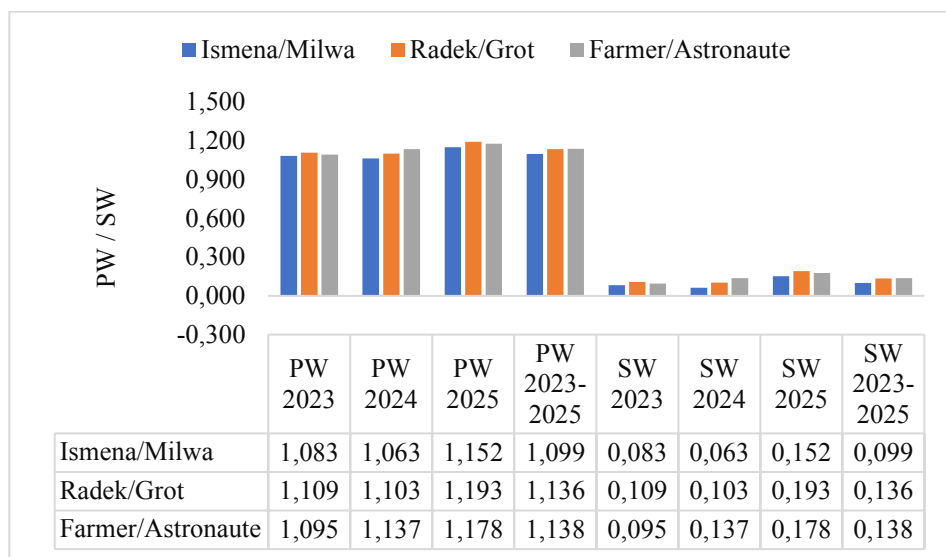
Wskaźnik PW wszystkich odmian grochu w każdym roku przekroczył wartość 1,0, a wskaźnik SW był dodatni zarówno w odniesieniu do plonu suchej masy, jak i białka. Wskaźnik PW odmiany 'Milwa' w roku 2025, a odmian 'Grot' i 'Astronaute' w 2024 roku był bliski wartości 1,50, natomiast wskaźnik SW wartości 0,50 – plon suchej masy lub tę wartość przekroczył – plon białka. Średnio w latach badań największą wartość wskaźnika względnego plonu suchej masy i białka osiągnęła odmiana 'Astronaute', było to odpowiednio 1,426 i 1,453. Wartość wskaźnika SW tej odmiany wyniosła więc 0,426 i 0,453.

Wartość wszystkich wskaźników walidowanego plonu względnego i względnej straty plonu zarówno suchej masy, jak i białka mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 89 była dodatnia, choć zróżnicowana dla odmian roślin i lat badań. Średnio w latach 2023-2025, podobnie jak w 2024 roku, wskaźnik PW plonu suchej masy mieszanek Radek/Grot, a zwłaszcza Farmer/Astronaute, wynoszący blisko 1,14 był większy od wartości tego wskaźnika dla mieszanki Ismena/Milwa (rys. 59). Analogiczna była, choć wynosząca około 0,14, wartość wskaźnika SW tych mieszanek w latach 2024 i średnio 2023-2025.

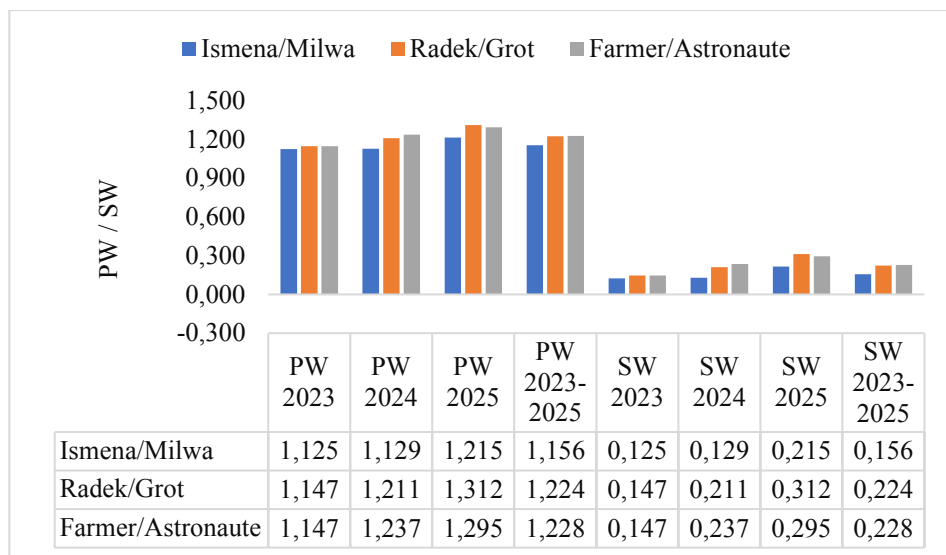
Wartość wskaźników PW i SW plonu białka mieszanek (rys. 60) była podobna, choć na ogół większa o około 0,04-0,12, od wielkości tych wskaźników dla plonu suchej masy. Średnio w latach badań wskaźnik PW plonu białka mieszanki Farmer/Astronaute wyniósł 1,228, a SW 0,228 i wartości te przewyższały wskaźniki dla mieszanki Ismena/Milwa o 0,072.

Tabela 59. Wskaźniki walidowanego plonu względnego (PW) i względnej straty (SW) plonów komponentów mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 89

Mieszanka	Rok	Plon względny (PW)		Strata względna (SW)	
		Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Plon suchej masy					
Ismena/Milwa	2023	1,010	1,268	0,010	0,268
	2024	0,959	1,299	-0,041	0,299
	2025	1,015	1,491	0,015	0,491
	2023-2025	0,994	1,353	-0,006	0,353
Radek/Grot	2023	1,050	1,238	0,050	0,238
	2024	0,906	1,490	-0,094	0,490
	2025	1,061	1,448	0,061	0,448
	2023-2025	1,005	1,402	0,005	0,402
Farmer/Astronaute	2023	0,968	1,358	-0,032	0,358
	2024	0,963	1,495	-0,037	0,495
	2025	1,055	1,420	0,055	0,420
	2023-2025	0,996	1,426	-0,004	0,426
Plon białka w suchej masie					
Ismena/Milwa	2023	0,981	1,280	-0,019	0,280
	2024	0,968	1,317	-0,032	0,317
	2025	1,031	1,515	0,031	0,515
	2023-2025	0,993	1,370	-0,007	0,370
Radek/Grot	2023	1,092	1,254	0,092	0,254
	2024	0,934	1,520	-0,066	0,520
	2025	1,100	1,471	0,100	0,471
	2023-2025	1,041	1,425	0,041	0,425
Farmer/Astronaute	2023	0,992	1,372	-0,008	0,372
	2024	0,968	1,537	-0,032	0,537
	2025	1,090	1,444	0,090	0,444
	2023-2025	1,017	1,453	0,017	0,453



Rys. 59. Wskaźniki walidowanego plonu względnego (PW) i względnej straty (SW) plonu suchej masy mieszanek na przemian rządowych w fazie BBCH 89



Rys. 60. Wskaźniki walidowanego plonu względnego (PW) i względnej straty (SW) plonu białka w suchej masie mieszanek na przemian rządowych w fazie BBCH 89

Wskaźnik względnego oddziaływania (WO) wszystkich odmian jęczmienia jarego na plony suchej masy i białka w fazie BBCH 89 w każdym roku badań był mniejszy niż 1,0, natomiast wskaźnik siły i kierunku oddziaływania (SK) przyjął wartość ujemną. Z kolei wartość tych wskaźników dla wszystkich odmian grochu siewnego w każdym roku była odpowiednio: większa od 1,0 i dodatnia (tab. 60).

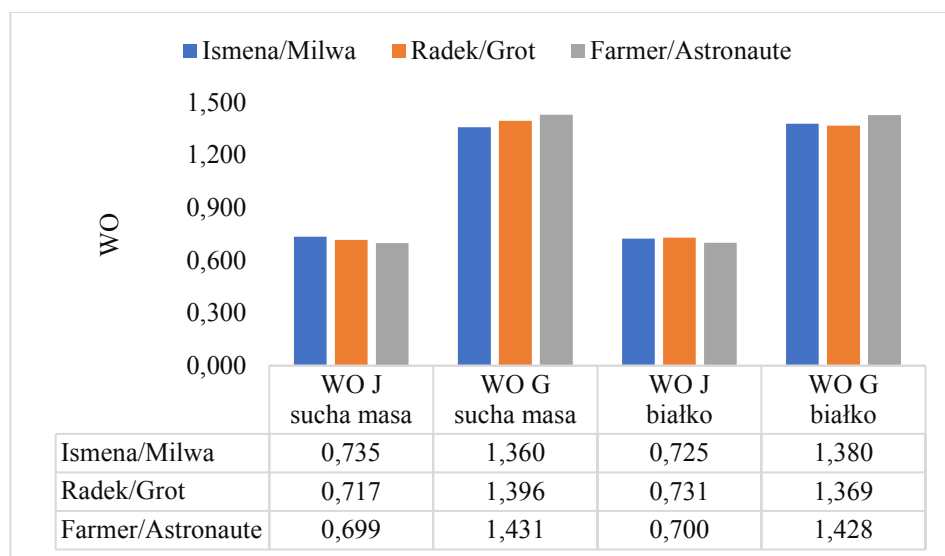
Odmiany jęczmienia jarego ‘Ismena’ i ‘Radek’ największą wartość wskaźnika WO i najmniejszą bezwzględną wartość wskaźnika SK dla plonu suchej masy i białka miały w 2023 roku, natomiast odmiana ‘Farmer’ w 2025 roku (tab. 60). Największa wartość tych wskaźników dla grochu siewnego ‘Milwa’ miała miejsce w 2025, a u odmian ‘Grot’ i ‘Astronaute’ w 2024 roku. Maksymalna wartość wskaźnika WO jęczmienia wyniosła 0,871 – plon białka odmiany ‘Radek’ w 2023 roku, a grochu 1,645 – plon suchej masy odmiany ‘Grot’ w 2024 roku. Z kolei największe bezwzględne wartości wskaźnika SK wystąpiły u komponentów mieszanki Radek/Grot w 2024 roku: |0,584| – plon suchej masy i |0,586| – plon białka.

Tabela 60. Wskaźniki względnego oddziaływania (WO) oraz jego siły i kierunku (SK) na plony suchej masy oraz białka komponentów mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 89 w latach badań

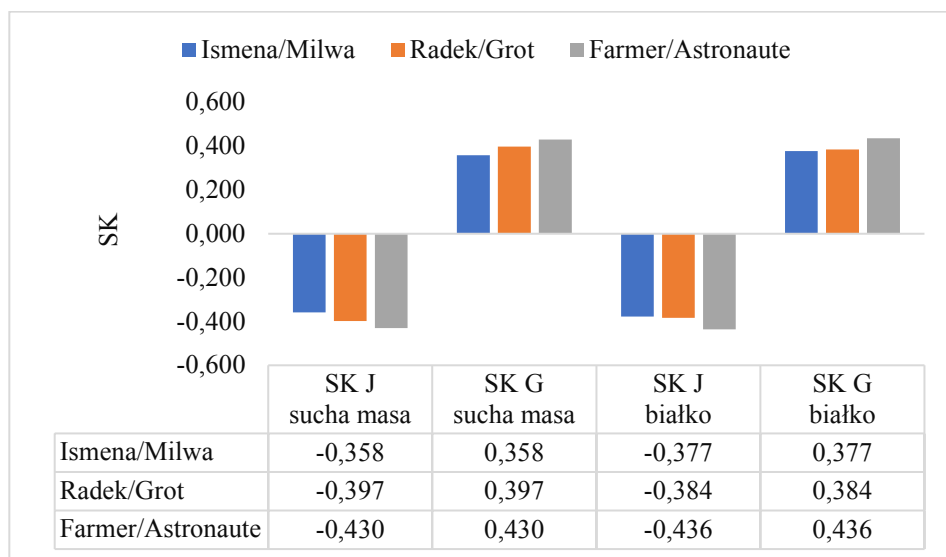
Mieszanka	Rok	Oddziaływanie względne (WO)		Siła i kierunek (SK)	
		Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Plon suchej masy					
Ismena/Milwa	2023	0,796	1,256	-0,258	0,258
	2024	0,738	1,355	-0,341	0,341
	2025	0,681	1,469	-0,476	0,476
Radek/Grot	2023	0,848	1,179	-0,188	0,188
	2024	0,608	1,645	-0,584	0,584
	2025	0,733	1,365	-0,387	0,387
Farmer/Astronaute	2023	0,713	1,403	-0,390	0,390
	2024	0,644	1,552	-0,532	0,532
	2025	0,743	1,346	-0,365	0,365
Plon białka suchej masy					
Ismena/Milwa	2023	0,767	1,304	-0,298	0,298
	2024	0,735	1,360	-0,349	0,349
	2025	0,680	1,470	-0,485	0,485
Radek/Grot	2023	0,871	1,149	-0,162	0,162
	2024	0,615	1,627	-0,586	0,586
	2025	0,748	1,337	-0,371	0,371
Farmer/Astronaute	2023	0,723	1,384	-0,381	0,381
	2024	0,629	1,589	-0,570	0,570
	2025	0,755	1,325	-0,354	0,354

Średnio w okresie badań największa wartość wskaźnika względnego oddziaływania (WO) grochu na plon suchej masy w fazie BBCH 89 wyniosła odpowiednio od 1,360 – odmiana ‘Milwa’ do 1,431 – ‘Astronaute’, a na plon białka od 1,369 – ‘Grot’ do 1,428 – ‘Astronaute’ (rys. 61). Odmiana jęczmienia jarego ‘Farmer’ współwystępująca w mieszankach z odmianą grochu ‘Astronaute’ charakteryzowała się najmniejszym wskaźnikiem WO. Natomiast największą wartość tego wskaźnika posiadały odmiany jęczmienia jarego ‘Ismena’ – 0,735 dla plonu suchej masy i ‘Radek’ – 0,731 dla plonu białka.

Siła i kierunek oddziaływania (SK) na plony suchej masy oraz białka odmian jęczmienia i grochu w mieszankach na przemian rządowych w fazie BBCH 89 była zbliżona (rys. 62). Średnio w latach 2023-2025 wartość bezwzględna wskaźnika SK wyniosła dla plonu suchej masy od |0,358| – mieszanka Ismena/Milwa do |0,430| – Farmer/Astronaute, a dla plonu białka od |0,377| – Ismena/Milwa do |0,436| – mieszanka Farmer/Astronaute.



Rys. 61. Wskaźnik względnego oddziaływania (WO) na plony suchej masy oraz białka komponentów (J – jęczmień, G – groch) mieszanek na przemian rządowych w fazie BBCH 89, średnio w okresie badań



Rys. 62. Wskaźnik siły i kierunku oddziaływania (SK) na plony suchej masy oraz białka komponentów (J – jęczmień, G – groch) mieszanek na przemian rządowych w fazie BBCH 89, średnio w okresie badań

5.2.7.3. Plon ziarna/nasion, białka

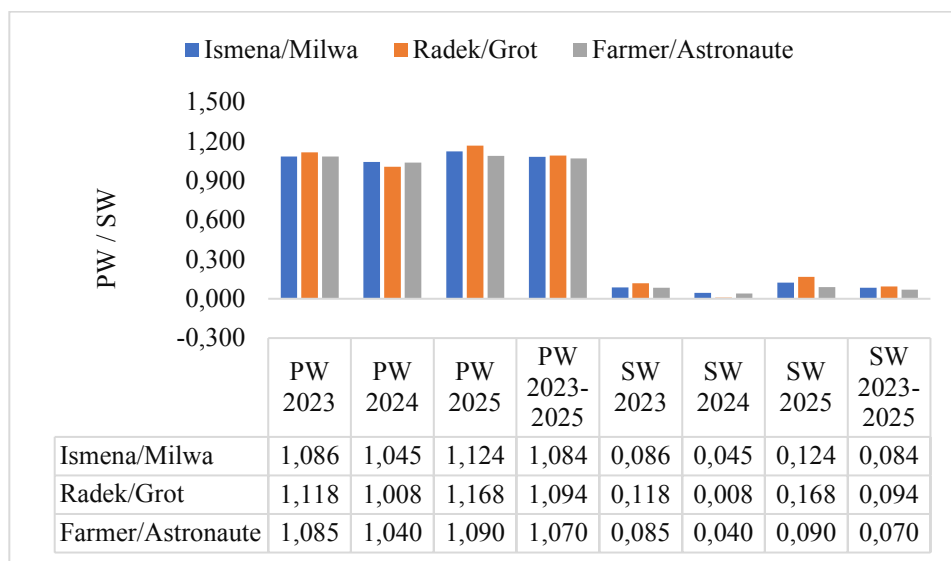
Wskaźnik walidowanego plonu względnego ziarna i białka poszczególnych odmian jęczmienia jarego w danym roku oraz w poszczególnych latach badań był na podobnym poziomie. Jego wartość zbliżała się do jedności ($\geq 0,902$), a nawet ją nieznacznie przekroczyła (1,035 i 1,022) – odmiana ‘Radek’ w mieszance z grochem ‘Grot’ w 2023 roku. Dlatego wskaźnik SW był bliski 0,0 i na ogół ujemny (tab. 61). Większe było natomiast zróżnicowanie wartości wskaźnika PW odmian grochu siewnego. Dla plonu nasion mieścił się on w granicach od 1,112 – odmiana ‘Grot’, 2024 rok do 1,813 – ‘Grot’ w 2025 roku, a wskaźnik SW przyjął wartość dodatnią. Natomiast analogiczne skrajne wartości wskaźnika PW dla plonu białka grochu tej odmiany wyniosły 1,135 i 1,836.

Wartość wskaźnika PW plonu ziarna/nasion mieszanek na przemian rządowych wyniosła od 1,008 – Radek/Grot w 2024 roku do 1,168 – Radek/Grot w 2025 roku, a średnio w badanym okresie od 1,070 – Farmer/Astronaute do 1,094 – Radek/Grot (rys. 63). Odpowiadający im wskaźnik SW w latach 2023-2025 przyjął wartość odpowiednio 0,070 i 0,094.

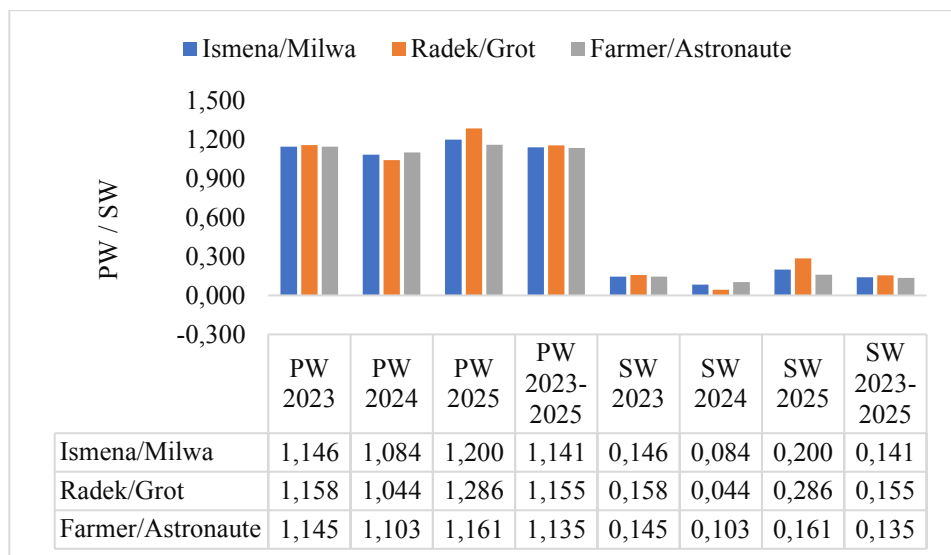
Wskaźniki PW i SW dla plonu białka poszczególnych mieszanek były na podobnym poziomie, co wskaźniki plonu ziarna/nasion (rys. 64). Ich wartości na ogół nie różniły się więcej jak o około 0,06-0,07, zwłaszcza średnio w latach badań.

