



Rozprawa doktorska

mgr inż. Marcin Różewicz

Wpływ zakresu uprawy późniwej na wzrost, rozwój i plonowanie wybranych odmian pszenicy ozimej wysianej metodą strip-till

Rozprawa doktorska wykonana

w Zakładzie Uprawy Roślin i Jakości Plonu

**Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowego Instytutu Badawczego
w Puławach**

Promotor: dr hab. Jerzy Grabiński, prof. IUNG-PIB

Promotor pomocniczy: dr inż. Marta Wyzińska

Puławy 2025

SPIS TREŚCI

1. Wykaz publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej.....	5
2. Wstęp.....	7
3. Hipoteza badawcza i cel badań.....	9
4. Przegląd literatury.....	10
4.1. Ogólna charakterystyka uprawy uproszczonej i strip-till.....	10
4.2. Wzrost i rozwój roślin zbożowych w zależności od sposobu uprawy roli i odmiany...	11
4.3. Plonowanie zbóż i jakość plonów w uprawie strip-till.....	12
4.4. Rola czynnika genetycznego w systemach uprawowych.....	13
5. Materiał i Metody.....	15
5.1. Charakterystyka warunków polowych i układu doświadczenia.....	15
5.2. Warunki meteorologiczne.....	17
5.3. Określenie wzrostu roślin.....	19
5.4. Parametry fotosyntezy.....	19
5.5. Indeks pokrycia liściowego (LAI).....	21
5.6. Plon i struktura plonu.....	21
5.7. Jakość plonu.....	21
5.8. Analizy statystyczne.....	21
6. Wyniki.....	22
6.1. Wpływ zakresu uprawy roli i odmiany na parametry wzrostu pszenicy ozimej.....	22
6.1.1. Plon biomasy.....	22
6.1.2. Wysokość roślin.....	22
6.1.3. Powierzchnia liścia flagowego	22
6.2. Indeks pokrycia liściowego (LAI).....	23
6.3. Wpływ zakresu uprawy i odmiany na parametry fotosyntezy.....	23
6.4. Wpływ zakresu uprawy i odmiany na plonowanie oraz strukturę plonu pszenicy ozimej.....	24
6.5. Wpływ zakresu uprawy i odmiany na jakość ziarna pszenicy ozimej.....	26

7. Dyskusja.....	27
7.1. Wpływ zakresu uprawy i odmiany na parametry wzrostu pszenicy ozimej.....	27
7.2