Tabela 61. Wskaźniki walidowanego plonu względnego (PW) i względnej straty (SW) plonów ziarna/nasion i białka komponentów mieszanek na przemian rzędowych

Mieszanka	Rok	Plon względny (PW)		Strata względna (SW)	
		Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Plon ziarna/nasion					
Ismena/Milwa	2023	0,976	1,381	-0,024	0,381
	2024	0,966	1,215	-0,034	0,215
	2025	0,955	1,680	-0,045	0,680
	2023-2025	0,965	1,395	-0,035	0,395
Radek/Grot	2023	1,035	1,327	0,035	0,327
	2024	0,937	1,112	-0,063	0,112
	2025	0,941	1,813	-0,059	0,813
	2023-2025	0,969	1,356	-0,031	0,356
Farmer/Astronaute	2023	0,958	1,360	-0,042	0,360
	2024	0,919	1,276	-0,081	0,276
	2025	0,917	1,482	-0,083	0,482
	2023-2025	0,930	1,369	-0,070	0,369
Plon białka ziarna/nasion					
Ismena/Milwa	2023	0,962	1,402	-0,038	0,402
	2024	0,957	1,219	-0,043	0,219
	2025	0,934	1,706	-0,066	0,706
	2023-2025	0,950	1,411	-0,050	0,411
Radek/Grot	2023	1,022	1,341	0,022	0,341
	2024	0,928	1,135	-0,072	0,135
	2025	0,940	1,836	-0,060	0,836
	2023-2025	0,962	1,377	-0,038	0,377
Farmer/Astronaute	2023	0,959	1,375	-0,041	0,375
	2024	0,920	1,287	-0,080	0,287
	2025	0,902	1,493	-0,098	0,493
	2023-2025	0,925	1,380	-0,075	0,380



Rys. 63. Wskaźniki walidowanego plonu względnego (PW) i względnej straty (SW) plonu ziarna/nasion mieszanek na przemian rzędowych



Rys. 64. Wskaźniki walidowanego plonu względnego (PW) i względnej straty (SW) plonu białka ziarna/nasion mieszanek na przemian rzędowych

Wskaźnik względnego oddziaływania (WO) jęczmienia był w większym stopniu zróżnicowany w latach niż między odmianami (tab. 62). Maksymalne zróżnicowanie jego wartości wyniosło dla plonu ziarna od 0,519 u odmiany ‘Radek’ w 2025 roku do 0,843 u tej samej odmiany w 2024 roku, natomiast dla plonu białka było to od 0,512 do 0,817. Wartość wskaźnika WO dla plonu nasion i białka grochu siewnego była natomiast nawet kilkukrotnie większa niż u jęczmienia jarego i wyniosła odpowiednio od 1,186 i 1,223 u odmiany ‘Grot’ w 2024 roku do 1,926 i 1,953 – ‘Grot’ w 2025 roku.

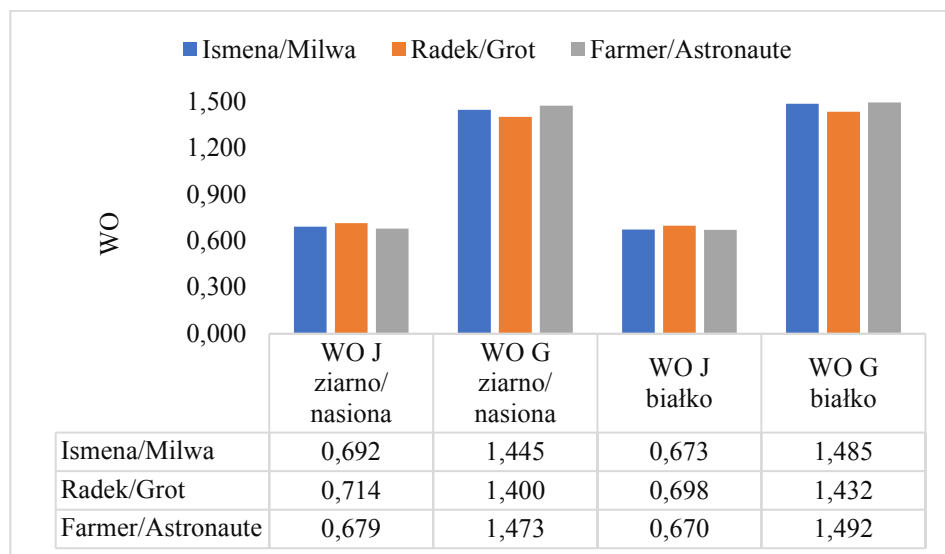
Wskaźnik siły i kierunku oddziaływania dla wszystkich odmian jęczmienia jarego i w każdym roku badań był ujemny, a grochu siewnego dodatni (tab. 62). Jego największa bezwzględna wartość u jęczmienia, tj. odpowiednio dla plonu ziarna i białka [0,872] oraz [0,896] była w tych mieszankach, których wskaźnik WO był najmniejszy. Natomiast u grochu odwrotnie, przy tej samej bezwzględnej wartości wskaźnika SK był on największy dla mieszanek również o największym wskaźniku WO.

Tabela 62. Wskaźniki względnego oddziaływania (WO) oraz jego siły i kierunku (SK) na plony ziarna/nasion oraz białka komponentów mieszanek na przemian rzędowych

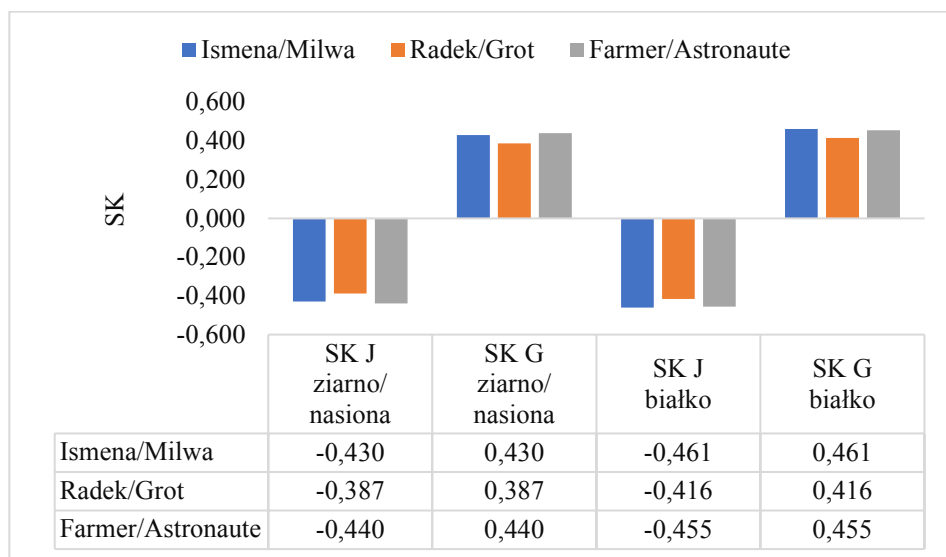
Mieszanka	Rok	Oddziaływanie względne (WO)		Siła i kierunek (SK)	
		Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Plon ziarna/nasion					
Ismena/Milwa	2023	0,706	1,416	-0,406	0,406
	2024	0,795	1,258	-0,249	0,249
	2025	0,569	1,759	-0,725	0,725
Radek/Grot	2023	0,780	1,281	-0,291	0,291
	2024	0,843	1,186	-0,175	0,175
	2025	0,519	1,926	-0,872	0,872
Farmer/ Astronaute	2023	0,704	1,420	-0,402	0,402
	2024	0,720	1,389	-0,357	0,357
	2025	0,619	1,616	-0,565	0,565
Plon białka ziarna/nasion					
Ismena/Milwa	2023	0,686	1,457	-0,440	0,440
	2024	0,785	1,274	-0,262	0,262
	2025	0,547	1,827	-0,772	0,772
Radek/Grot	2023	0,762	1,312	-0,319	0,319
	2024	0,817	1,223	-0,207	0,207
	2025	0,512	1,953	-0,896	0,896
Farmer/ Astronaute	2023	0,697	1,434	-0,416	0,416
	2024	0,715	1,398	-0,367	0,367
	2025	0,605	1,654	-0,590	0,590

Średnio w okresie badań największą wartość wskaźnika względnego oddziaływania (WO) zarówno na plon ziarna, jak i białka jęczmienia jako komponentu mieszanek miała odmiana ‘Radek’, odpowiednio 0,714 i 0,698, choć różnica w stosunku do innych odmian nie przekroczyła 0,035 (rys. 65). Z kolei u grochu siewnego analogiczna różnica w stosunku do maksymalnej wartości wskaźnika WO u odmiany ‘Astronaute’ (1,473 i 1,492) nie była większa niż 0,073.

Wskaźnik siły i kierunku oddziaływania (SK) na plony ziarna i białka jęczmienia jarego w mieszanekach na przemian rzędowych średnio w okresie badań miał wartość ujemną, a bezwzględnie największą u odmiany ‘Farmer’ w mieszance z grochem siewnym ‘Astronaute’ – plon ziarna i ‘Ismena’ z grochem ‘Milwa’ – plon białka (rys. 66). Bezwzględna wartość tego wskaźnika wyniosła $|0,440|$ dla plonu ziarna/nasion i $|0,461|$ dla plonu białka. Wobec ujemnej wartości wskaźnika SK odmian jęczmienia jarego, to dla każdej odmiany grochu przyjął on wartość dodatnią i był największy dla odmiany ‘Astronaute’ – plon nasion i ‘Milwa’ – plon białka.



Rys. 65. Wskaźnik względnego oddziaływania (WO) na plony ziarna/nasion oraz białka komponentów (J – jęczmień, G – groch) mieszanek na przemian rzędowych, średnio w okresie badań



Rys. 66. Wskaźnik siły i kierunku oddziaływania (SK) na plony ziarna/nasion oraz białka komponentów (J – jęczmień, G – groch) mieszanek na przemian rzędowych, średnio w okresie badań

Rzeczywista różnica wartości (RRW)

Dodatni wskaźnik RRW wskazuje na większą wartość plonu ziarna/nasion mieszanek na przemian rzędowych niż współrzędnych. Różnica ta była podobna dla wspólnego wysiewu odmian jęczmienia jarego ‘Ismena’ i ‘Farmer’ z grochem siewnym ‘Milwa’ oraz ‘Astronaute’ i wyniosła średnio w latach 2023-2025 odpowiednio 462 zł ha⁻¹, 463 zł ha⁻¹, a większa dla mieszanki Radek/Grot – 528 zł ha⁻¹ (tab. 63). Maksymalne zróżnicowanie wartości wskaźnika RRW w latach badań polowych zawierało się między 118 zł ha⁻¹ dla mieszanki Radek/Grot w 2024 roku do 831 zł ha⁻¹ dla tej samej mieszanki, ale w 2025 roku.

Tabela 63. Rzeczywista różnica wartości (RRW) plonu ziarna/nasion mieszanek, PLN

Mieszanka	Rok			
	2023	2024	2025	2023-2025
Ismena/Milwa	464*	303	585	462
Radek/Grot	564	118	831	528
Farmer/Astronaute	482	354	518	463

* – wartość zaokrąglona do pełnych złotych

6. DYSKUSJA

Wyniki przeprowadzonych badań mogą stać się istotnym źródłem dotychczas ograniczonej wiedzy dotyczącej agrotechniki mieszanek roślin zbożowych i bobowatych z wykorzystaniem bezpłużnej, zredukowanej uprawy roli [Khlofah, 2025; McAuley i in., 2025], a zwłaszcza ich uprawy w technologii strip-till [Arlauskienė i in., 2021]. Technologii, która umożliwia indywidualny dobór niektórych elementów i parametrów agrotechniki, jak np. gęstość i głębokość siewu czy nawożenie poszczególnych komponentów mieszanki [Jaskulska i in., 2022].

Głębokość umieszczenia materiału siewnego w glebie jest bowiem jednym z podstawowych parametrów siewu, który decyduje o szybkości i równomierności wschodów, a w konsekwencji o obsadzie roślin. Na parametr ten należy zwracać szczególną uwagę, gdy wysiewane są nasiona o różnej wielkości, tak jak to miało miejsce w badaniach własnych, oraz w zależności od warunków siedliskowych, głównie właściwości łoża siewnego [Masilamani i in., 2023]. Na złożoność zależności precyzji umieszczenia nasion w glebie, a następnie wschodów i wzrostu roślin, od głębokości siewu i generowanych przez nią właściwości łoża siewnego zwracają uwagę Romanekas i in. [2022]. Autorzy podkreślają nie tylko związek między warunkami siedliskowymi a głębokością siewu, ale wskazują również, że głębokość i równomierność rozmieszczenia nasion w glebie zależy od sposobu i metody siewu, a także techniki rolniczej, w tym parametrów pracy maszyn i ich elementów roboczych. Jest to szczególnie ważne w kontekście przeprowadzonych badań, w których rośliny uprawiano w technologii strip-till one-pass przy użyciu innowacyjnej maszyny MZURI PRO-TIL.

Głębokość siewu ziarna jęczmienia jarego i nasion grochu siewnego stwierdzona w warunkach polowych (doświadczenia polowe) nie odbiegała znacząco od założonej w metodyce badań. Zgodnie z Metodyką Integrowanej Produkcji ... [<https://www.gov.pl/web/piorin/metodyki-ip>] optymalna głębokość siewu ziarna jęczmienia jarego to 3-4 cm, a grochu siewnego średnio 6 cm. Głębokość taką trudno jest zachować w mieszankach tych dwóch gatunków roślin, gdyż optimum komponentów znacząco się różni. Dlatego w tradycyjnych mieszankach współrzędnych jęczmień wysiewano o około 1 cm głębiej, a groch o około 2 cm płycej niż w siewach czystych, jednogatunkowych. Mieszanki na przemian rzędowe, z możliwością indywidualizacji parametrów siewu w każdym rzędzie przez maszynę MZURI PRO-TIL, pozwoliły zachować podobną jak w siewach czystych głębokość siewu zarówno jęczmienia, jak i grochu.

Umieszczanie ziarna i nasion na większej głębokości sprzyjało równomierności głębokości siewu. Świadczy o tym mniejsza wartość dodatkowo wyliczonego współczynnika zmienności tej cechy. Współczynnik zmienności jest miarą względną (%), lepiej przez to niż odchylenie standardowe oddaje zmienność-równomierność siewu, zwłaszcza gdy jest on wykonywany na różną głębokość, tak jak miało to miejsce w badaniach własnych w odniesieniu do mieszanek współrzędnych i na przemian rzędowych. Przy współrzędnym siewie jęczmienia

z grochem współczynnik zmienności głębokości umieszczenia ziaren w glebie był, w zależności od roku, nawet o blisko 8,0 punktów procentowych mniejszy niż przy płytszym siewie na przemian rzędowym. Jego maksymalna wartość wynosząca 21,2% jest o 14 p.p. mniejsza od zanotowanej przez Markowskiego i in. [2013] w badaniach równomierności głębokości siewu pszenicy z jednoczesną uprawą roli. Wynik taki świadczy o przydatności maszyny MZURI PRO-TIL do siewu pasowego w glebie wcześniej nie uprawianej. Z kolei współczynnik zmienności głębokości siewu nasion grochu był na ogół mniejszy w mieszankach na przemian rzędowych (większa o 2 cm głębokość umieszczania nasion w glebie) niż współrzędnych, a maksymalna różnica jego wartości wyniosła około 4,7 p.p.

Polowa zdolność wschodów i obsada roślin jęczmienia jarego w obu rodzajach mieszanki nie różniły się istotnie. Wynikało to prawdopodobnie z niewielkiej bezwzględnej różnicy głębokości siewu, która wynosiła 1 cm. W mieszankach współrzędnych umieszczanie ziarna na głębokości 4 cm nie zmniejszyło, nie pogorszyło wschodów, gdyż jak wskazują wyniki innych badań ze zbożami [Sulek i Ogórkiewicz, 2020], w tym jęczmieniem [Håkansson i in., 2011] możliwe jest umieszczenie ich ziarna w glebie nawet na głębokości 5 cm, bez negatywnego wpływu na wschody. Warunkiem jest materiał siewny bardzo dobrej jakości oraz optymalne właściwości gleby i łoża siewnego, co w badaniach własnych spełniono. Ponadto większa głębokość siewu ziarna jęczmienia w mieszankach współrzędnych niż na przemian rzędowych sprzyjała jej równomierności. Natomiast groch wymaga większej głębokości siewu. Jego optimum dla wschodów i plonowania wynosi nawet 7-10 cm [Özköse, 2017; Thiyaam i in., 2017]. Dlatego groch w mieszankach na przemian rzędowych, w których nasiona były wysiewane głębiej i bardziej równomiernie niż w mieszankach współrzędnych miał w nich na ogół istotnie większą wartość polowej zdolności wschodów i większą obsadę roślin po wschodach.

Plon zielonej masy jęczmienia jarego uprawianego w siewie czystym, zmienny w latach, zależał od odmiany, ale tylko w fazie kłoszenia. W fazie BBCH 51-61 stwierdzono istotnie mniejszy plon odmiany 'Ismena' od odmiany 'Farmer', a zwłaszcza 'Radek'. Podobna była zależność plonu suchej masy od genotypu w tej fazie, bowiem w fazie dojrzałości pełnej nie wystąpiły istotne różnice, a mniejszy plon odmiany 'Ismena' w stosunku do pozostałych był tylko tendencją. Tendencją był również mniejszy plon ziarna jęczmienia tej odmiany od odmian 'Farmer' i 'Radek'. Tak jak plon biomasy i plon ziarna, także nieznaczająco, z wyjątkiem fazy BBCH 51-61, różnił się plon białka odmian rośliny zbożowej występujących w badaniach. Nie ujawnił się zatem, bądź ujawnił się w małym stopniu i to tylko we wcześniejszym okresie rozwoju, zróżnicowany potencjał plonowania odmian jęczmienia jarego występujących w Krajowym rejestrze i w doświadczeniach PDO w województwie kujawsko-pomorskim [<https://chrzastowo.coboru.gov.pl/>]. W badaniach własnych, jak wykazano w tabeli 1., występowały jednak odmiany o relatywnie małym, około 2%, zróżnicowaniu plonu ziarna, choć tendencja różnicy między odmianowej była wyraźna. Należy podkreślić, że głównym kryterium wyboru odmian do badań własnych

nie było zróżnicowanie plonów poszczególnych genotypów, a raczej ich cech morfologicznych z jednej strony i podobieństwo fenotypowo-rozwojowe z odmianami rośliny bobowatej do uprawy w mieszankach z drugiej.

Żaden z plonów, tj. zielonej i suchej masy oraz ziarna i białka jęczmienia jarego jako komponentu mieszanek z grochem siewnym nie zależał od odmiany oraz sposobu rozmieszczenia roślin w łanie względem rośliny strączkowej, czyli rodzaju mieszanki. Występujące różnice średnio w okresie badań nie przekroczyły kilku procent. Jednak w poszczególnych latach były one na ogół większe i istotne, a nieraz związane z rodzajem mieszanki. Wskazuje to na różną reakcję odmian na warunki siedliskowe w kolejnych sezonach wegetacyjnych.

Przyczyn małego, często nieistotnego zróżnicowania plonów biomasy nadziemnej, w tym ziarna, a także białka odmian jęczmienia jarego należy upatrywać m.in. w dużej plastyczności tego gatunku i zjawisku samoregulacji łanu. Jak wskazują wyniki badań, np. Gozdowskiego i in. [2012] odmiany jęczmienia jarego mają duży potencjał krzewienia. W architekturze ich łanu występują rośliny o jednym, a nawet sześciu czy większej liczbie pędów. Zmienne są również, w zależności od odmiany i agrotechniczno-siedliskowych warunków uprawy, cechy budowy roślin i elementy plonowania jak: długość źdźbła, długość kłosa, liczba ziaren w kłosie. Także Ziemińska i Tkaczuk [2017] wykazali w doświadczeniu polowym, że 5 z 7 odmian jęczmienia jarego nie zareagowało istotną zmianą plonu na zróżnicowanie na ogół silnie determinującego czynnika agrotechnicznego jakim jest termin siewu.

Plastyczność odmian jęczmienia w siewach mieszanych, którą podkreślają Dahlin i in. [2020], potwierdzają wyniki badań własnych. Odmiany na ogół podobnie reagowały lub nie reagowały na sposób rozmieszczenia roślin w łanie, czyli rodzaj mieszanki. Średnio w okresie badań nie stwierdzono bowiem istotnych różnic plonów odmian 'Ismena', 'Radek' i 'Farmer' uprawianych w mieszankach współrzędnych i na przemian rzędowych. Natomiast w poszczególnych latach wielokrotnie ich plony w mieszankach współrzędnych były istotnie większe niż w mieszankach na przemian rzędowych.

Reakcja odmian grochu siewnego w zależności od sposobu rozmieszczenia roślin w łanie w efekcie siewu czystego, wspólnego wysiewu z ziarnem jęczmienia w pasach uprawianej gleby bądź oddzielnego umieszczania nasion w rzędach, ale na przemiennie położonych z rzędami rośliny zbożowej, była odmienna od reakcji odmian jęczmienia jarego. W siewie czystym, jednogatunkowym plon biomasy nadziemnej zarówno zielonej, jak i suchej oraz nasion i ich białka grochu odmiany 'Milwa' był istotnie mniejszy od plonu dwóch pozostałych odmian, tzn. 'Grot' i 'Astronaute'. Zależność ta, właściwa dla średnich plonów w latach 2023-2025, była zazwyczaj taka sama również w poszczególnych latach badań, choć różnice nie zawsze istotne statystycznie. Nieco inaczej kształtował się plon białka w nadziemnej biomase roślin, zwłaszcza w fazie BBCH 51-61. Właśnie w tej fazie sucha masa odmiany 'Milwa' zawierała najwięcej białka, przez co jego plon był średnio w latach badań na tym samym poziomie jak odmiany 'Astronaute'. Groch jest rośliną uprawną reprezentowaną w praktyce rolniczej

przez wiele odmian o dużym zróżnicowaniu fenotypowym i genetycznym. Różnice plonu zielonej i suchej masy, plonu nasion oraz białka zawartego w różnych jego organach wynikają ze zróżnicowania jego cech, np. długości pędu, liczby rozgałęzień, typu ulistnienia, elementów plonu generatywnego, różnego tempa wzrostu czy możliwości wykorzystania czynników siedliskowych i agrotechnicznych [Zbiorowa, 2022].

Odmiana i sposób rozmieszczenia roślin w łanie wpłynęły istotnie także na plony grochu siewnego jako komponentu mieszanek z jęczmieniem jarym. W zależności od roku badań największe plony masy vegetatywnej, nasion i białka uzyskano z uprawy odmian ‘Grot’ lub ‘Astronaute’, a gorzej (najczęściej istotnie) plonującą była odmiana ‘Milwa’. Natomiast niezależnie od odmiany grochu siewnego i współwystępującej odmiany jęczmienia jarego plon rośliny strączkowej był na ogół istotnie większy w mieszance na przemian rzędowej niż współrzędnej. Średnio w okresie badań zależność ta była istotna z wyjątkiem plonu suchej masy odmiany ‘Milwa’ z jęczmieniem ‘Ismena’ w fazie BBCH 51-61. Istotne zróżnicowanie plonów grochu siewnego, w tym nasion, w zależności od odmiany jest zgodne z tym pokazanym w metodyce badań własnych przy ich wyborze do doświadczeń polowych (tab. 2) oraz z wynikami badań innych autorów, polskich i zagranicznych [Szpunar-Krok i in., 2012; Priyanka i Lal, 2021]. Na przykład Prusiński i Borowska [2023] wykazali duże zróżnicowanie plonu nasion zagranicznych i polskich odmian grochu, także zimujących. W ich kilkuletnich doświadczeniach prowadzonych w zróżnicowanych warunkach siedliskowych i agrotechnicznych plon nasion w zależności od odmiany i lat badań wahał się od 0,87 t ha⁻¹ do 4,56 t ha⁻¹.

Produkcyjność odmian zbóż i roślin strączkowych, w tym grochu, decyduje nie tylko o ich plonach w czystych siewach jednogatunkowych, ale również o produkcyjności mieszanek [De Silva i in., 2025]. Ocena plonów mieszanek odmian jęczmienia jarego z odmianami grochu siewnego w badaniach własnych obejmowała zieloną i suchą masę, ziarno/nasiona oraz białko w biomacie vegetatywnej i plonie generatywnym. Plon zielonej masy, m.in w fazie BBCH 51-61, jest ważną cechą przydatności biomasy jako paszy objętościowej w żywieniu zwierząt gospodarskich [Manoj i in., 2021]. Wyniki przeprowadzonych badań w ramach niniejszej pracy wykazały, że plon zielonej masy mieszanek jęczmienia z grochem w fazie BBCH 51-61 był istotnie większy od czystych siewów jednogatunkowych obu ich komponentów i tylko plon najlepszej odmiany grochu – ‘Grot’ dorównał plonowi najgorszej mieszanki – współrzędny siew jęczmienia ‘Ismena’ z grochem ‘Milwa’, z wyjątkiem 2024 roku. Z kolei w odniesieniu do suchej masy, to plon jęczmienia jarego ‘Radek’ w tej fazie rozwojowej, z racji większej o około 2,0 punkty procentowe koncentracji suchej masy w biomacie roślin zbożowych niż bobowatych, był podobny do plonu mieszanki Ismena+Milwa. Natomiast przed zbiorem, w fazie BBCH 89 plony suchej masy mieszanek, pomijając dokładną miarę statystycznej istotności, były na ogół na poziomie plonów odmian jęczmienia jarego i znacznie, tj. o około 3-5 t ha⁻¹, większe od plonów odmian grochu w czystym siewie. Plony suchej masy jęczmienia

jarego i grochu siewnego oraz ich mieszanek zarówno w fazie BBCH 51-61, jak i dojrzałości pełnej stwierdzone w dyskutowanych badaniach są zbliżone do przedstawionych przez Bacchi i in. [2021] dla faz według Zadoksa 50-60 i 79-87. Cytowani autorzy przedstawili wielkość plonów suchej masy jęczmienia, grochu i mieszanki tych roślin odpowiednio jako: 7,65 t ha⁻¹; 5,44 t ha⁻¹ i 8,28 t ha⁻¹ – w pierwszej fazie oraz 11,27 t ha⁻¹; 6,86 t ha⁻¹ i 10,39 t ha⁻¹ – w drugiej, późniejszej fazie rozwojowej.

Badania własne wykazały, że plon ziarna/nasion każdej mieszanki na przemian rzędowej jęczmienia jarego z grochem siewnym nie różnił się istotnie od plonu komponentu lepiej plonującego – odpowiedniej odmiany rośliny zbożowej, natomiast plon mieszanek współrzędnych był mniejszy. W przypadku mieszanek Ismena+Milwa i Radek+Grot była to różnica istotna, a mieszanki Farmer+Astronaute silna tendencja. Wyniki powyższe potwierdzają zatem ogólne wnioski płynące z badań nad zasiewami mieszanymi. Wskazują one bowiem, że często, ale nie zawsze, plon mieszanki jest większy od plonu oczekiwanego na podstawie plonów jej komponentów [Li i in., 2020]. W wielu przypadkach plon mieszanki dorównuje, a nawet przewyższa plon składnika najwyżej plonującego w siewie czystym, jednogatunkowym. Dotyczy to zarówno plonów biomasy jak i ziarna/nasion, również mieszanek zbożowo-strączkowych, w warunkach siedliskowo-agrotechnicznych Polski [Buraczyńska i Ceglarek, 2009; Górski i in., 2022]. Wyniki takie mają potwierdzenie w badaniach własnych, ale głównie w odniesieniu do mieszanek na przemian rzędowych.

Plon białka suchej masy mieszanek wszystkich odmian jęczmienia jarego z odmianami grochu siewnego w fazie BBCH 51-61 średnio w okresie badań własnych nie różnił się istotnie lub przewyższał plon odpowiedniej odmiany rośliny bobowatej w siewie czystym, ale tylko gdy mieszanka była uprawiana jako na przemian rzędowa. Natomiast współrzędna uprawa mieszanki, z wyjątkiem odmiany grochu ‘Milwa’ skutkowała istotnie mniejszym plonem białka. Podobnie, w fazie dojrzałości pełnej, BBCH 89 plon białka suchej masy każdej na przemian rzędowej mieszanki odmiany jęczmienia i grochu był na tym samym poziomie, a plon współrzędnej mieszanki Radek+Grot istotnie mniejszy, co plon danej odmiany grochu w siewie jednogatunkowym. Także plon białka ziarna/nasion mieszanek współrzędnych, z wyjątkiem Radek+Grot, nie był istotnie mniejszy od plonu białka rośliny bobowatej w siewie czystym. Natomiast większy plon białka biomasy mieszanek na przemian rzędowych od współrzędnych miał miejsce w uprawie odmian ‘Ismena’ i ‘Milwa’ oraz ‘Farmer’ i ‘Astronaute’, a nie wystąpił przy wspólnym siewie odmian ‘Ismena’ i ‘Milwa’. Wielkość plonów białka była pochodną plonów biomasy, w tym udziału komponentów mieszanek, a także jego zawartości w suchej masie roślin. Analiza wyników wykazała bowiem na ogół większe plony mieszanek na przemian rzędowych od współrzędnych i większy udział w plonach tych mieszanek roślin bobowatych oraz większą zawartość białka w suchej masie grochu siewnego niż jęczmienia jarego.

Występowanie roślin jęczmienia jarego i grochu siewnego w oddzielnych na przemian położonych rzędach, tj. mieszanka na przemian rzędowa, było korzystniejsze dla produktywności łanu niż losowe współwystępowanie obu komponentów w każdym rzędzie – mieszanka współrzędna. Jednak oba składniki mieszanek reagowały odmiennie na ich rodzaj, sposób siewu i rozmieszczenie roślin w łanie. Już Chen i in. [2004] wykazali, że produkcja biomasy jęczmienia była większa o 41%, gdy był on uprawiany w tradycyjnej mieszance współrzędnej w porównaniu z jego siewem w 4. kolejnych rzędach na przemian z 4. rzędami grochu. Natomiast różnica plonu biomasy grochu wynikająca ze sposobu rozmieszczenia rośliny zbożowej i bobowatej w łanie wyniosła 34-46% na korzyść występowania rośliny strączkowej w pasach składających się z 4. kolejnych rzędów na przemienne z pasami jęczmienia. Uprawa na przemian rzędowa jęczmienia z grochem spowodowała zwiększenie produktywności mieszanki mierzonej współczynnikiem ekwiwalentu gruntu o 5-24% w odniesieniu do plonu biomasy i 5-26% plonu białka.

W badaniach własnych różnice plonów były nieco mniejsze, ale układ rzędów jęczmienia i grochu w mieszankach na przemian rzędowych był 1:1, a nie jak w cytowanych wyżej 4:4 lub 2:2. Przemienny układ jednego rzędu rośliny zbożowej i jednego rośliny bobowatej jako najlepszy z dziewięciu porównywanych sposobów siewu mieszanek wskazują Lebreton i in. [2024]. Układ rzędów komponentów mieszanki może mieć istotne znaczenie, gdyż van Oort i in. [2020] wykazali, że korzyści z uprawy roślin w kilku rzędowych pasach zmniejszają się wraz ze zwiększaniem szerokości pasów. W przeprowadzonych badaniach własnych plony zielonej i suchej masy oraz ziarna/nasion i białka były istotnie większe w mieszankach na przemian rzędowych niż współrzędnych. Powyższa zależność plonów od rodzaju mieszanki była właściwa zarówno dla poszczególnych lat doświadczeń polowych, jak i średnio okresu badań, z wyjątkiem nielicznych przypadków dotyczących mieszanki jęczmienia 'Ismena' z grochem 'Milwa' oraz plonu ziarna/nasion wszystkich mieszanek w 2024 roku. Maksymalna względna różnica plonów suchej masy mieszanek na przemian rzędowych w porównaniu z współrzędnymi średnio w okresie badań wyniosła w zależności od odmiany od 7,7% do 13,4% (faza BBCH 51-61), 9,9-13,8% (faza BBCH 89) i plonu ziarna/nasion 7,0-9,5%. Jeszcze większa była względna różnica plonu białka, gdyż dla plonu suchej masy sięgała 22,8%. Wang i in. [2022] zaprezentowali jednak wyniki, które wskazują, że nie zawsze uprawa mieszanek z na przemian rzędowym siewem zbóż i roślin bobowatych gwarantuje większy plon niż uprawa tradycyjnej mieszanki współrzędnej, nawet mimo korzystnego wpływu na jego jakość, np. zawartość białka. Potwierdza to konieczność prowadzenia dalszych prac w tym zakresie z badaniem zarówno parametrów ilościowych, jak i jakościowych.

Analiza wyników badań własnych potwierdziła, że uprawa odmian jęczmienia jarego i grochu siewnego w mieszankach na przemian rzędowych, w porównaniu z współrzędnymi, może nie tylko zwiększyć plony, ale również zawartość

białka w suchej masie nadziemnej (tendencja lub różnica istotna), jak i spowodować istotny wzrost zawartości białka w plonie ziarna/nasion. Korzystny wpływ roślin bobowatych współwystępujących w mieszankach na zawartość białka w ziarnie zbóż przedstawiają wyniki wielu innych badań, a zawarte we współczesnym opracowaniu przeglądowym [Arenas-Salazar i in., 2024]. W kontekście dyskusji wyników niniejszej pracy cennym jest wykazanie przez Mühlbachová i in. [2022], że na zawartość białka w ziarnie korzystniej niż uprawa tradycyjnej mieszanki współrzędnej oddziałuje uprawa zbóż i roślin bobowatych w rzędach na przemian położonych. Z kolei Sobkowicz i in. [2015] uzyskali większą zawartość białka w ziarnie/nasionach mieszanki jęczmienia jarego z grochem siewnym, gdy roślinę zbożową wysiewano nie w wąskiej rozstawie rzędów, a w pasach o rozstawie 10,8/32,4 cm i 10,8/43,2 cm. Plon białka mieszanki nie zależał od sposobu siewu jęczmienia, ale był istotnie kształtowany przez odmianę grochu.

Potencjał plonowania mieszanek jęczmienia jarego z grochem siewnym zależał nie tylko od sposobu siewu, a tym samym wzajemnego względem siebie rozmieszczenia roślin obu gatunków, ale również od odmiany rośliny zbożowej i bobowatej. Trzyletnie doświadczenia polowe wykazały, że niezależnie od rodzaju mieszanki, z pojedynczymi wyjątkami i pomijając to czy różnica plonów była statystycznie istotną, czy tendencją, lepiej plonowały zasiewy jęczmienia jarego 'Radek' i 'Farmer' z grochem siewnym 'Grot' i 'Astronaute' niż mieszanka jęczmienia 'Ismena' z grochem 'Milwa'. Znaczącą rolę odmian w kształtowaniu plonów mieszanek zbożowo-strączkowych i ich jakości podkreśla wielu autorów [Demie i in., 2022; Michalitsis i in., 2024]. Cytowani autorzy wskazują na wagę cech odmian wybieranych do uprawy mieszanej, które oprócz posiadania genetycznego potencjału plonowania umożliwiają jego realizację w warunkach współwystępowania z innymi komponentami ładu. Ważne są np.: zgodność cyklu rozwojowego i elementów agrotechniki, komplementarność genotypów, konkurencyjność.

Dyskutując wyniki przeprowadzonych badań, a dotyczące produktywności mieszanek jęczmienia jarego z grochem siewnym w zależności od rozmieszczenia względem siebie roślin obu gatunków (odmian), należy zwrócić uwagę również na wkład poszczególnych składników w plon biomasy nadziemnej, ziarna/nasion i białka. Konkluzje i wyniki badań zamieszczone w literaturze naukowej wskazują bowiem na dużą zmienność tej cechy upraw mieszanych. Jest ona szczególnie ważna, gdy komponenty mieszanki różnią się znacząco potencjałem produkcyjnym czy właściwościami plonu, np. zawartością białka, jak ma to miejsce w mieszankach zbożowo-strączkowych. Zwracają na to uwagę liczni autorzy badań dotyczących upraw mieszanych. Według Yu i in. [2016] udział komponentów w mieszance można kształtować przez zmianę parametrów elementów agrotechniki np. termin i gęstość siewu czy nawożenie azotem. W badaniach własnych oceniono natomiast wpływ sposobu siewu na udział jęczmienia jarego i grochu siewnego w plonach mieszanek. Stwierdzono, że siew współrzędny obu komponentów w proporcji po 50% sprzyjał większemu udziałowi jęczmienia, a na przemian rzędowy obecności grochu w plonie zielonej i suchej

masy w fazie BBCH 51-61. Natomiast plon suchej masy w fazie dojrzałości pełnej i plon ziarna/nasion stanowił przede wszystkim jęczmień jary, choć jego względny udział był mniejszy, gdy siew był na przemian rzędowy. Ten sposób rozmieszczenia roślin w łanie, tzn. w na przemian położonych rzędach zwiększał udział grochu w plonach biomasy oraz ziarna/nasion i to niezależnie jaką wysiewano odmianę rośliny bobowatej i zbożowej. Siew na przemian rzędowy komponentów mieszanek zwiększył również udział rośliny strączkowej w plonie białka. W biomasie roślin w fazie BBCH 51-61 oraz w ziarnie/nasionach to groch stanowił większą część ich plonu białka. W pierwszym przypadku wynikało to z podobnego plonu zielonej i suchej masy obu komponentów, ale wyraźnie większej zawartości białka w biomasie grochu niż jęczmienia. W drugim przypadku mniejszy plon nasion rośliny strączkowej niż ziarna rośliny zbożowej był rekompensowany dwukrotnie większą zawartością białka w nasionach grochu w porównaniu z ziarnem jęczmienia. Korzystny wpływ siewu rośliny zbożowej (kukurydza) i roślin strączkowych w rozdzielnych rzędach na plon zielonej i suchej masy roślin bobowatych, a tym samym ich udział w plonie ogólnym wykazali wcześniej Iqbal i in. [2012], choć w badaniach tych nie był testowany groch siewny.

Omawiany wyżej zróżnicowany udział komponentów w plonach mieszanek, a w badaniach własnych odnoszący się do jęczmienia jarego i grochu siewnego, jest zapewne w dużym stopniu wynikiem potencjału oddziaływania roślin w łanie oraz jego skutków w określonych warunkach siedliskowych i agrotechnicznych. Warunki siedliskowe zmieniają się w sposób niekontrolowany w kolejnych latach badań, a agrotechniczne w wyniku wprowadzenia kontrolowanego czynnika i jego poziomów. W przeprowadzonych doświadczeniach polowych była to odmiana jęczmienia jarego i grochu siewnego, po trzy odmiany każdego gatunku, a przede wszystkim sposób siewu komponentów mieszanki i w efekcie różne wzajemne rozmieszczenie roślin w łanie, co mogło generować zróżnicowane oddziaływanie między nimi. Takie złożone interakcje między współwystępującymi roślinami w ekosystemach, w tym agroekosystemach i ich rola w kształtowaniu strategii rolnictwa zrównoważonego z udziałem upraw mieszanych są przedmiotem wielu aktualnych badań [Becker i in., 2023; Stirnemann i Sasse, 2025]. Dlatego ważną wydaje się być ocena i analiza oddziaływań identyfikowanych w niniejszych badaniach nad mieszankami jęczmienia jarego z grochem siewnym.

Podstawową miarą efektywności rolniczej uprawy roślin w mieszance jest wskaźnik ekwiwalentu terenowego (gruntu) – LER. Jego wartość większa od jedności daje wiedzę, o ile bezwzględnie można zaoszczędzić powierzchni gruntu uprawiając mieszankę w porównaniu z siewem jednogatunkowym jej składników w celu uzyskania równoważnego plonu. Wartość mniejsza od jedności (lub 100%) wskazuje natomiast na lepsze plonowanie roślin w siewach czystych. Granicą wartości wskaźnika LER dla każdego z dwóch komponentów występujących w mieszance substytucyjnej w proporcji po 50% siewów czystych (badania własne) jest 0,5. Wartość ta pozwala na identyfikację korzystnych i niekorzystnych skutków współoddziaływania roślin. Bezwzględny wymiar wskaźnika lub jego

wyrażenie w procentach umożliwia porównania różnych plonów i o różnej wielkości, a także plonów przy aplikacji różnych czynników doświadczalnych i ich poziomów [Tavoletti i Merletti, 2022], jak miało to miejsce również w badaniach własnych. Podobnie, w oparciu o plon mieszanki w odniesieniu do plonu siewu czystego liczony jest wskaźnik wydajności upraw – CPR. Ponieważ wskaźnik ten uwzględnia proporcję udziału komponentu w mieszance w stosunku do siewu jednogatunkowego, w odróżnieniu od wskaźnika ekwiwalentu gruntu, to przy 50% jego udziale wskaźnik CPR jest dokładnie dwukrotnie większy od wskaźnika LER. Taki układ doświadczenia występował w badaniach własnych, więc ewentualne minimalne różnice wielkości tych wskaźników w odniesieniu do komponentów mieszanek w omówieniu wyników są efektem zaokrągleń stosowanych na różnych etapach obliczeń. Natomiast z algorytmu liczenia wskaźnika CPR dla mieszanki przedstawionego w rozdziale 4.3.2. (łącznie jej komponentów) wynika, że jego wartość większa od jedności wskazuje na większą wydajność mieszanki niż sumy siewów czystych jej komponentów w proporcji występującej w siewie mieszanym. W opracowaniu i interpretacji wyników oddziaływań między komponentami łanów mieszanych, podobnie jak w badaniach własnych, stosuje się często jednocześnie kilka wskaźników, np. LER, CPR, AYL, CR, AR i inne [Gitari i in., 2020; Seyedi i Hamzei 2020].

W niniejszym opracowaniu wartość wskaźnika LER jęczmienia jarego > od 0,5, a wskaźnika CPR > od 1,0 wskazuje, że wszystkie jego plony (zielona masa, sucha masa, ziarno, białko w masie nadziemnej i ziarnie) średnio w okresie badań przewyższały plony tej rośliny w siewie jednogatunkowym. Jednocześnie małe było zróżnicowanie tych wskaźników (wielkość LER około 0,6-0,7) dla odmian, sposobu rozmieszczenia roślin w mieszance – sposób siewu, różnych kategorii plonów i poszczególnych faz rozwojowych rośliny zbożowej. Wynika z tego, że jęczmień jary był bardzo stabilnym komponentem mieszanek. Większe było tylko zróżnicowanie wskaźników LER i CPR rośliny zbożowej w latach badań, zwłaszcza w fazie BBCH 51-61. Wartość LER plonu zielonej masy wahała się wówczas w zależności od odmiany jęczmienia jarego i sposobu siewu mieszanki od 0,570 – Farmer/Astronaute w 2024 roku do 0,813 – Ismena+Milwa w 2023 roku.

Silnie zróżnicowane były natomiast wskaźniki LER i CPR plonów grochu siewnego. Stosując analogiczne jak dla jęczmienia jarego kryterium analizy stwierdzono średnio w latach 2023-2025 jego wartość w zakresie około 0,4-0,7. Duże znaczenie dla wartości LER i CPR grochu miał sposób rozmieszczenia roślin w łanie mieszanki, zwłaszcza w powiązaniu z fazą rozwojową. W fazie BBCH 51-61 wskaźniki LER i CPR plonów grochu (zielona i sucha masa, białko) przewyższały odpowiednio wartość 0,5 i 1,0 w obu rodzajach mieszanek, choć w mieszance współrzędnej minimalnie. W późniejszych fazach rozwojowych LER i CPR plonów suchej masy, nasion i białka grochu siewnego tylko w mieszankach na przemian rzędowych był większy od 0,5 i 1,0. Oznacza to, że w mieszankach współrzędnych plony rośliny bobowatej były mniejsze niż w siewach czystych i jej uprawa w mieszance wymagałaby większej powierzchni dla

uzyskania takiego samego plonu jak w uprawie jednogatunkowej. Jest to zgodne z ogólną opinią, że rośliny bobowate, w tym groch, na ogół gorzej plonują w mieszankach ze zbożami niż w siewach jednogatunkowych i tylko nieliczne badania wskazują na większą wartość wskaźnika LER grochu niż zbóż, również jęczmienia [Michalitsis i in., 2025]. W badaniach tych groch występował jednak w stosunku do jęczmienia w proporcji 0,75:0,25.

W łanach mieszanek ujawniły się korzystne skutki zjawisk substytucji i kompensacji ich komponentów. Mimo wielu przypadków wskaźników LER i CPR o wartości mniejszej odpowiednio od 0,5 i 1,0 odnoszących się do plonów komponentów, to wskaźniki mieszanek były na ogół większe od jedności. Tylko w 2025 roku wartość tych wskaźników dla plonu białka mieszanki Ismena+Milwa w fazie BBCH 89 oraz plonu ziarna/nasion i białka mieszanek Ismena+Milwa i Radek+Grot była mniejsza od 1,0.

Korzyść wynikająca z uprawy jęczmienia jarego i grochu siewnego w mieszance, a nie w siewie czystym, mająca odzwierciedlenie w uzyskanych plonach suchej masy w fazie BBCH 51-61 stanowiącym cenną paszę dla zwierząt zależała, oprócz lat badań, również od sposobu rozmieszczenia roślin w łanie i odmiany obu komponentów. Z wartości wskaźnika CPR średnio w latach 2023-2025 wynika, że zwiększenie plonów suchej masy wyniosło od 17,0% – mieszanka współrzędna Radek+Grot do 38,5% – mieszanka na przemian rzędowa Imena/Milwa. Natomiast plon ziarna/nasion zwiększył się odpowiednio dla powyższych mieszanek o 7,6% i 21,9%. Jednocześnie uprawa poszczególnych odmian jęczmienia i grochu w mieszankach, a nie w siewach jednogatunkowych, pozwoliłaby na zmniejszenie powierzchni pola dla uzyskania określonego plonu ziarna/nasion (wskaźnik LER) co najmniej o 4,1% – mieszanka Radek+Grot, a nawet 21,3% – mieszanka Farmer/Astronaute, co koresponduje z wynikami niektórych prac innych autorów. Na przykład Chapagain i Riseman [2014] uzyskali wskaźnik LER dla plonu ziarna/nasion współrzędnej mieszanki jęczmienia z grochem równy 1,12, a mieszanek na przemian rzędowych, w zależności od proporcji liczby rzędów rośliny zbożowej i bobowatej, na poziomie 1,15-1,32. W badaniach własnych większa o kilka do ponad 20 p.p. wydajność upraw i ekwiwalent gruntu mieszanek z na przemian rzędowym rozmieszczeniem komponentów w porównaniu z ich siewem we wspólnych rzędach znalazł odzwierciedlenie również w wartości wskaźnika walidowanego plonu względnego (PW) opartego na stosunku plonu mieszanki na przemian rzędowej do współrzędnej. Wskazuje on, że plony biomasy i ziarna/nasion mieszanek na przemian rzędowych były średnio w okresie badań większe niż plony mieszanek współrzędnych od 5,9% – zielona masa mieszanki Ismena/Milwa w fazie BBCH 51-61 do 13,8% – plon suchej masy mieszanki Farmer/Astronaute w fazie BBCH 89. Natomiast zwiększenie plonów białka suchej masy mieszanek powyższych odmian jęczmienia i grochu wyniosło odpowiednio od 10,3% do 22,8%. Różnice te są satysfakcjonujące, gdyż nie w każdych warunkach siedliskowych i agrotechnicznych na przemian rzędowy siew komponentów mieszanki prowadzi do zwiększenia wskaźników produktywności, na co wskazują wyniki wcześniejszych badań, np.

Musa i in. [2010]. Autorzy w badaniach mieszanek jęczmienia z grochem uwzględniając oprócz upraw jednogatunkowych również mieszanek współrzędną, na przemian rzędową i siew krzyżowy wykazali większe plony i lepsze wykorzystanie gruntu przez wspólny wysiew rośliny zbożowej i strączkowej niż w efekcie siewów czystych ($LER > 1,0$). Jednak wskaźnik ten dla plonu suchej masy w uprawie na przemian rzędowej ($LER = 1,16$) był mniejszy niż przy siewie współrzędnym ($LER = 1,26$). Według prowadzących badań przyczyną były prawdopodobnie różne rodzaje oddziaływania między komponentami mieszanek, w których to jęczmień więcej niż groch zyskiwał na współwystępowaniu w łanie z rośliną strączkową. Dlatego, podobnie jak w przypadku innych gatunków, także w odniesieniu do zbóż i grochu należy jednocześnie analizować różne wskaźniki oddziaływania między komponentami mieszanek [Lithourgidis i in., 2011].

Rośliny bobowate grubonasienne, jak wynika z większości dotychczas przeprowadzonych badań, są słabszym i mniej agresywnym konkurentem od zbóż w łanach mieszanych i większa jest rzeczywista strata ich plonu – AYL [Dordas i in., 2012; Fernandez i in., 2025]. Odnosi się to również do grochu i jęczmienia [Di Miceli i in., 2023]. Cytowani autorzy wskazują jednak, że oddziaływanie konkurencyjne (CR) i wskaźnik agresywności (AR) gatunków zależą od rozmieszczenia roślin w łanie. Choć wskaźniki te były większe dla jęczmienia niż grochu, to siew na przemian rzędowy zmniejszył ich wartość poprzez przestrzenne rozdzielanie rośliny zbożowej i bobowatej, co zwiększyło efektywność wykorzystania czynników siedliskowych. Wnioski te znajdują w większości potwierdzenie w wynikach badań własnych, choć elementem modyfikującym są w nich także odmiany jęczmienia jarego i grochu siewnego oraz analiza dynamiki zmian wskaźników konkurencji. Stwierdzono, że agresywność i silne oddziaływanie konkurencyjne jęczmienia jarego narastały od fazy BBCH 51-61 do wytworzenia plonu ziarna, co jednocześnie zwiększało wartość wskaźnika rzeczywistej straty plonu (AYL) grochu siewnego. Wielkość reakcji współwystępujących komponentów i tym samym wartość wskaźników CR, AR i AYL zależała jednak od odmiany. Najmniej agresywną odmianą jęczmienia była ‘Radek’ – faza BBCH 51-61 oraz w odniesieniu do plonu ziarna, a także ‘Farmer’ – faza BBCH 89. Są to co prawda odmiany o dłuższej słomie (wyższe) od odmiany ‘Ismena’, ale w mieszance występowały również z wyższymi odmianami grochu siewnego niż odmiana ‘Milwa’. Efekty oddziaływania konkurencyjnego trzeba zatem rozpatrywać jednocześnie w odniesieniu do osobników obu komponentów mieszanki.

Rozdzielenie roślin poszczególnych gatunków do na przemian położonych rzędów osłabiło, a nawet wyeliminowało wzajemne oddziaływania. Wskaźnik agresywności jęczmienia jarego w mieszance na przemian rzędowej był bardzo mały, $AR < 0,1$, a w fazie BBCH 51-61 wskazywał nawet na nieznaczne stymulowanie plonu biomasy grochu siewnego przez jęczmień jary. Natomiast w mieszkach współrzędnych jego wartość była znacznie większa i mieściła się w granicach 0,2-0,5. Efektem słabszej konkurencyjności i mniejszej agresywności rośliny zbożowej w mieszkach na przemian rzędowych była mniejsza strata

plonów (większa wartość AYL) grochu. Powyższe konkluzje potwierdziła bezpośrednia analiza porównawcza plonów obu rodzajów mieszanek przy użyciu autorskich wskaźników (PW, SW, WO, SK).

Na przykład dodatnia wartość wskaźnika SW plonów grochu wskazuje, że ewentualne zastąpienie mieszanki na przemian rzędowej tradycyjną mieszanką współrzedną skutkowałoby średnio w latach badań, w zależności od odmiany, zmniejszeniem plonu jego zielonej masy w fazie BBCH 51-61 o 20,5-31,1%%, a plonu nasion o 35,6-39,5%. Redukcja plonów łącznych mieszanki wyniosłaby odpowiednio 5,9-11,5% i 7,0-9,4%. Było to wynikiem pozytywnego oddziaływania grochu na plony w mieszkach na przemian rzędowych (SK – dodatnie) i względnie większego jego przyrostu ($WO > 1,0$) niż spadku plonu jęczmienia ($WO < 1,0$). Wyliczenie wskaźników WO i SK w oparciu o porównanie plonów obu rodzajów mieszanek w odróżnieniu do porównania plonów grochu i jęczmienia w mieszkach i siewach czystych pokazało odmienne oddziaływanie roślin tych gatunków na siebie. W odniesieniu do siewów jednogatunkowych to jęczmień jary był gatunkiem bardziej agresywnym i dominującym w mieszkach. Natomiast w mieszkach na przemian rzędowych w porównaniu z mieszkami współrzednymi gatunkiem silniej konkurującym stał się groch siewny. Wynika to prawdopodobnie, jak wskazują Cannon i in. [2020] w przeglądzie wyników badań do swojego opracowania, ze słabszej konkurencji wewnątrzgatunkowej grochu niż międzygatunkowej z jęczmieniem. Ponadto w rzędach, gdzie osobno wzrastał groch mógł on mieć lepsze warunki świetlne i lepiej z nich korzystać w efekcie dobrze ukształtowanego ulistnienia.

Większe plony mieszanek w stosunku do siewów czystych komponentów, a także mieszanek na przemian rzędowych w porównaniu z mieszkami współrzednymi, choć rzadziej, wykazywane w opracowaniach naukowych i mające na ogół miejsce w eksperymentach wykonanych przez autora niniejszej pracy implikują nie tylko korzyści produkcyjne, ale również ekonomiczne. Różne ceny płodów rolnych i ich relacje między gatunkami, a także różnice monetarne nie pozwalają na proste porównanie wyników badań z różnych rejonów świata. Jednak wspólna metoda, np. wskaźnik MAI, umożliwia chociażby wnioskowanie czy uprawa roślin w mieszance powoduje korzyść, jak wskazują np. Teklemariam i in. [2025], czy ewentualną stratę finansową w porównaniu z siewem monogatunkowym jej komponentów. W badaniach własnych uprawa jęczmienia jarego wspólnie z grochem siewnym, w zależności od odmian stanowiących komponenty mieszanek oraz od rodzaju mieszanki, zwiększyła wartość plonu nawet o ponad 1100 zł ha⁻¹, a korzyść z zastąpienia tradycyjnej mieszanki współrzednej na przemian rzędowym rozmieszczeniem roślin jęczmienia jarego i grochu siewnego wyniosła średnio w latach badań około 500 zł ha⁻¹ (wskaźnik RRW). Rachunek powyższy jest prostym iloczynem różnicy plonu i cen ziarna oraz nasion jako komponentów mieszanki. W praktyce rolniczej trzeba jednak uwzględnić, że plon łączny ziarna/nasion nie jest towarem rynkowym, a jego ewentualne rozdzielanie wymaga dodatkowych nakładów i generuje koszty. Z drugiej strony pogłębione analizy ekonomiczne uwzględniają w rachunku kosztów możliwość

zmniejszenia nawożenia azotem, zwłaszcza rośliny zbożowej, przy zachowaniu większego plonu mieszanki jęczmienia z grochem, szczególnie w mieszance na przemian rzędowej, co wykazali we wcześniejszych badaniach Sahota i Malhi [2012]. Aktualnie analiza korzyści, w tym ekonomicznych, z uprawy mieszanek z udziałem roślin bobowatych idzie dalej. Rozpatrywana jest nie tylko w odniesieniu do danej uprawy, ale w skali gospodarstwa [Tzemi i in., 2025; De Souza Barros i in., 2026]. Wycenia się oprócz wartości plonu również wartość przedplonową, wpływ na jakość gleby i możliwość redukcji nawożenia, a także efektywność uprawy po uproszczonej czy zerowej uprawie roli [Yemadje i in., 2025]. Ten ostatni aspekt, nawiązujący bezpośrednio do badań własnych, czyli uprawy mieszanek w technologii pasowej w jednym przejeździe maszyny wskazuje na zasadność przeprowadzonych badań, a jednocześnie potrzebę ich kontynuacji i pogłębienia, chociażby o ocenę wartości przedplonowej mieszanek jęczmienia jarego z grochem siewnym w zależności od rozmieszczenia roślin w łanie.

7. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzone badania, w tym eksperyment polowy, wykazały możliwość uprawy mieszanek jęczmienia jarego z grochem siewnym w technologii strip-till one-pass. Specjalistyczna maszyna umożliwia nie tylko uprawę pasów gleby i aplikowanie nawozów, ale również jednoczesny siew w oddzielnych rzędach ziarna rośliny zbożowej i nasion rośliny bobowatej grubonasiennej z indywidualizacją jego parametrów. Możliwe jest przez to głębsze umieszczanie w glebie nasion grochu niż ziarna jęczmienia. Opcjonalnie maszyna może wysiewać także mieszaninę ziarna i nasion równocześnie we wszystkich rzędach oraz dokonywać tradycyjnego siewu jednogatunkowego. Powyższe funkcjonalności maszyny wykorzystywanej w praktyce rolniczej predestynują ją również do realizowania ścisłych doświadczeń naukowych. Możliwość zakładania wieloobektowych eksperymentów, od siewów czystych gatunków o różnych wymaganiach w stosunku do parametrów siewu, przez mieszanki współrzędne (siew materiału będącego mieszaniną ziarna i nasion) do siewu komponentów mieszanki w na przemian położonych rzędach ogranicza zmienność powodowaną przez używanie wielu maszyn lub/i kilku ich przejazdów w obrębie obiektu doświadczalnego.

W pracy zamieszczono i omówiono wyniki z każdego roku, wskazując na znaczący wpływ lat na plonowanie roślin i ich reakcję na rozmieszczenie w łanie związane ze sposobem siewu. Natomiast synteza trzyletnich rezultatów badań, z eksperymentem polowym jako metodą badawczą, przeprowadzona w modelu zakładającym naturalnie występującą zmienność środowiskową pozwoliła na sformułowanie kilku wniosków uogólniających z bezpośrednim odniesieniem się do uzyskanych wyników. Dlatego wnioskowanie to oparte jest głównie o wyniki średnie z lat badań, tj. 2023-2025:

1. Maszyna z możliwością indywidualnej regulacji parametrów pracy sekcji roboczych umożliwia optymalizację głębokości siewu ziarna jęczmienia i nasion grochu w oddzielnych rzędach mieszanki na przemian rzędowej, co powoduje bardzo dobre wschody roślin. Obsada roślin odmian grochu siewnego w mieszankach na przemian rzędowych była istotnie większa niż w zasiewach współrzędnych, a jednocześnie ich polowa zdolność wschodów nie odbiegała znacząco od wielkości tego parametru w siewach czystych.
2. Plon zielonej i suchej masy jęczmienia jarego i grochu siewnego zależy od sposobu rozmieszczenia roślin w łanie i fazy rozwojowej roślin. W fazie BBCH 51-61 plon zielonej masy mieszanek na przemian rzędowych tych roślin był istotnie większy od plonu mieszanek współrzędnych, z wyjątkiem odmiany jęczmienia 'Ismena' z grochem 'Milwa', a także od plonów odmian jęczmienia jarego i grochu siewnego w uprawie jednogatunkowej.
3. W fazie dojrzałości pełnej plon suchej masy organów nadziemnych odmian jęczmienia jarego w siewie czystym dorównywał plonowi mieszanek na przemian rzędowych z ich udziałem i był jednocześnie istotnie większy od plonu mieszanek współrzędnych i odmian grochu siewnego.

4. Plon ziarna/nasion mieszanek na przemian rzędowych był znacząco większy niż mieszanek współrzędnych, ale niezależnie od sposobu rozmieszczenia rośliny zbożowej i bobowatej w łanie mieszanym nie różnił się istotnie od plonów ziarna odpowiednich odmian jęczmienia jarego – z wyjątkiem mieszanki współrzędnej z udziałem odmiany ‘Ismena’. Jednocześnie plon obu rodzajów mieszanek przewyższał plon nasion każdej odmiany grochu siewnego.
5. Gatunek, odmiana, faza rozwojowa i sposób rozmieszczenia roślin jęczmienia jarego i grochu siewnego w łanie wpływają istotnie na plon białka biomasy. W fazie BBCH 51-61 plon białka suchej masy każdej odmiany grochu w siewie czystym był istotnie większy od plonu białka suchej masy odmian jęczmienia jarego, ale nie przewyższył plonu białka suchej masy mieszanek na przemian rzędowych z ich udziałem. Z kolei w fazie BBCH 89 plon białka biomasy odmian ‘Grot’ i ‘Astronaute’ w siewie czystym przewyższał plon białka suchej masy jęczmienia jarego, a odmiany ‘Grot’ także plon mieszanki współrzędnej z odmianą jęczmienia ‘Radek’. Plon białka biomasy wszystkich mieszanek na przemian rzędowych w obu fazach rozwojowych, z wyjątkiem mieszanki jęczmienia ‘Ismena’ z grochem ‘Milwa’ w fazie dojrzałości pełnej, był natomiast większy od plonu mieszanek współrzędnych.
6. Łączny plon białka ziarna i nasion poszczególnych mieszanek na przemian rzędowych był istotnie większy od plonu mieszanek współrzędnych i plonu białka nasion odpowiednich odmian grochu w siewie czystym z wyjątkiem odmiany ‘Grot’. Plon białka każdej odmiany grochu w siewie czystym przewyższał natomiast plon białka ziarna odmian jęczmienia, a plon odmiany ‘Grot’ także plon białka ziarna/nasion jej mieszanki współrzędnej z odmianą jęczmienia ‘Radek’.
7. Dobór odmiany jęczmienia jarego do uprawy, w tym w mieszankach z grochem siewnym, jest mniej ważny niż odmiany rośliny bobowatej. Plony ziarna wszystkich odmian jęczmienia w siewie czystym nie różniły się istotnie, tak jak nie różnił się również ich plon ziarna jako komponentu mieszanek zarówno współrzędnych, jak i na przemian rzędowych. Istotne było natomiast zróżnicowanie plonu nasion odmian grochu siewnego.
8. Rozmieszczenie roślin jęczmienia jarego i grochu siewnego w na przemian położonych rzędach w porównaniu do siewu współrzędnego jest dobrym sposobem zwiększenia udziału rośliny bobowatej w plonach mieszanek. Średnio dla odmian udział grochu w plonie zwiększył się odpowiednio: zielonej masy w fazie BBCH 51-61 z 46,2% do 53,2%, suchej masy w fazie dojrzałości pełnej z 31,7% do 39,4%, ziarna/nasion z 30,7% do 38,8%, a białka ziarna/nasion z 44,8% do 54,4%.
9. Uprawa mieszanek, a zwłaszcza mieszanek na przemian rzędowych, pozwala zwiększyć produktywność gruntów ornych w porównaniu do upraw jednogatunkowych jęczmienia jarego i grochu siewnego. Wskaźnik LER dla plonów zielonej masy w fazie BBCH 51-61, suchej masy w fazie BBCH 89, plonu ziarna/nasion i plonu ich białka odpowiednio dla mieszanek współrzędnych i na przemian rzędowych wyniósł średnio dla odmian: 1,224 i 1,334; 1,050 i 1,221; 1,067 i 1,197 oraz 1,072 i 1,200.

10. Jęczmień jary jest stabilnym komponentem w różnych fazach tworzenia plonu, o czym świadczyła podobna wartość wskaźnika LER w różnych fazach wzrostowo-rozwojowych i dla wszystkich odmian, ale jednocześnie jest gatunkiem bardziej agresywnym w mieszankach niż groch siewny w porównaniu do czystych siewów obu gatunków. Dodatnia wartość wskaźnika jego agresywności (AR) i wartość wskaźnika konkurencyjności (CR) $> 1,0$ w odniesieniu do plonów organów wegetatywnych, generatywnych i białka zwiększały się od fazy BBCH 51-61 do zbioru.
11. W mieszankach na przemian rzędowych w porównaniu z uprawami współrzędnymi to groch siewny jest gatunkiem bardziej konkurencyjnym od jęczmienia jarego. Wartość wskaźnik WO plonów rośliny bobowatej była bowiem większa od jedności, a wskaźnika SK dodatnia.
12. Uprawa jęczmienia jarego z grochem siewnym w mieszance, a zwłaszcza mieszance na przemian rzędowej, w technologii pasowej one-pass jest sposobem na poprawę efektu ekonomicznego produkcji. Potencjalna wartość plonu ziarna/nasion zwiększyła się wskutek uprawy mieszanek współrzędnych, w zależności od roku badań i odmian, nawet o 764 zł ha^{-1} w porównaniu z siewami jednogatunkowymi obu komponentów, a w efekcie siewu na przemian rzędowego o dalsze $118\text{-}831 \text{ zł ha}^{-1}$.

LITERATURA

- [1] Abd-Rabbob A.M.K., Moahmed Koriem M.H., 2022. Increasing unit area productivity and net income by intercropping peas with some wheat cultivars under different levels of nitrogen fertilizer. *J. Adv. Agric. Res.* 27(2), 260-276.
- [2] Adamczewska-Sowińska K., Sowiński J., 2020. Polyculture Management: A Crucial System for Sustainable Agriculture Development. [In:] *Soil Health Restoration and Management*, R. Meena (eds), Springer Singapore.
- [3] Adler P.B., Smull D., Beard K.H., Choi R.T., Furniss T., Kulmatiski A., Meiners J.M., Tredennick A.T., Veblen K.E., 2018. Competition and coexistence in plant communities: intraspecific competition is stronger than interspecific competition. *Ecol. Lett.* 21(9), 1319-1329.
- [4] Ahmed A.K., Aziz J.M., 2023. Effect of Cotton and Soybean Intercropping on the Production Indicators of the Two Crops. [In:] *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (1158, 062011). IOP Publishing.
- [5] Altieri M.A., Nicholls C.I., Dinelli G., Negri L., 2024. Towards an agroecological approach to crop health: reducing pest incidence through synergies between plant diversity and soil microbial ecology. *npj Sustain. Agric.* 2(1), 6.
- [6] Angon P.B., Anjum N., Akter M.M., KC S., Suma R.P., Jannat S., 2023. An overview of the impact of tillage and cropping systems on soil health in agricultural practices. *Adv. Agric.* 2023(1), 8861216.
- [7] Arenas-Salazar A.P., Schoor M., Parra-Pacheco B., García-Trejo J.F., Torres-Pacheco I., Feregrino-Pérez A.A., 2024. Intercropping Systems to Modify Bioactive Compounds and Nutrient Profiles in Plants: Do We Have Enough Information to Take This as a Strategy to Improve Food Quality? A Review. *Plants.* 13(2), 194.
- [8] ARiMR, 2025. <https://www.gov.pl/web/arimr/dyweryfikacja-upraw-20#>, dostęp 25.04.2025.
- [9] Arlauskienė A., Gecaitė V., Toleikienė M., Šarūnaitė L., Kadžiulienė Ž., 2021. Soil Nitrate Nitrogen Content and Grain Yields of Organically Grown Cereals as Affected by a Strip Tillage and Forage Legume Intercropping. *Plants* 10(7), 1453.
- [10] Armas C., Ordiales R., Pugnaire F.I., 2004. Measuring plant interactions: a new comparative index. *Ecology* 85(10), 2682-2686.
- [11] Asefa M., Worthy S.J., Cao M., Song X., Lozano Y.M., Yang J., 2022. Above-and below-ground plant traits are not consistent in response to drought and competition treatments. *Ann. Bot.* 130(7), 939-950.
- [12] Azam-Ali S.N., Matthews R.B., Williams J.H., Peacock J.M., 1990. Light use, water uptake and performance of individual components of a sorghum/groundnut intercrop. *Exp. Agric.* 26(4), 413-427.

- [13] Bacchi M., Monti M., Calvi A., Lo Presti E., Pellicanò A., Preiti G., 2021. Forage potential of cereal/legume intercrops: Agronomic performances, yield, quality forage and LER in two harvesting times in a Mediterranean environment. *Agronomy* 11(1), 121.
- [14] Bahia Z., Zohra B.F., Benalia H., Mounir S., Omar K., Fatima L.L., Aicha K., Amdjed L., Hani O., Mourad L., 2025. The simultaneous assessment of nitrogen and water use efficiency by intercropped pea and barley under contrasting pedoclimatic conditions. *Plant Soil* 506(1), 375-393.
- [15] Bailey-Elkin W., Carkner M., Entz M.H., 2021. Intercropping organic field peas with barley, oats, and mustard improves weed control but has variable effects on grain yield and net returns. *Can. J. Plant Sci.* 102(3), 515-528.
- [16] Barillot R., Escobar-Gutiérrez A.J., Fournier C., Huynh P., Combes D., 2014. Assessing the effects of architectural variations on light partitioning within virtual wheat–pea mixtures. *Ann. Bot.* 114(4), 725-737.
- [17] Becker C., Berthomé R., Delavault P., Flutre T., Fréville H., Gibot-Leclerc S., Le Corre V., Morel J.-B., Moutier N., Munos S., 2023. The ecologically relevant genetics of plant–plant interactions. *Trends Plant Sci.* 28, 31-42.
- [18] Bedoussac L., Journet E.P., Hauggaard-Nielsen H., Naudin C., Corre-Hellou G., Jensen E.S., Justes E., 2018. Grain legume–cereal intercropping systems. [In:] *Achieving sustainable cultivation of grain legumes*. Burleigh Dodds Science Publishing Limited.
- [19] Bojarszczuk J., Ksieżak J., 2018. Stan obecny i perspektywy uprawy roślin strączkowych w Polsce. *Rocz. Nauk. Stow. Ekon. Rol. Agrobiz.* 20(5), 15-20.
- [20] Bonke V., Musshoff O. 2020. Understanding German farmer's intention to adopt mixed cropping using the theory of planned behavior. *Agron. Sustain. Dev.* 40, 48.
- [21] Boudreau M.A., 2013. Diseases in intercropping systems. *Annu. Rev. Phytopathol.* 51(1), 499-519.
- [22] Bouhaouel I., Gfeller A., Fauconnier M.L., Rezgui S., Slim Amara H., du Jardin P., 2015. Allelopathic and autotoxicity effects of barley (*Hordeum vulgare* L. ssp. *vulgare*) root exudates. *BioControl* 60(3), 425-436.
- [23] Brandmeier J., Reininghaus H., Scherber C., 2023. Multispecies crop mixtures increase insect biodiversity in an intercropping experiment. *Ecol. Solut. Evid.* 4, e12267.
- [24] Brooker R.W., Bennett A.E., Cong W-F., Daniell T.J., George T.S., Hallett P.D., Hawes C., Iannetta P.P.M., Jones H.G., Karley A.J., Li L., McKenzie B.M., Pakeman R.J., Paterson E., Schob C., Shen J., Squire G., Watson C.A., Zhang C., Zhang F., Zhang J., White P.J., 2015. Improving intercropping: A synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytol.* 206, 107-117.
- [25] Brooker R., Pakeman R.J., Hewison R.L., Mitchell C., Newton A.C., Neilson R., Raubach S., Shaw P.D., Verrall S., Karley A.J., 2024. Crop Mixtures: Yield Responses to Climate and Management and Impacts on Seed and Soil Chemical Composition in a Scottish-Based Study. *Plant Soil* 1-19.

- [26] Buraczyńska D., Ceglarek F., 2009. Plon i skład chemiczny nasion mieszanek strączkowo-zbożowych. *Frag. Agron.* 26(3), 15-24.
- [27] Bybee-Finley K.A., Ryan M.R., 2018. Advancing Intercropping Research and Practices in Industrialized Agricultural Landscapes. *Agriculture* 8(6), 80.
- [28] Cadot S., Hohmann P., Hsung M.H., Hartmann M., Haug B., Wille Dr.L., Messmer M., Bodenhausen N., 2023. Fungal microbiome indicators are associated with genotypic variation in pea root rot susceptibility when intercropped with barley. *Phytobiomes J.* 8(1), 97-109.
- [29] Cannon N.D., Kamalongo D.M., Conway J.S., 2020. The effect of bi-cropping wheat (*Triticum aestivum*) and beans (*Vicia faba*) on forage yield and weed competition. *Biol. Agric. Hortic.* 36(1), 1-15.
- [30] Chamkhi I., Cheto S., Geistlinger J., Zeroual Y., Kouisni L., Bargaz A., Ghoulam C., 2022. Legume-based intercropping systems promote beneficial rhizobacterial community and crop yield under stressing conditions. *Ind. Crops Prod.* 183, 114958.
- [31] Chapagain T., Riseman A., 2014. Barley-pea intercropping: Effects on land productivity, carbon and nitrogen transformations. *Field Crops Res.* 166, 18-25.
- [32] Chen C., Westcott M., Neill K., Wichman D., Knox M., 2004. Row configuration and nitrogen application for barley-pea intercropping in Montana. *Agron. J.* 96(6), 1730-1738.
- [33] Cheng F., Cheng Z., 2015. Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy. *Front. Plant Sci.* 6, 1020.
- [34] Chitraputhirapillai S., Kannan P., Krishnaprabu N., Yassin M.M., 2022. Four 'Bio' Traits craft Pigeonpea (*Cajanus Cajan* (L.) Millsp) to survive in a dry soil environment under intercropping situation-A Review. *Int. J. Plant Env.* 8(03), 39-46.
- [35] Cotrut R., 2018. Allelopathy and allelochemical interactions among plants. *Sci. Pap.* 1, 188-193.
- [36] Cowden R.J., Shah A.N., Lehmann L.M., Kiær L.P., Henriksen C.B., Ghaley B.B., 2020. Nitrogen fertilizer effects on pea-barley intercrop productivity compared to sole crops in Denmark. *Sustainability* 12(22), 9335.
- [37] Dahlin I., Kiær L.P., Bergkvist G., Weih M., Ninkovic V., 2020. Plasticity of barley in response to plant neighbors in cultivar mixtures. *Plant Soil* 447(1), 537-551.
- [38] Damiran D., Biligetu B., Larson K.A., Poudel H., Lardner H.A., 2025. PSV-24 Forage yield, land equivalent ratio of cereals and pea-cereal intercrops differing in pea to cereal ratio at two sites in western Canada. *J. Anim. Sci.* 103(Supplement_3), 482-483.
- [39] Darch T., Giles C.D., Blackwell M.S., George T.S., Brown L.K., Menezes-Blackburn D., Shand C.A., Stutter M.I., Lumsdon D.G., Mezeli M.M., Wendler R., Zhang H., Wearing C., Cooper P., Haygarth P.M., 2018. Inter-and intra-species intercropping of barley cultivars and legume species, as affected by soil phosphorus availability. *Plant Soil* 427(1), 125-138.

- [40] Demie D.T., Döring T.F., Finckh M.R., Van Der Werf W., Enjalbert J., Seidel S.J., 2022. Mixture $\times$ genotype effects in cereal/legume intercropping. *Front. Plant Sci.* 13, 846720.
- [41] De Silva C., Rathor P., Warkentin T.D., Poudel H.P., Thilakarathna M.S., 2025. Effect of cultivar selection on symbiotic nitrogen fixation and yield traits of pea cultivars in intercropping with wheat. *Discov Agric.* 3(1), 93.
- [42] De Souza Barros V.M., Silva J.V., Cardoso N.F.S., Escobar M.E.O., Santos R.H.S., de Almeida M.V.R., de Oliveira T.S., 2026. Soil quality and biological and economic efficiency of intercropping in the Brazilian semi-arid region. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 50(2), 223-251.
- [43] Di Miceli G., Licata M., Marceddu R., 2023. Forage mixture productivity and silage quality from a grass/legume intercrop in a semiarid Mediterranean environment. *Agron. J.* 115(3), 1131-1145.
- [44] Dordas C.A., Vlachostergios D.N., Lithourgidis A.S., 2012. Growth dynamics and agronomic-economic benefits of pea-oat and pea-barley intercrops. *Crop Pasture Sci.* 63(1), 45-52.
- [45] Dvořák P., Capouchová I., Král M., Konvalina P., Janovská D., Satranský M., 2022. Grain yield and quality of wheat in wheat-legumes intercropping under organic and conventional growing systems. *Plant Soil Environ.* 68(12).
- [46] Dzieżyc J., Nowak L., Panek K., 1987. Dekadowe wskaźniki potrzeb opadowych roślin uprawnych w Polsce. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 314, 11-33.
- [47] Erythrina E., Susilawati S., Slameto S., Resiani N.M.D., Arianti F.D., Jumakir J., Fahri A., Bhermana A., Jannah A., Sembiring H., 2022. Yield Advantage and Economic Performance of Rice–Maize, Rice–Soybean, and Maize–Soybean Intercropping in Rainfed Areas of Western Indonesia with a Wet Climate. *Agronomy* 12(10), 2326.
- [48] EUROSTAT, 2025. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/apro_cpsh1_custom_16446281/default/table?lang=en, dostęp 25.04.2025.
- [49] Fan Z., Liu P.Z., Lin Y.R., Qiang B.B., Li Z.P., Cheng M.W., Guo Q.H., Liu J.P., Ren X.L., Zhao X.N., Chen X., 2025. Root plasticity improves the potential of maize/soybean intercropping to stabilize the yield. *Soil Till Res.* 251, 106553.
- [50] FAOSTAT, 2025. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>, dostęp 29.04.2025.
- [51] Fernandez M.R., Lokuruge P., Abdellatif L., Waelchli N., Leeson J.Y., Schellenberg M.P., Chalmers S., 2025. Intercropping of oat or mustard with legumes under organic management in the semiarid Canadian Prairie. *Agron. J.* 117(3), e70056.
- [52] Figura M. 2017. Zmiany w użytkowaniu ziarna zbóż na paszę w Polsce w latach 2008-2012 w porównaniu z sezonem 1999/2000. *Zagadnienia Doradztwa Rolniczego* 87(1), 56-67.

- [53] Freckleton R.P., Watkinson A.R. 2001. Asymmetric competition between plant species. *Funct. Ecol.* 15(5), 615-623.
- [54] Gałęzewski L., 2020. Proximity effect of spring cereals and legumes in strip intercropping. Part IV. Response of triticale to the proximity of wheat, barley, pea and yellow lupine. *Acta Sci. Pol. Agricultura* 19(2), 55-67.
- [55] Gaudio N., Escobar-Gutiérrez A.J., Casadebaig P., Evers J.B., Gérard F., Louarn G., Colbach N., Munz S., Launay M., Marrou H., Barillot R., Hinsinger P., Bergez J.E., Combes D., Durand J.L., Frak E., Pagès L., Pradal C., Saint-Jean S., van der Werf W., Justes E., 2019. Current knowledge and future research opportunities for modeling annual crop mixtures. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 39, 20.
- [56] Gebru H., 2015. A review on the comparative advantages of intercropping to mono-cropping system. *J. Biol. Agric. Healthc.* 5(9), 1-13.
- [57] Gitari H.I., Nyawade S.O., Kamau S., Karanja N.N., Gachene C.K.K., Raza M.A., Maitra S., Schulte-Geldermann E., 2020. Revisiting Intercropping Indices with Respect to Potato-Legume Intercropping Systems. *Field Crops Res.* 258, 107957.
- [58] Glaze-Corcoran S., Hashemi M., Sadeghpour A., Jahanzad E., Afshar R.K., Liu X., Herbert S.J., 2020. Understanding intercropping to improve agricultural resiliency and environmental sustainability. *Adv. Agron.* 162, 199-256.
- [59] Goldberg D.E., Scheiner S.M., 2020. ANOVA and ANCOVA: Field competition experiments. [In:] *Design and Analysis of Ecological Experiments*, 2nd edn., S.M. Scheiner, J. Gurevitch (eds), Oxford University Press Inc.
- [60] Gong X., Ji X., Long A., Qi H., Jiang Y., 2024. The effect of intercropping on phosphorus availability in plant–soil systems: A meta-analysis. *Plant Soil* 460, 89-104.
- [61] González-García E., Sánchez-Moreiras A.M., Vieites-Álvarez Y., 2025. Allelopathic potential and chemical profile of wheat, rice and barley against the herbicide-resistant weeds *Portulaca oleracea* L. and *Lolium rigidum* Gaud. *BMC Plant Biol.* 25(1), 624.
- [62] Gottlieb R., Gruntman M., 2022. Can plants integrate information on above-ground competition in their directional responses below ground? *Ann. Bot.* 130(5), 763-771.
- [63] Gou F., van Ittersum M.K., Wang G., van der Putten P.E., van der Werf W., 2016. Yield and yield components of wheat and maize in wheat–maize intercropping in the Netherlands. *Eur. J. Agron.* 76, 17-27.
- [64] Gozdowski D., Wszyński Z., Kalinowska-Zdun M., Pagowski K., Pietkiewicz S., 2012. Zmienność budowy przestrzennej ładu jęczmienia jarego w zróżnicowanych warunkach środowiskowo-agrotechnicznych. *Cz. I. Struktura ładu. Fragn. Agron.* 29(3), 7-19.

- [65] Górski R., Płaza A., Rudziński R., 2022. Ocena plonowania i zachwaszczenia mieszanek grochu siewnego z pszenżytem jarym uprawianych na zieloną masę w rolnictwie zrównoważonym. *Agron. Sci.* 77(4), 133-143.
- [66] Hadir S., Döring T.F., Justes E., Demie D.T., Paul M., Legner N., Kemper R., Gaiser T., Weedon O., Ewert F., Seidel S.J., 2025. Root growth and belowground interactions in spring wheat/faba bean intercrops. *Plant Soil* 506(1), 57-76.
- [67] Han M., Yang H., Huan, H., Du J., Zhang S., Fu Y., 2024. Allelopathy and allelobiosis: Efficient and economical alternatives in agroecosystems. *Plant Biol.* 26(1), 11-27.
- [68] Harwood J., 2024. The forgotten history of intercropping. *Plants, People, Planet* 6(5), 1121-1128.
- [69] Haug B., Messmer M.M., Enjalbert J., Goldringer I., Flutre T., Mary-Huard T., Hohmann P., 2023. New insights towards breeding for mixed cropping of spring pea and barley to increase yield and yield stability. *Field Crops Res.* 297, 108923.
- [70] Håkansson I., Arvidsson J., Keller T., Rydberg T., 2011. Effects of seedbed properties on crop emergence: 1. Temporal effects of temperature and sowing depth in seedbeds with favourable properties. *Acta Agric. Scand. Sect. B Soil Plant Sci.* 61(5), 458-468.
- [71] Himanen S.J., Mäkinen H., Rimhanen K., Savikko R., 2016. Engaging Farmers in Climate Change Adaptation Planning: Assessing Intercropping as a Means to Support Farm Adaptive Capacity. *Agriculture* 6(3), 34.
- [72] Homulle Z., George T.S., Karley A.J., 2022. Root traits with team benefits: understanding belowground interactions in intercropping systems. *Plant Soil* 471(1), 1-26.
- [73] Hong Y., Heerink N., Jin S., Berentsen P., Zhang L., van der Werf W., 2017. Intercropping and agroforestry in China—current state and trends. *Agric. Ecosyst. Environ.* 244, 52-61.
- [74] Hong Y., Heerink N., van der Werf W., 2020. Farm size and smallholders' use of intercropping in Northwest China. *Land Use Policy* 99, 105004.
- [75] Huang T., Döring T.F., Zhao X., Weiner J., Dang P.F., Zhang M.X., 2024. Cultivar mixtures increase crop yields and temporal yield stability globally. A meta-analysis. *Agron. Sustain. Dev.* 44, 28.
- [76] Huss C.P., Holmes K.D., Blubaugh C.K., 2022. Benefits and risks of intercropping for crop resilience and pest management. *J. Econ. Entomol.* 115(5), 1350-1362.
- [77] Ileri O., Erkovan S., Erkovan H.I., Koc A., 2021. Plant-plant interactions in pea-cereal mixtures under heat stress conditions of second crop season. *Turk. J. Field Crops* 26, 147-156.
- [78] Iqbal A., Akbar N., Khan H.Z., Abbas R.N., Ahmad J., 2012. Productivity of summer legume forages intercropped with maize as affected by mixed cropping in different sowing techniques. *J. Anim. Plant Sci.* 22, 758-763.

- [79] Iqbal M.A., Hamid A., Hussain I., Siddiqui M.H., Ahmad T., Khaliq A., Ahmad Z., 2019. Competitive indices in cereal and legume mixtures in a South Asian environment. *Agron. J.* 111(1), 242-249.
- [80] Jaskulska I., Jaskulski D., 2021. Winter wheat and spring barley canopies under strip-till one-pass technology. *Agronomy* 11(3), 426.
- [81] Jaskulska I., Jaskulski D., Gałęzewski L., 2022. Peas and barley grown in the strip-till one pass technology as row intercropping components in sustainable crop production. *Agriculture* 12(2), 229.
- [82] Jaskulska I., Romaneckas K., Jaskulski D., Wojewódzki P., 2020. A strip-till one-pass system as a component of conservation agriculture. *Agronomy* 10(12), 2015.
- [83] Jevtić R., Župunski V., Grčak M., Živančev D., Knežević D., 2023. Cereal–Pea Intercropping Reveals Variability in the Relationships among Yield, Quality Parameters, and Obligate Pathogens Infection in Wheat, Rye, Oat, and Triticale, in a Temperate Environment. *Plants* 12(11), 2067.
- [84] Ji Z., Ren M., Ye J., Zhao L., Dai R., Zhang T., Luo Q., Tang J., Hu L., Chen X., 2024. The role of partner species in the crop cocultures: A meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 367, 108992.
- [85] Karkanis A., Ntatsi G., Kontopoulou C.K., Pristeri A., Bilalis D., Savvas D., 2016. Field pea in European cropping systems: Adaptability, biological nitrogen fixation and cultivation practices. *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca* 44(2), 325-336.
- [86] Karunarathna B., Maduwanthi A.K.M.R.B., 2022. Competition indices used to evaluate the agronomic and monetary advantage in intercropping: A review. *AGRIEAST: J. Agric. Sci.* 16(1), 25-40.
- [87] Kato-Noguchi H., 2022. Allelopathy and Allelochemicals of *Imperata cylindrica* as an Invasive Plant Species. *Plants* 11(19), 2551.
- [88] Khalofah A., 2025. Carbon sequestration and yield benefits of climate-smart tillage with cereal-legume intercropping in arid irrigated regions. *Plant Soil*, 1-18.
- [89] Khanal U., Stott K.J., Armstrong R., Nuttall J.G., Henry F., Christy B.P., Mitchell M., Riffkin P.A., Wallace A.J., McCaskill M., Thayalakumaran T., O’Leary G.J., 2021. Intercropping–Evaluating the Advantages to Broadacre Systems. *Agriculture* 11(5), 453.
- [90] Kiar L.P., Weisbach A.N., Weiner J., 2013. Root and shoot competition: a meta-analysis. *J. Ecol.* 101(5), 1298-1312.
- [91] Kinyua M.W., Kihara J., Bekunda M., Bolo P., Mairura F.S., Fischer G., Mucheru-Muna M.W., 2023. Agronomic and economic performance of legume-legume and cereal-legume intercropping systems in Northern Tanzania. *Agric. Syst.* 205, 103589.
- [92] Kopp E.B., Niklaus P.A., Wuest S.E., 2023. Ecological principles to guide the development of crop variety mixtures. *J. Plant Ecol.* 16(6), rtad017.

- [93] Krga I., Simić A., Mandić V., Bijelić Z., Vasiljević S., Adžić S., 2019. Forage yield and protein content of different field pea cultivars and oat mixtures grown as winter crops. *Turk. J. Field Crops* 24(2), 170-177.
- [94] Księżak J., 2007. Wpływ poziomu nawożenia azotem na plonowanie mieszanki grochu z jęczmieniem jarym. *Ann. UMCS, Sec. E. Agricultura* 62(1), 175-188.
- [95] Księżak J., 2017. Mieszanki roślin strączkowych ze zbożami w rolnictwie ekologicznym. Wyd. IUNG-PIB Puławy.
- [96] Księżak J., Staniak M., Stalenga J., 2023. Restoring the importance of cereal-grain legume mixtures in low-input farming systems. *Agriculture* 13(2), 341.
- [97] Kwiatkowski C.A., Harasim E., Klikocka-Wisniewska O., 2022. Effect of Catch Crops and Tillage Systems on the Content of Selected Nutrients in Spring Wheat Grain. *Agronomy* 12(5), 1054.
- [98] Kwiatkowski C.A., Kraska P., Woźniak A., Lipińska H., 2020. Eksperymenty wieloletnie w gospodarstwach doświadczalnych Wydziału Agrobioinżynierii Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. [W:] 100 lat doświadczalnictwa rolniczego na Wydziale Rolnictwa i Biologii SGGW, J. Łabętowicz, A. Radecki (red.). Wyd. SGGW Warszawa.
- [99] Lamzira R., El Fakhouri K., Boulamtat R., Kemal S.A., Oubayoucef A., Ramdani C., Meftah Kadmiri I., El Bouhssini M., 2025. Multifunctional roles of intercropping in the management of insect pests affecting pulse crops: a comprehensive bibliometric analysis. *Front. Sustain. Food Syst.* 9, 1599254.
- [100] Landschoot S., Claeys V., Wambacq E., Dewitte K., Haesaert G., Latré J., 2024. Cereal–Legume Intercropping: Which Partners Are Preferred in Northwestern Europe? *Agronomy* 14(7), 1551.
- [101] Launay M., Brisson N., Satger S., Hauggaard-Nielsen H., Corre-Hellou G., Kasynova E., Ruske R., Jensen E., Gooding M.J., 2009. Exploring options for managing strategies for pea–barley intercropping using a modeling approach. *Eur. J. Agron.* 31(2), 85-98.
- [102] Layek J., Das A., Mitran T., Nath C., Meena R.S., Yadav G.S., Shivakumar B.G., Kumar S., Lal R., 2018. Cereal+ legume intercropping: An option for improving productivity and sustaining soil health. [In:] *Legumes for Soil Health and Sustainable Management*, R. Meena, A. Das, G. Yadav, R. Lal (eds), Springer Singapore.
- [103] Lebreton P., Bedoussac L., Bonnet C., Journet E.P., Justes E., Colbach N., 2024. Optimal species proportions, traits and sowing patterns for agroecological weed management in legume–cereal intercrops. *Eur. J. Agron.* 159, 127266.
- [104] Leszczyńska D., 2010. Stan i uwarunkowania uprawy mieszanek zbożowych w Polsce. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 55(4), 7-11.
- [105] Li C.J., Hoffland E., Kuyper T.W., Yu Y., Li H.G., Zhang C.C., Zhang F.S., van der Werf W., 2020. Yield gain, complementarity and competitive

- dominance in intercropping in China: A meta-analysis of drivers of yield gain using additive partitioning. *Eur. J. Agron.* 113, 125987.
- [106] Li C., Kambombe O., Chimimba E.G., Fawcett D., Brown L.A., Yu L., Gadedjisso-Tossou A., Dash J., 2023a. Limited environmental and yield benefits of intercropping practices in smallholder fields: Evidence from multi-source data. *Field Crop. Res.* 299, 108974.
- [107] Li C., Stomph T.J., Makowski D., Li H., Zhang C., Zhang F., van der Werf W., 2023b. The productive performance of intercropping. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 120(2), e2201886120.
- [108] Liszka-Podkowa A., 2009. Wpływ konkurencji międzygatunkowej na plon kukurydzy i bobiku uprawianych wspólnie. *Fragm. Agron.* 26(4), 111-119.
- [109] Lithourgidis A.S., Vlachostergios D.N., Dordas C.A., Damalas C.A., 2011. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. *Eur. J. Agron.* 34(4), 287-294.
- [110] Luo C., Ding H., Guo Z., Dong Y., 2025. Appropriate nitrogen supply and intercropping reduce epidemics, the compound disease of faba bean, and yield and economic losses. *Plant Soil* 506(1), 173-190.
- [111] Luo Z., Zhang S., Zhao Z., Minasny B., Chang J., Huang J., Li B.H., Shi Z., Wang M.M., Wu Y.S., Xiao L., Ye, S., 2024. Soil-smart cropping for climate-smart production. *Geoderma* 451, 117061.
- [112] Maitra S., Hossain A., Brestic M., Skalicky M., Ondrisik P., Gitari H., Brahmachari K., Shankar T., Bhadra P., Palai J.B., Jena J., Bhattacharya U., Duvvada S.K., Lalichetti S. Sairam M., 2021. Intercropping – A Low Input Agricultural Strategy for Food and Environmental Security. *Agronomy* 11(2), 343.
- [113] Maitra S., Ray D.P., 2019. Enrichment of biodiversity, influence in microbial population dynamics of soil and nutrient utilization in cereal-legume intercropping systems: A Review. *Int. J. Biores. Sci.* 6(1), 11-19.
- [114] Makoi J.H., Ndakidemi P.A., 2012. Allelopathy as protectant, defence and growth stimulants in legume cereal mixed culture systems. *N. Z. J. Crop Hortic. Sci.* 40(3), 161-186.
- [115] Mala M., Mollah M.M.I., Baishnab M., 2020. Importance of intercropping for biodiversity conservation. *J. Sci. Technol. Environ.* 10, 709-716.
- [116] Malcomson A., Mourtzinis S., Gaska J., Roth A., Silva T.S., Conley S., 2025. Relay-intercropping soybean and winter wheat in Wisconsin. *Crop Forage Turfgrass Manag.* 11(2), e70059.
- [117] Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier-Lafontaine H., Rapidel B., de Tourdonnet S., Valantin-Morison M., 2009. Mixing plant species in cropping systems: Concepts, tools and models – A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 43-62.
- [118] Mamine F., Farès M., 2020. Barriers and Levers to Developing Wheat–Pea Intercropping in Europe: A Review. *Sustainability* 12(17), 6962.

- [119] Manevska-Tasevska G., Huang V.W., Chen Z., Jäck O., Adam N., Ha T.M., Weih M., Hansson H., 2024. Economic outcomes from adopting cereal-legume intercropping practices in Sweden. *Agric. Syst.* 220, 104064.
- [120] Manoj K.N., Shekara B.G., Sridhara S., Jha P.K., Prasad P.V., 2021. Biomass quantity and quality from different year-round cereal–legume cropping systems as forage or fodder for livestock. *Sustainability* 13(16), 9414.
- [121] Markowski P., Choszcz D., Kaliniewicz Z., Golder M., Akielewicz A., 2013. Analiza porównawcza jakości siewu nasion pszenicy siewnikiem uniwersalnym i agregatem uprawowo-siewnym. *Inżynieria Rolnicza* 17(4,1), 213-222.
- [122] Marks M., Jastrzębska M., Kostrzevska M., Rychcik B., 2020. Doświadczalnictwo rolnicze Katedry Agroekosystemów Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie w latach 1951-2020. [W:] 100 lat doświadczalnictwa rolniczego na Wydziale Rolnictwa i Biologii SGGW, J. Łąbętowicz, A. Radecki (red.). Wyd. SGGW Warszawa.
- [123] Marks M., Markowski M., 2012. Postęp w produkcji roślinnej i jego wpływ na krajobraz rolniczy. *Acta Sci. Pol. Administratio Locorum* 11(2), 145-151.
- [124] Martinez D.A., Gathorne-Hardy A., Smith B.M., 2024. Impacts of polycultural cropping on crop yields and biodiversity: A systematic map protocol. *Ecol. Solut. Evid.* 5(3), e12349.
- [125] Martin-Guay M.O., Paquette A., Dupras J., Rivest D., 2018. The new green revolution: sustainable intensification of agriculture by intercropping. *Sci. Total Environ.* 615, 767-772.
- [126] Masilamani P., Venkatesan S., Navamaniraj K.N., Rajarathinam P., Alagesan A., Thiagu K., 2023. Impact of the orientation of seed placement and depth of its sowing on germination: A review. *J. Appl. Nat. Sci.* 15(1), 314.
- [127] Mazurenko B., Sani M.N.H., Litvinov D., Kalenska S., Kovalenko V., Shpakovych I., Pikovska O., Gordienko L., Hong Yong J.W., Ghaley B.B., Tonkha O., 2025. Biostimulants-induced improvements in pea-barley intercropping systems: A study of biomass and yield optimization under Ukrainian climatic conditions. *J. Agric. Food Res.* 22, 102074.
- [128] McAlvay A.C., DiPaola A., D'andrea A.C., Ruelle M.L., Mosulishvili M., Halstead P., Power A.G., 2022. Cereal species mixtures: an ancient practice with potential for climate resilience. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 42(5), 100.
- [129] McAuley W.P., Bourgault M., Congreves K.A., 2025. Productivity, soil fertility and soil health benefits associated with intercropping small grains and oilseeds with legumes in the semi-arid environment of the Canadian Prairies. *Agric. Ecosyst. Environ.* 389, 109694.

- [130] McPhee C.S., Aarssen L.W., 2001. The separation of above-and below-ground competition in plants a review and critique of methodology. *Plant Ecol.* 152(2), 119-136.
- [131] Meena H., Patra P.S., Adhikary P., Ahmed A.S., Khoroar S., Deb S., Rahman F.H., Tamang A., Das B., Somondal P., 2025. Optimizing resources for sustainable maize production under different intercrop association in eastern sub Himalayan region of India. *Front. Sustain. Food Syst.* 9, 1584085.
- [132] Michalitsis A., Papakaloudis P., Pankou C., Lithourgidis A., Dordas C., 2025. Sustainable Intensification of Olive Agroecosystems via Barley, Triticale, and Pea Intercropping. *Agronomy* 15(10), 2333.
- [133] Michalitsis A., Papakaloudis P., Pankou C., Lithourgidis A., Menexes G., Dordas C., 2024. Effect of Cultivar on Faba Bean–Wheat Intercrop Productivity under a Mediterranean Environment. *Agronomy* 14(1), 70.
- [134] Mir M.S., Saxena A., Kanth R.H., Raja W., Dar K.A., Mahdi S.S., Bhat T.A., Naikoo N.B., Nazir A., Amin Z., Mansoor T., Myint M.Z., Khan M.R., Mohammad I., Mir S.A., 2022. Role of intercropping in sustainable insect-pest management: a review. *Int. J. Environ. Clim. Change* 12(11), 3390-3404.
- [135] Mondal M.F., Asaduzzaman M.D., Asao T., 2015. Adverse effects of allelopathy from legume crops and its possible avoidance. *Am. J. Plant Sci.* 6(6), 804-810.
- [136] Mouradi M., Farissi M., Makoudi B., Bouizgaren A., Ghoulam C., 2018. Effect of faba bean (*Vicia faba* L.)–rhizobia symbiosis on barley's growth, phosphorus uptake and acid phosphatase activity in the intercropping system. *Ann. Agrar. Sci.* 16(3), 297-303.
- [137] Moon D.C., Moon J., Keagy A., 2010. Direct and indirect interactions. *Nat. Educ. Knowl.* 3(10), 50.
- [138] Musa M., Leitch M.H., Iqbal M., Sahi F.U.H., 2010. Spatial arrangement affects growth characteristics of barley-pea intercrops. *Int. J. Agric. Biol.* 12(5), 685-690.
- [139] Mühlbachová G., Čepková P.H., Capouchová I., Konvalina P., Vavera R., Janovská D. 2022. Yields and quality of spring wheat grain in intercropping system with different legume species. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)*, 68(4), 176-190.
- [140] Noworolnik K., 2010. Yield of barley–pea and oat–pea mixtures depending on nitrogen rate and soil condition. *Acta Sci. Pol. Agricultura* 9(3), 53-60.
- [141] Ouellette M.A., Ouellette L.A., 2024. Weed and yield of different field pea seed rates and carryover effect of ALS inhibitor herbicides applied in preceding wheat crop. *Crop Prot.* 186, 106911.
- [142] Özköse A., 2017. Effect of sowing depth on yield and some yield components of pea genotypes. *Sak. Univ. J. Sci.* 21(6), 1188-1200.

- [143] Pagès L., Becel C., Boukeim H., Moreau D., Nguyen C., Voisin A.-S., 2014. Calibration and evaluation of ArchiSimple, a simple model of root system architecture. *Ecol. Modell.* 290, 76-84.
- [144] Pankou C., Lithourgidis A., Menexes G., Dordas C., 2022. Importance of selection of cultivars in wheat–pea intercropping systems for high productivity. *Agronomy* 12(10), 2367.
- [145] Paul M.R., Demie D.T., Seidel S.J., Doering T.F., 2025. Effects of spring wheat/faba bean mixtures on early crop development. *Plant Soil* 506(1), 311-326.
- [146] Pavlenko M., Kovalenko V., Pikovska O., Tonkha O., 2025. Productivity of binary crops under the application of different cultivation technology elements. *Plant and Soil Science* 1(16), 61-73.
- [147] Peix A., Ramírez-Bahena M.H., Velázquez E., Bedmar E.J., 2015. Bacterial associations with legumes. *Crit. Rev. Plant Sci.* 34(1-3), 17-42.
- [148] Pelzer E., Hombert N., Jeuffroy M.H., Makowski D., 2014. Meta-analysis of the effect of nitrogen fertilization on annual cereal–legume intercrop production. *Agron. J.* 106(5), 1775-1786.
- [149] Płaza A., Gąsiorowska B., Rzążewska E., 2020. Post-harvest residues of field pea/spring rye mixtures as a valuable source of biological nitrogen for winter triticale. *Acta Agric. Scand. Sect. B Soil Plant Sci.* 70(7), 541-549.
- [150] Płaza A., Górski R., 2024. The effect of field pea grown in mixtures with spring triticale on the content of total protein and amino acids. *Crop Pasture Sci.* 75(2), CP23153.
- [151] Podgórska-Lesiak M., Sobkowicz P., 2013. Prevention of pea lodging by intercropping barley with peas at different nitrogen fertilization levels. *Field Crops Res.* 149, 95-104.
- [152] Pöttsch F., Lux G., Lewandowska S., Bellingrath-Kimura S.D., Schmidtke K., 2019. Optimizing relative seed frequency of intercropped pea and spring barley. *Eur. J. Agron.* 105, 32-40.
- [153] Priyanka R., Lal G.M., 2021. Genetic diversity studies in field pea (*Pisum sativum* var. *arvense* L.) germplasm. *Int. J. Plant Soil Sci.* 33, 163-169.
- [154] Prusiński J., Borowska M., 2023. Wpływ odmiany i terminu siewu na przezimowanie i plonowanie grochu siewnego (*Pisum sativum* L.) w województwie kujawsko-pomorskim. *Agron. Sci.* 78(4), 47-61.
- [155] Qiu Y., Wang Z., Sun D., Lei Y., Li Z., Zheng Y., 2025. Advances in Water and Nitrogen Management for Intercropping Systems: Crop Growth and Soil Environment. *Agronomy*, 15(8), 2000.
- [156] Rahman M.Z., Akter S., Keitel C., Dijkstra F.A., 2025. Benefits of phosphorus fertilization in intercropping depend on cropping system: A meta-analysis. *Plant Soil* 515, 1999-2013.
- [157] Raseduzzaman M.D., Jensen E.S., 2017. Does intercropping enhance yield stability in arable crop production? A meta-analysis. *Eur. J. Agron.* 91, 25-33.

- [158] Rateb M., Hussain W.S., Abobatta W.F., 2025. Effectiveness of Peas aqueous extracts on germination and growth of two Wheat cultivars. *Journal of Agricultural Sciences and Sustainable Development* 2(2), 105-113.
- [159] Raza M.A., Feng L.Y., Iqbal N., Ahmed M., Chen Y.K., Khalid M.H.B., Mohi Ud Din A., Khan A., Ijaz W., Hussain A., Jamil M.A., Naeem M., Bhutto S.H., Ansar M., Yang F., Yang W., 2019. Growth and development of soybean under changing light environments in relay intercropping system. *PeerJ* 7, 7262.
- [160] Rodriguez C., Carlsson G., Englund J.E., Flöhr A., Pelzer E., Jeuffroy M.H., Makowski D., Jensen E.S., 2020. Grain legume-cereal intercropping enhances the use of soil-derived and biologically fixed nitrogen in temperate agroecosystems. A meta-analysis. *Eur. J. Agron.* 118, 126077.
- [161] Romaneckas K., Steponavičius D., Jasinskas A., Kazlauskas M., Naujokienė V., Bručienė I., Švereikaitė A., Šarauskis E., 2022. How to Analyze, Detect and Adjust Variable Seedbed Depth in Site-Specific Sowing Systems: A Case Study. *Agronomy* 12(5), 1092.
- [162] Rudnicki F., Gałęzewski L., 2008. Efekty brzegowe w doświadczeniach z mieszankami owsa i łubinu żółtego. Cz. II. Reakcje owsa i łubinu w mieszankach i siewach czystych na sąsiedztwo ścieżek w doświadczeniu. *Acta Sci. Pol. Agricultura* 7(4), 87-94.
- [163] Rudnicki F., Kotwica K., 2007. Oddziaływanie konkurencyjne między zbożami jarymi i łubinami w mieszankach oraz efekty produkcyjne uprawy mieszanek na glebie kompleksu żytniego bardzo dobrego. *Fragm. Agron.* 4(96), 145-152.
- [164] Rutkowska A., Pikuła D., 2016. Efficacy of 15N-nitrogen in fertilization of pea mixtures with wheat, barley, and oats. *Plant Soil Environ.* 62, 8, 367-372.
- [165] Rühlemann L., Schmidtke K., 2015. Evaluation of monocropped and intercropped grain legumes for cover cropping in no-tillage and reduced tillage organic agriculture. *Eur. J. Agron.* 65, 83-94.
- [166] Sahota T.S., Malhi S.S., 2012. Intercropping barley with pea for agronomic and economic considerations in northern Ontario. *Agric. Sci.* 3, 889-895.
- [167] Salinas-Roco S., Morales-González A., Espinoza S., Pérez-Díaz R., Carrasco B., del Pozo A., Cabeza R.A., 2024. N₂ Fixation, N Transfer, and Land Equivalent Ratio (LER) in Grain Legume–Wheat Intercropping: Impact of N Supply and Plant Density. *Plants* 13(7), 991.
- [168] Sánchez-Navarro V., Marcos-Pérez M., Contreras J., Zornoza R., 2024. Biological nitrogen fixation and intra-and interspecific competition in two vegetable/legume intercropping systems and their relationship to crop yield. *Sci. Hortic.* 337, 113502.
- [169] Scalise A., Tortorella D., Pristeri A., Petrovičová B., Gelsomino A., Lindström K., Monti M., 2015. Legume–barley intercropping stimulates soil N supply and crop yield in the succeeding durum wheat in a rotation under rainfed conditions. *Soil Biol. Biochem.* 89, 150-161.

- [170] Scavo A., Restuccia A., Mauromicale G., 2018. Allelopathy: principles and basic aspects for agroecosystem control. [In:] Sustainable agriculture reviews 28: Ecology for agriculture, S. Gaba, B. Smith, E. Lichtfouse (eds), Cham: Springer International Publishing.
- [171] Schoeny A., Jumel S., Rouault F., Lemarchand E., Tivoli B., 2010. Effect and underlying mechanisms of pea-cereal intercropping on the epidemic development of ascochyta blight. *Eur. J. Plant Pathol.* 126(3), 317-331.
- [172] Seyedi S.M., Hamzei J., 2020. Evaluation of advantageous of sunflower-grain legume intercropping. *Electron. J. Crop Prod.* 13(1), 85-98.
- [173] Shankar S., Haque E., Ahmed T., Kiran G.S., Hassan S., Selvin J., 2020. Rhizobia-legume symbiosis during environmental stress. [In:] *Symbiotic Soil Microorganisms: Biology and Applications*, N. Shrivastava, S. Mahajan, A. Varma (eds), Cham: Springer International Publishing.
- [174] Singh A., Schöb C., Iannetta P.P.M., 2023. Nitrogen fixation by common beans in crop mixtures is influenced by growth rate of associated species. *BMC Plant Biol.* 23, 253.
- [175] Smagacz J., 2020. Kierunki rozwoju różnych systemów uprawy roli w warunkach zmieniającego się klimatu. *Studia i Raporty IUNG-PIB* 62(16), 149-167.
- [176] Sobkowicz P., 2001. Nadziemna i podziemna konkurencja między jęczmieniem i owsem w mieszance w początkowym okresie wzrostu. *Fragm. Agron.* 2(70), 103-119.
- [177] Sobkowicz P., 2003. Interspecific competition in mixtures of spring cereals. *Zesz. Nauk. UP Wroc. Rozprawy*, 458194.
- [178] Sobkowicz P., Tendziagolska E., Lejman A., Łagocka A., 2015. Wpływ metod siewu jęczmienia w mieszance z grochem na plon białka *Zesz. Nauk. UP Wroc., Rol. CXII*, 611, 65-76.
- [179] Sohail S., Ansar M., Skalicky M., Wasaya A., Soufan W., Ahmad Yasir T., El-Shehawi A.M., Brestic M., Sohikul Islam M., Ali Raza M., EL Sabagh A., 2021. Influence of Tillage Systems and Cereals-Legume Mixture on Fodder Yield, Quality and Net Returns under Rainfed Conditions. *Sustainability* 13(4), 2172.
- [180] Soufan W., Al-Suhaibani N.A., 2021. Optimizing yield and quality of silage and hay for pea-barley mixtures ratio under irrigated arid environments. *Sustainability* 13(24), 13621.
- [181] Stambulska U.Y., Bayliak M.M., 2020. Legume-rhizobium symbiosis: secondary metabolites, free radical processes, and effects of heavy metals. [In:] *Co-evolution of secondary metabolites*, J.-M. Merillon, K.G. Ramawat, Cham: Springer International Publishing.
- [182] Stefan L., Strebel S., Camp K.H., Christinat S., Fossati D., Städeli C., Häner L.L., 2025. Multi-trait assessment of wheat variety mixtures performance and stability: Mixtures for the win!. *Eur. J. Agron.* 164, 127504.

- [183] Stirnemann E.M, Sasse J., 2025. How to harness the effects of exudates and microbes that support beneficial plant–plant interactions for sustainable agriculture. *PLoS Biol.* 23(10), e3003416.
- [184] Sułek A., Ogórkiewicz M., 2020. Impact of sowing depth and seed size on the dynamics of germination and productivity of spring wheat. *Pol. J. Agron.* 43, 63-69.
- [185] Szczepanek M., Błaszczyk K., Piekarczyk M., 2025. The Spatial Distribution of Nutrients in the Soil, Their Uptake by Plants, and Green Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Yield Under the Strip-Tillage System. *Agronomy* 15(2), 382.
- [186] Szempliński W., Budzyński W., 2011. Cereal mixtures in polish scientific literature in the period 2003-2007. Review article. *Acta Sci. Pol. Agricultura* 10(2), 127-140.
- [187] Szpunar-Krok E., Bobrecka-Jamro D., Buczek J., Noworol M., 2012. Przydatność nowych rodów grochu siewnego (*Pisum sativum* L.) do uprawy w warunkach Podkarpacia. *Fragm. Agron.* 29(4), 174-182.
- [188] Šarūnaitė L., Toleikienė M., Arlauskienė A., Razbadauskienė K., Deveikytė I., Supronienė S., Semaškienė R., Kadžiulienė Ž., 2022. Effects of Pea (*Pisum sativum* L.) Cultivars for Mixed Cropping with Oats (*Avena sativa* L.) on Yield and Competition Indices in an Organic Production System. *Plants* 11(21), 293.
- [189] Świtek S., Majchrzycki W., Taras A., Piechota T., 2024. Relay Intercropping of Soybean and Winter Barley in Polish Climatic Conditions – Importance of Strip Width and Yearly Weather. *Agronomy* 14(11), 2736.
- [190] Tang Y., Qiu Y., Li Y., Xu H., Li X.F., 2025. Research on intercropping from 1995 to 2021: a worldwide bibliographic review. *Plant Soil* 506(1), 7-25.
- [191] Tang X., Zhang C., Yu Y., Shen J., van der Werf W., Zhang F., 2021. Intercropping legumes and cereals increases phosphorus use efficiency; a meta-analysis. *Plant Soil* 460(1), 89-104.
- [192] Tavoletti S., Cocco S., Corti G., 2023. Comparisons among barley-pea mixed crop combinations in a replacement design as related to N fertilization and soil variation. *Sci. Rep.* 13(1), 15825.
- [193] Tavoletti S., Merletti A., 2022. A comprehensive approach to evaluate durum wheat–faba bean mixed crop performance. *Front. Plant Sci.* 13, 733116.
- [194] Teklemariam E., Yoseph T., Ayalew T., 2025. Agronomic performance and profitability of maize and cowpea intercropping as affected by increased rows of cowpea in Ethiopia. *Crop Forage Turfgrass Manag.* 11(1), e70047.
- [195] Thilakarathna M.S., McElroy M.S., Chapagain T., Papadopoulos Y.A., Raizada M.N., 2016. Belowground nitrogen transfer from legumes to non-legumes under managed herbaceous cropping systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 36(4), 58.

- [196] Thiyaam R., Yadav B., Rai P.K., 2017. Effect of seed size and sowing depth on seedling emergence and seed yield of pea (*Pisum sativum*). *J. Pharmacogn. Phytochem.* 6(4), 1003-1005.
- [197] Tratwal A., Strażyński P., Mrówczyński M., 2018. *Metodyka integrowanej ochrony mieszanek zbożowych*. IOR-PIB Poznań.
- [198] Tzemi D., Peltonen-Sainio P., Palosuo T., Rämö J., Lehtonen H., 2025. Profitability of intercropping legumes with cereals: A farm-level analysis. *J. Agric. Food Res.* 21, 101804.
- [199] van Oort P.A.J., Gou F., Stomphand T.J., van der Werf W., 2020. Effects of strip width on yields in relay-strip intercropping: a simulation study. *Eur. J. Agron.* 112, 125936.
- [200] Vályi-Nagy M., Kristó I., Tar M., Rácz A., Szentpéteri L., Irmes K., Kovács G.P., Ladányi M., 2024. Competition indices and economic benefits winter wheat and winter peas in mixed cropping. *Agronomy* 14, 786.
- [201] Vályi-Nagy M., Rácz A., Irmes K., Szentpéteri L., Tar M., Kassai K.M., Kristó I., 2023. Evaluation of the development process of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and winter Pea (*Pisum sativum* L.) in intercropping by yield components. *Agronomy* 13(5), 1323.
- [202] Verret V., Pelzer E., Bedoussac L., Jeuffroy M.H., 2020. Tracking on-farm innovative practices to support crop mixture design: The case of annual mixtures including a legume crop. *Eur. J. Agron.* 115, 126018.
- [203] Villegas-Fernández Á.M., Amarna A.A., Moral J., Rubiales D., 2021. Crop Diversification to Control Powdery Mildew in Pea. *Agronomy* 11(4), 690.
- [204] Vlahova V., 2022. Intercropping-an opportunity for sustainable farming systems. A review. *Sci. Papers Ser. A. Agron.* 65(1).
- [205] Vonzun S., Schneider M., Gfeller V., Hohmann P., Haug B., Meyer M., Messmer M.M., 2024. Implications of Pea–Barley-Mixed Cropping on Gross Margin, Root Rot Infestation, and Nitrogen Supply—A Swiss Case Study. *Legume Sci.* 6(4), e70014.
- [206] Wang B., Deng J., Wang T., Ni W., Feng Q., Lan J., 2022. Effect of seeding options on interspecific competition in oat (*Avena sativa* L.)–common vetch (*Vicia sativa* L.) forage crops. *Agronomy* 12(12), 3119.
- [207] Wang Y., Han X., Zhao X., Zhang Y., Qi B., Li L., 2024a. Grain yield and interspecific competition in an oat-common vetch intercropping system at varying sowing density. *Front. Plant Sci.* 15, 1344110.
- [208] Wang W., Li M.-Y., Zhang W., Khan A., Zhou R., Zhu S.-G., Wang B.-Z., Yang Y.-M., Tao H.-Y., Li W.-B., Xiong Y.C., 2024b. Soil moisture drives the shift from selection to complementarity effect in the rainfed maize/faba bean intercropping system. *Plant Soil* 499(1), 313-328.
- [209] Wanic M., Myśliwiec M., Orzech K., Denert M., 2017. Zawartość i pobieranie fosforu, potasu i magnezu przez pszenicę jară i wsiewkę koniczniny perskiej w zależności od zagęszczenia roślin. *Acta Agrophys.* 24(1), 149-162.

- [210] Weeraratne L.V.Y., Marambe B., Chauhan B.S., 2017. Does intercropping play a role in alleviating weeds in cassava as a non-chemical tool of weed management? – A review. *Crop Prot.* 95, 81-88.
- [211] Weigelt A., Jolliffe P., 2003. Indices of plant competition. *J. Ecol.* 91, 707-720.
- [212] Weih M., Karley A.J., Newton A.C., Kiær L.P., Scherber C., Rubiales D., Adam E., Ajal J., Brandmeier J., Pappagallo S., Villegas-Fernández A., Reckling M., Tavoletti S., 2021. Grain Yield Stability of Cereal-Legume Intercrops Is Greater Than Sole Crops in More Productive Conditions. *Agriculture* 11(3), 255.
- [213] Weißhuhn P., Reckling M., Stachow U., Wiggering H., 2017. Supporting Agricultural Ecosystem Services through the Integration of Perennial Polycultures into Crop Rotations. *Sustainability* 9(12), 2267.
- [214] Wiech K., Kałmuk J., 2005. Uprawy współrzędne sposobem na urozmaicenie agrocenoz i zmniejszenie użycia pestycydów. [W:] *Ochrona Środowiska Naturalnego w XXI wieku – nowe wyzwania i zagrożenia*, Wyd. AR Kraków.
- [215] Wiśniewska M., Boros D., Zych J., 2020. Wartość pokarmowa wybranych mieszanek zbóż jarych z roślinami bobowatymi grubonasiennymi. *Biul. Inst. Hod. Aklim. Rośl.* 289, 51-62.
- [216] Wojciechowski W., Gajewska A., 2018. Następce oddziaływanie międzyplonów i uprawy roli na zdrowotność pszenżyta ozimego. *Fragm. Agron.* 35(4), 138-144.
- [217] Wu D.-T., Li W.-X., Wan J.-J., Hu Y.-C., Gan R.-Y., Zou L., 2023. A Comprehensive Review of Pea (*Pisum sativum* L.): Chemical Composition, Processing, Health Benefits, and Food Applications. *Foods* 12(13), 2527.
- [218] Xiao J.X., Zhu Y.A., Bai W.L., Liu Z.Y., Tang L., Zheng Y., 2021. Yield performance and optimal nitrogen and phosphorus application rates in wheat and faba bean in tercropping. *J. Int. Agr.* 20, 3012-3025.
- [219] Yemadje P.L., Akpilo T.M., Imorou L., Sekloka E., Tittonell P., 2025. No-tillage and intercropping improve the yield and profitability of maize-cotton rotations in Northern Benin. *Exp. Agric.* 61, e23.
- [220] Yin W., Chai Q., Zhao C., Yu A., Fan Z., Hu F., Fan H., Guo Y., Coulter J.A., 2020. Water utilization in intercropping: A review. *Agric. Water Manag.* 241, 106335.
- [221] Yu R.P., Dresbøll D.B., Finckh M.R., Justes E., Van Der Werf W., Fletcher A., Carlsson G., Li L., 2025. Intercropping: Ecosystem functioning and sustainable agriculture. *Plant Soil* 506(1), 1-6.
- [222] Yu Y., Stomph T.J., Makowski D., Zhang L., van Der Werf W., 2016. A meta-analysis of relative crop yields in cereal/legume mixtures suggests options for management. *Field Crops Res.* 198, 269-279.

- [223] Zakirullah M., Khalid S., Wahab F., 2024. Influence of climate smart agriculture approach of barley and pea intercropping on yield, land equivalent ratio and profitability in the agro-climatic condition of Khyber Pakhtunkhwa. *Pure Appl. Biol.* 13(3), 335-340.
- [224] Zbiorowa praca, 2022. Soja i inne rośliny strączkowe–uprawa, odmiany, nawożenie, zbiór, wiedza praktyków: bobik, groch, łubin. Agro Wydawnictwo Sp. z oo.
- [225] Zhang C., Dong Y., Tang L., Zheng Y., Makowski D., Yu Y., Zhang F., van Der Werf W., 2019. Intercropping cereals with faba bean reduces plant disease incidence regardless of fertilizer input; a meta-analysis. *Eur. J. Plant Pathol.* 154(4), 931-942.
- [226] Ziemińska J., Tkaczuk C., 2017. Wpływ terminu siewu i odmiany na plonowanie jęczmienia jarego w warunkach środkowo-wschodniej Polski. *Fragm. Agron.* 34(1), 126-134.
- [227] Zimny L., 1995. Mały leksykon rolniczy. PWN Warszawa
- [228] Zohry A., Samiha O., 2025. Legume crops enhance water use efficiency under intercropping system with wheat. *Moroccan J. Agric. Sci.* 6(3), 145-160.
- [229] Zustovi R., Landschoot S., Dewitte K., Verlinden G., Dubey R., Maenhout S., Haesaert G., 2024. Intercropping indices evaluation on grain legume-small grain cereals mixture: a critical meta-analysis review. *Agron. Sustain. Dev.* 44(1), 5.
- [230] Živanov D., Jevtić R., Tančić S., Vasiljević S., Maširević S., 2014. Control of winter forage pea diseases by pea-oat intercropping under field conditions. *Pestic. Phytomed.* 29, 131-136.

Informacyjne strony internetowe:

- <https://chemirol.com.pl>, dostęp 6.06.2025
- <https://chrzastowo.coboru.gov.pl/>, dostęp 28.11.2025
- <https://hr-strzelce.pl>, dostęp 6.06.2025
- <https://phr.pl>, dostęp 7.06.2025
- <https://www.coboru.gov.pl/>, dostęp 6.06.2025
- <https://www.gov.pl/web/piorin/metodyki-ip>, dostęp 25.11.202
- <https://www.hrsmolice.pl>, dostęp 6.06.2025
- <https://www.notowania.kpodr.pl/>, dostęp 20.11.2025
- <https://www.saaten-union.pl>, dostęp 7.06.2025

SPIS TABEL

Tabela 1. Wybrane cechy biologiczne i gospodarcze odmian jęczmienia jarego	31
Tabela 2. Wybrane cechy biologiczne i gospodarcze odmian grochu siewnego.....	31
Tabela 3. Uziarnienie i właściwości agrochemiczne gleby	32
Tabela 4. Warunki meteorologiczne w miesiącach poprzedzających realizację doświadczeń polowych i w okresie wegetacji roślin	33
Tabela 5. Obsada roślin jęczmienia jarego (szt. m ⁻²) w mieszankach współrzędnych i na przemian rzędowych z grochem siewnym	50
Tabela 6. Obsada roślin grochu siewnego (szt. m ⁻²) w mieszankach współrzędnych i na przemian rzędowych z jęczmieniem jarym.....	51
Tabela 7. Polowa zdolność wschodów jęczmienia jarego (%) w siewie jednogatunkowym i mieszankach z grochem siewnym w latach badań	51
Tabela 8. Polowa zdolność wschodów grochu siewnego (%) w siewie jednogatunkowym i mieszankach z jęczmieniem jarym w latach badań....	52
Tabela 9. Plon zielonej masy (t ha ⁻¹) jęczmienia jarego i grochu siewnego w siewach czystych oraz ich mieszanek w fazie BBCH 51-61	54
Tabela 10. Plon zielonej masy (t ha ⁻¹) jęczmienia jarego jako komponentu mieszanek z grochem siewnym w fazie BBCH 51-61	54
Tabela 11. Plon zielonej masy (t ha ⁻¹) grochu siewnego jako komponentu mieszanek z jęczmieniem jarym w fazie BBCH 51-61	55
Tabela 12. Udział (%) komponentów w plonie zielonej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61 w latach badań.....	55
Tabela 13. Zawartość suchej masy (%) w zielonej masie jęczmienia jarego i grochu siewnego w siewach czystych oraz ich mieszanek w fazie BBCH 51-61	57
Tabela 14. Plon suchej masy (t ha ⁻¹) jęczmienia jarego i grochu siewnego w siewach czystych oraz ich mieszanek w fazie BBCH 51-61	58
Tabela 15. Plon suchej masy (t ha ⁻¹) jęczmienia jarego jako komponentu mieszanek z grochem siewnym w fazie BBCH 51-61	58
Tabela 16. Plon suchej masy (t ha ⁻¹) grochu siewnego jako komponentu mieszanek z jęczmieniem jarym w fazie BBCH 51-61	59
Tabela 17. Udział (%) komponentów w plonie suchej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61 w latach badań	59
Tabela 18. Zawartość białka (%) w suchej masie jęczmienia jarego i grochu siewnego w siewach czystych oraz ich mieszanek w fazie BBCH 51-61	61
Tabela 19. Plon białka (t ha ⁻¹) suchej masy jęczmienia jarego i grochu siewnego w siewach czystych oraz ich mieszanek w fazie BBCH 51-61	62

Tabela 20.	Plon białka ($t\ ha^{-1}$) suchej masy jęczmienia jarego jako komponentu mieszanek z grochem siewnym w fazie BBCH 51-61	62
Tabela 21.	Plon białka ($t\ ha^{-1}$) suchej masy grochu siewnego jako komponentu mieszanek z jęczmieniem jarym w fazie BBCH 51-61	63
Tabela 22.	Udział (%) komponentów w plonie białka suchej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61 w latach badań.....	63
Tabela 23.	Plon suchej masy ($t\ ha^{-1}$) jęczmienia jarego i grochu siewnego w siewach czystych i ich mieszanek w fazie BBCH 89	65
Tabela 24.	Plon suchej masy ($t\ ha^{-1}$) jęczmienia jarego jako komponentu mieszanek z grochem siewnym w fazie BBCH 89	65
Tabela 25.	Plon suchej masy ($t\ ha^{-1}$) grochu siewnego jako komponentu mieszanek z jęczmieniem jarym w fazie BBCH 89.....	66
Tabela 26.	Udział (%) komponentów w plonie suchej masy mieszanek w fazie BBCH 89 w latach badań	66
Tabela 27.	Zawartość białka (%) w suchej masie jęczmienia jarego i grochu siewnego w zasiewach czystych i ich mieszanek w fazie BBCH 89	68
Tabela 28.	Plon białka ($t\ ha^{-1}$) suchej masy jęczmienia jarego i grochu siewnego w siewach czystych i ich mieszanek w fazie BBCH 89	69
Tabela 29.	Plon białka ($t\ ha^{-1}$) suchej masy jęczmienia jarego jako komponentu mieszanek z grochem siewnym w fazie BBCH 89	69
Tabela 30.	Plon białka ($t\ ha^{-1}$) suchej masy grochu siewnego jako komponentu mieszanek z jęczmieniem jarym w fazie BBCH 89.....	70
Tabela 31.	Udział (%) komponentów w plonie białka suchej masy mieszanek w fazie BBCH 89 w latach badań.....	70
Tabela 32.	Plon ziarna/nasion ($t\ ha^{-1}$) jęczmienia jarego i grochu siewnego w siewach czystych i ich mieszanek.....	72
Tabela 33.	Plon ziarna ($t\ ha^{-1}$) jęczmienia jarego jako komponentu mieszanek z grochem siewnym	73
Tabela 34.	Plon nasion ($t\ ha^{-1}$) grochu siewnego jako komponentu mieszanek z jęczmieniem jarym	73
Tabela 35.	Udział (%) komponentów w plonie ziarna/nasion mieszanek w latach badań	74
Tabela 36.	Zawartość białka (%) w ziarnie/nasionach jęczmienia jarego i grochu siewnego w siewach czystych i ich mieszanek	76
Tabela 37.	Plon białka ($t\ ha^{-1}$) ziarna/nasion jęczmienia jarego i grochu siewnego w siewach czystych i ich mieszanek.....	77
Tabela 38.	Plon białka ($t\ ha^{-1}$) ziarna jęczmienia jarego jako komponentu mieszanek z grochem siewnym	78
Tabela 39.	Plon białka ($t\ ha^{-1}$) nasion grochu siewnego jako komponentu mieszanek z jęczmieniem jarym	78

Tabela 40.	Udział (%) komponentów w plonie białka ziarna/nasion mieszanek w latach badań	78
Tabela 41.	Wskaźnik ekwiwalentu gruntu (LER) dla plonów komponentów mieszanek w fazie BBCH 51-61	81
Tabela 42.	Wskaźnik ekwiwalentu gruntu (LER) dla plonów komponentów mieszanek w fazie BBCH 89	84
Tabela 43.	Wskaźnik ekwiwalentu gruntu (LER) dla plonów ziarna, nasion i białka komponentów mieszanek.....	86
Tabela 44.	Wskaźnik wydajności upraw (CPR) dla plonów komponentów mieszanek w fazie BBCH 51-61	88
Tabela 45.	Wskaźnik wydajności upraw (CPR) dla plonów komponentów mieszanek w fazie BBCH 89	91
Tabela 46.	Wskaźnik wydajności upraw (CPR) dla plonów ziarna, nasion i białka komponentów mieszanek.....	93
Tabela 47.	Wskaźnik rzeczywistej straty plonu (AYL) komponentów mieszanek w fazie BBCH 51-61	96
Tabela 48.	Wskaźnik rzeczywistej straty plonu (AYL) komponentów mieszanek w fazie BBCH 89	99
Tabela 49.	Wskaźnik rzeczywistej straty plonów (AYL) ziarna, nasion i białka komponentów mieszanek	101
Tabela 50.	Wskaźnik konkurencyjności (CR) komponentów mieszanek w fazie BBCH 51-61 w latach badań	103
Tabela 51.	Wskaźnik konkurencyjności (CR) komponentów mieszanek w fazie BBCH 89 w latach badań	106
Tabela 52.	Wskaźnik konkurencyjności (CR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu ziarna, nasion i białka w latach badań	108
Tabela 53.	Wskaźnik agresywności (AR) komponentów mieszanek w fazie BBCH 51-61 w latach badań	111
Tabela 54.	Wskaźnik agresywności (AR) komponentów mieszanek w fazie BBCH 89 w latach badań	113
Tabela 55.	Wskaźnik agresywności (AR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu ziarna, nasion i białka w latach badań	115
Tabela 56.	Wskaźnik korzyści pieniężnej (MAI) plonu ziarna/nasion mieszanek	117
Tabela 57.	Wskaźniki walidowanego plonu względnego (PW) i względnego straty (SW) plonów zielonej i suchej masy oraz białka komponentów mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 51-61.....	119
Tabela 58.	Wskaźniki względnego oddziaływania (WO) oraz jego siły i kierunku (SK) na plony zielonej i suchej masy oraz białka komponentów mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 51-61 w latach badań	123

Tabela 59. Wskaźniki walidowanego plonu względnego (PW) i względnej straty (SW) plonów komponentów mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 89.....	126
Tabela 60. Wskaźniki względnego oddziaływania (WO) oraz jego siły i kierunku (SK) na plony suchej masy oraz białka komponentów mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 89 w latach badań ...	128
Tabela 61. Wskaźniki walidowanego plonu względnego (PW) i względnej straty (SW) plonów ziarna/nasion i białka komponentów mieszanek na przemian rzędowych	131
Tabela 62. Wskaźniki względnego oddziaływania (WO) oraz jego siły i kierunku (SK) na plony ziarna/nasion oraz białka komponentów mieszanek na przemian rzędowych	133
Tabela 63. Rzeczywista różnica wartości (RRW) plonu ziarna/nasion mieszanek ...	135

SPIS RYSUNKÓW

Rys. 1.	Pokrycie dekadowych (I, II, III) potrzeb opadowych jęczmienia jarego i grochu siewnego [Dzieżyc i in., 1987] w latach badań, w okresie ich wegetacji w siewie czystym i mieszankach.....	34
Rys. 2.	Mieszanka współrzędna jęczmienia jarego z grochem siewnym: A – faza krzewienie/rozwój liści, B – faza kłoszenie/kwitnienie, C – faza dojrzewanie	36
Rys. 3.	Mieszanka na przemian rzędowa jęczmienia jarego z grochem siewnym: A – faza krzewienie/rozwój liści, B – faza kłoszenie/kwitnienie, C – faza dojrzewanie	37
Rys. 4.	Głębokość umieszczenia ziarna jęczmienia jarego w glebie w zależności od sposobu siewu – średnio w okresie badań.....	45
Rys. 5.	Głębokość umieszczenia nasion grochu siewnego w glebie w zależności od sposobu siewu – średnio w okresie badań.....	46
Rys. 6.	Głębokość siewu ziarna jęczmienia jarego.....	47
Rys. 7.	Głębokość siewu nasion grochu siewnego	48
Rys. 8.	Obsada roślin odmian jęczmienia jarego w siewie jednogatunkowym	49
Rys. 9.	Obsada roślin odmian grochu siewnego w siewie jednogatunkowym	50
Rys. 10.	Polowa zdolność wschodów jęczmienia jarego w siewie jednogatunkowym i mieszankach z grochem siewnym – średnio w okresie badań.....	52
Rys. 11.	Polowa zdolność wschodów grochu siewnego w siewie jednogatunkowym i mieszankach z jęczmieniem jarym – średnio w okresie badań.....	53
Rys. 12.	Udział (%) komponentów w plonie zielonej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61, średnio w okresie badań.....	56
Rys. 13.	Udział (%) komponentów w plonie suchej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61, średnio w okresie badań.....	60
Rys. 14.	Udział (%) komponentów w plonie białka suchej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61, średnio w okresie badań.....	64
Rys. 15.	Udział (%) komponentów w plonie suchej masy mieszanek w fazie BBCH 89, średnio w okresie badań.....	67
Rys. 16.	Udział (%) komponentów w plonie białka suchej masy mieszanek w fazie BBCH 89, średnio w okresie badań.....	71
Rys. 17.	Udział (%) komponentów w plonie ziarna/nasion mieszanek, średnio w okresie badań.....	75
Rys. 18.	Udział (%) komponentów w plonie białka ziarna/nasion mieszanek, średnio w okresie badań	79

Rys. 19.	Wskaźnik ekwiwalentu gruntu (LER) dla plonu zielonej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61	82
Rys. 20.	Wskaźnik ekwiwalentu gruntu (LER) dla plonu suchej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61	82
Rys. 21.	Wskaźnik ekwiwalentu gruntu (LER) dla plonu białka suchej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61	83
Rys. 22.	Wskaźnik ekwiwalentu gruntu (LER) dla plonu suchej masy mieszanek w fazie BBCH 89.....	84
Rys. 23.	Wskaźnik ekwiwalentu gruntu (LER) dla plonu białka w suchej masie mieszanek w fazie BBCH 89.....	85
Rys. 24.	Wskaźnik ekwiwalentu gruntu (LER) dla plonu ziarna/nasion mieszanek	86
Rys. 25.	Wskaźnik ekwiwalentu gruntu (LER) dla plonu białka ziarna/nasion mieszanek	87
Rys. 26.	Wskaźnik wydajności upraw (CPR) dla plonu zielonej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61	89
Rys. 27.	Wskaźnik wydajności upraw (CPR) dla plonu suchej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61	90
Rys. 28.	Wskaźnik wydajności upraw (CPR) dla plonu białka suchej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61	90
Rys. 29.	Wskaźnik wydajności upraw (CPR) dla plonu suchej masy mieszanek w fazie BBCH 89	92
Rys. 30.	Wskaźnik wydajności upraw (CPR) dla plonu białka suchej masy mieszanek w fazie BBCH 89	92
Rys. 31.	Wskaźnik wydajności upraw (CPR) dla plonu ziarna/nasion mieszanek	94
Rys. 32.	Wskaźnik wydajności upraw (CPR) plonu białka ziarna/nasion mieszanek	94
Rys. 33.	Wskaźnik rzeczywistej straty plonu (AYL) zielonej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61	97
Rys. 34.	Wskaźnik rzeczywistej straty plonu (AYL) suchej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61	97
Rys. 35.	Wskaźnik rzeczywistej straty plonu (AYL) białka suchej masy mieszanek w fazie BBCH 51-61	98
Rys. 36.	Wskaźnik rzeczywistej straty plonu (AYL) suchej masy mieszanek w fazie BBCH 89	99
Rys. 37.	Wskaźnik rzeczywistej straty plonu (AYL) białka w suchej masie mieszanek w fazie BBCH 89.....	100
Rys. 38.	Wskaźnik rzeczywistej straty plonu (AYL) ziarna/nasion mieszanek	102

Rys. 39.	Wskaźnik rzeczywistej straty plonu (AYL) białka ziarna/nasion mieszanek	102
Rys. 40.	Wskaźnik konkurencyjności (CR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu zielonej masy w fazie BBCH 51-61, średnio w okresie badań	104
Rys. 41.	Wskaźnik konkurencyjności (CR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu suchej masy w fazie BBCH 51-61, średnio w okresie badań	105
Rys. 42.	Wskaźnik konkurencyjności (CR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu białka suchej masy w fazie BBCH 51-61, średnio w okresie badań	105
Rys. 43.	Wskaźnik konkurencyjności (CR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu suchej masy w fazie BBCH 89, średnio w okresie badań	107
Rys. 44.	Wskaźnik konkurencyjności (CR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu białka suchej masy w fazie BBCH 89, średnio w okresie badań	107
Rys. 45.	Wskaźnik konkurencyjności (CR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu ziarna/nasion, średnio w okresie badań	109
Rys. 46.	Wskaźnik konkurencyjności (CR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu białka ziarna/nasion, średnio w okresie badań	109
Rys. 47.	Wskaźnik agresywności (AR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu zielonej masy w fazie BBCH 51-61, średnio w okresie badań	111
Rys. 48.	Wskaźnik agresywności (AR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu suchej masy w fazie BBCH 51-61, średnio w okresie badań	112
Rys. 49.	Wskaźnik agresywności (AR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu białka suchej masy w fazie BBCH 51-61, średnio w okresie badań	112
Rys. 50.	Wskaźnik agresywności (AR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu suchej masy w fazie BBCH 89, średnio w okresie badań	114
Rys. 51.	Wskaźnik agresywności (AR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu białka suchej masy w fazie BBCH 89, średnio w okresie badań	114
Rys. 52.	Wskaźnik agresywności (AR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu ziarna/nasion, średnio w okresie badań	116
Rys. 53.	Wskaźnik agresywności (AR) komponentów mieszanek w odniesieniu do plonu białka ziarna/nasion, średnio w okresie badań	116
Rys. 54.	Wskaźniki walidowanego plonu względnego (PW) i względnej straty (SW) plonu zielonej masy mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 51-61	120

Rys. 55.	Wskaźniki walidowanego plonu względnego (PW) i względnej straty (SW) plonu suchej masy mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 51-61	121
Rys. 56.	Wskaźniki walidowanego plonu względnego (PW) i względnej straty (SW) plonu białka suchej masy mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 51-61	121
Rys. 57.	Wskaźnik względnego oddziaływania (WO) na plony zielonej i suchej masy oraz białka komponentów (J – jęczmień, G – groch) mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 51-61, średnio w okresie badań ...	124
Rys. 58.	Wskaźnik siły i kierunku oddziaływania (SK) na plony zielonej i suchej masy oraz białka komponentów (J – jęczmień, G – groch) mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 51-61, średnio w okresie badań ...	124
Rys. 59.	Wskaźniki walidowanego plonu względnego (PW) i względnej straty (SW) plonu suchej masy mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 89	127
Rys. 60.	Wskaźniki walidowanego plonu względnego (PW) i względnej straty (SW) plonu białka w suchej masie mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 89	127
Rys. 61.	Wskaźnik względnego oddziaływania (WO) na plony suchej masy oraz białka komponentów (J – jęczmień, G – groch) mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 89, średnio w okresie badań	129
Rys. 62.	Wskaźnik siły i kierunku oddziaływania (SK) na plony suchej masy oraz białka komponentów (J – jęczmień, G – groch) mieszanek na przemian rzędowych w fazie BBCH 89, średnio w okresie badań	130
Rys. 63.	Wskaźniki walidowanego plonu względnego (PW) i względnej straty (SW) plonu ziarna/nasion mieszanek na przemian rzędowych	132
Rys. 64.	Wskaźniki walidowanego plonu względnego (PW) i względnej straty (SW) plonu białka ziarna/nasion mieszanek na przemian rzędowych	132
Rys. 65.	Wskaźnik względnego oddziaływania (WO) na plony ziarna/nasion oraz białka komponentów (J – jęczmień, G – groch) mieszanek na przemian rzędowych, średnio w okresie badań	134
Rys. 66.	Wskaźnik siły i kierunku oddziaływania (SK) na plony ziarna/nasion oraz białka komponentów (J – jęczmień, G – groch) mieszanek na przemian rzędowych, średnio w okresie badań	135

STRESZCZENIE

WPLYW ROZMIESZCZENIA ROŚLIN JĘCZMIENIA JAREGO I GROCHU SIEWNEGO W ŁANIE MIESZANEK UPRAWIANYCH W TECHNOLOGII STRIP-TILL ONE-PASS NA ICH PRODUKCYJNOŚĆ I KONKURENCJĘ MIĘDZYGATUNKOWĄ

Mgr inż. Emilian Różniak

Słowa kluczowe: mieszanka współrzędna, mieszanka na przemian rzędowa, siew czysty, plony, oddziaływania między roślinami

Uprawy mieszane, w tym mieszanki zbóż jarych i roślin bobowatych grubonasiennych, są ważnym elementem bioróżnorodności agroekosystemów. Ich rola produkcyjna i środowiskowa upoważnia do dalszych badań nad doskonaleniem agrotechniki, zwłaszcza w powiązaniu z elementami postępu technicznego i technologicznego we współczesnym rolnictwie. Celem głównym badań wykonanych w latach 2023-2025 w oparciu o doświadczenie polowe była ocena wpływu rozmieszczenia roślin jęczmienia jarego i grochu siewnego, uprawianych w technologii strip-till one-pass, wynikającego ze sposobu siewu przy użyciu maszyny MZURI PRO-TIL na ich produktyjność, a także określenie skutków oddziaływań międzygatunkowych w łanach. Eksperyment polowy przeprowadzono w RZD Minikowo należącym do Politechniki Bydgoskiej, na glebie kompleksu żytniego bardzo dobrego, klasy bonitacyjnej IIIa, IIIb i w okresie o mało korzystnych warunkach opadowych. W trzyleciu od kwietnia do lipca wystąpiło 16 dekad z sumą opadów poniżej 10 mm, a dwie z nich były bezopadowe. Dwanaście obiektów doświadczalnych rozmieszczono w układzie losowanych bloków, w 4 powtórzeniach. Były nimi: siew czysty, jednogatunkowy trzech odmian jęczmienia jarego ('Ismena', 'Radek', 'Farmer') i trzech odmian grochu siewnego ('Milwa', 'Grot', 'Astronaute'); 3. mieszanki współrzędne (Ismena+Milwa, Radek+Grot, Farmer+Astronaute), gdzie w każdym rzędzie wysiewano mieszaninę ziarna i nasion; 3. mieszanki na przemian rzędowe (Ismena/Milwa, Radek/Grot, Farmer/Astronaute) z siewem osobno ziarna jęczmienia jarego i nasion grochu siewnego w na przemian położonych rzędach. Mieszanki tworzone w modelu substytucyjnym z 50% udziałem komponentów w stosunku do gęstości jęczmienia jarego w siewie czystym (300 ziaren m⁻²) i grochu w siewie jednogatunkowym (100 nasion m⁻²). Wyniki opisujące produktyjność roślin (plony zielonej i suchej masy, ziarna i nasion, białka) poddano analizie wariancji z testowaniem istotności wpływu czynnika (test F) oraz istotności różnic między obiektowych (test Tukeya). Do oceny oddziaływań roślin w łanie mieszanek w stosunku do oddziaływań w uprawach jednogatunkowych wykorzystano wskaźniki: LER, CPR, AYL, CR, AR, MAI, a do oceny

interakcji w łanach mieszanek na przemian rzędowych w odniesieniu do mieszanek współrzędnych wskaźniki: PW, SW, WO, SK i RRW.

Stwierdzono, że użycie specjalistycznej maszyny do pasowej uprawy roli i siewu umożliwia optymalizację głębokości siewu komponentów mieszanek na przemian rzędowych – płytszej dla ziarna jęczmienia i głębszej dla nasion grochu, co spowodowało, że PZW obu gatunków roślin nie odbiegała znacząco od wielkości tego parametru w siewach czystych. W fazie BBCH 51-61 plon zielonej masy mieszanek na przemian rzędowych był istotnie większy od plonu mieszanek współrzędnych, z wyjątkiem odmiany jęczmienia ‘Ismena’ z grochem ‘Milwa’, a także od plonów odmian jęczmienia jarego i grochu siewnego w uprawie jednogatunkowej. Natomiast w fazie BBCH 89 plon suchej masy odmian jęczmienia jarego w siewie czystym dorównywał plonowi mieszanek na przemian rzędowych z ich udziałem i był przy tym istotnie większy od plonu mieszanek współrzędnych i odmian grochu siewnego. Również plon ziarna/nasion i białka mieszanek na przemian rzędowych był większy niż w uprawie współrzędnej. Jednocześnie plon ziarna i nasion obu rodzajów mieszanek przewyższał plon nasion każdej odmiany grochu siewnego, a plon białka ziarna/nasion mieszanek na przemian rzędowych był istotnie większy od plonu białka nasion odpowiednich odmian grochu w siewie czystym, z wyjątkiem odmiany ‘Grot’. Umieszczenie roślin jęczmienia jarego i grochu siewnego w na przemian położonych rzędach w porównaniu do siewu współrzędnego jest dobrym sposobem zwiększenia udziału rośliny bobowatej w plonach mieszanek. Ten sposób siewu zmniejsza bowiem konkurencyjność (CR) i agresywność (AR) jęczmienia jarego w mieszkach z grochem siewnym oraz zwiększa ich produkcyjność (CPR), a także poprawia wskaźniki wykorzystania gruntu (LER) i efektu ekonomicznego uprawy (MAI, RRW).

ABSTRACT

THE EFFECT ON PRODUCTIVITY AND INTERSPECIES COMPETITION OF THE DISTRIBUTION OF SPRING BARLEY AND FIELD PEA PLANTS IN MIXED STANDS CULTIVATED USING ONE-PASS STRIP-TILL TECHNOLOGY

MSc Eng. Emilian Różniak

Keywords: mixed intercropping, row intercropping, pure sowing, yields, plant–plant interactions

Mixed crops, including mixtures of spring cereals and large-seeded leguminous plants, constitute an important aspect of biodiversity in agroecosystems. Their productive and environmental role justifies further research into agronomic improvements, especially with regard to aspects of technical and technological progress in modern agriculture. The main objective of the research conducted in 2023–25, based on a field experiment, was to evaluate the impact of the spatial distribution of spring barley and field pea plants – cultivated using one-pass strip-till technology and resulting from the sowing method employed with the MZURI PRO-TIL machine – on their productivity, as well as to determine the effects of interspecies interactions in the crop stand. The field experiment was carried out at RZD Minikowo (which belongs to Bydgoszcz University of Technology) on a very good rye complex soil (valuation class IIIa, IIIb) and in a period with unfavourable precipitation conditions. In the three-year period, April to July contained 16 ten-day periods of total rainfall below 10 mm and two of zero rainfall. Twelve experimental plots were established in a randomised block design with four replicates. These were: pure, single-species sowing of three spring barley varieties ('Ismena', 'Radek', 'Farmer') and three field pea varieties ('Milwa', 'Grot', 'Astronaute'); three mixed intercroppings (Ismena+Milwa, Radek+Grot, Farmer+Astronaute), where a mixture of grains and seeds was sown in each row; and three row intercroppings (Ismena/Milwa, Radek/Grot, Farmer/Astronaute) with spring barley seeds and field pea seeds being sown separately in alternating rows. The mixtures were created using a substitutive (replacement) design, in which each species was sown at 50% of its recommended monoculture density: spring barley at 50% of 300 grains m⁻² and field pea at 50% of 100 seeds m⁻². The results describing plant productivity (yields of green and dry matter, grain and seeds, protein) were subjected to analysis of variance including testing of the significance of the factor effect (F test) and the significance of differences between plots (Tukey's test). The impact of sowing crops in a mixed stand compared to the impact of pure sowing was assessed using the indices LER, CPR, AYL, CR, AR, MAI. The interactions in

the fields of alternating row mixtures were assessed comparatively against those of mixed intercropping, using the indices PW, SW, WO, SK and RRW.

It was found that the use of a specialised machine for strip-till cultivation and sowing enabled the sowing depth of the mixture components in alternating rows to be optimised. A shallower depth for barley grain and deeper sowing for pea seeds resulted in the PZW value of both plant species differing not significantly from the value attained in pure sowing. In the BBCH 51-61 phase, the green mass yield of the alternating row mixtures was significantly higher than the yield of the intercropping mixtures, except for the barley variety 'Ismena' with 'Milwa' pea. It was also higher than the yields of spring barley and field pea varieties in single-species cultivation. However, in the BBCH 89 phase, the dry matter yields of spring barley varieties in pure sowing were equal to their yields from row intercropping. They were also significantly higher than the yields of mixed intercropping and field pea varieties. Furthermore, the grain/seed and protein yields were higher in the row intercropping than in the mixed intercropping. At the same time, the grain and seed yields of both types of mixtures exceeded the seed yield of each field pea variety, and the grain/seed protein yield of the alternating row mixtures was significantly higher than the seed protein yield of the corresponding pea varieties in pure sowing, with the exception of the 'Grot' variety. Sowing spring barley and field pea plants in alternating rows, as opposed to mixed intercropping, is a good way to increase the share of legumes in mixture yields. This sowing method reduces the competitiveness (CR) and aggressiveness (AR) of spring barley in mixtures with field peas and increases their productivity (CPR), as well as improving the land use indicators (LER) and the economic effect of cultivation (MAI, RRW).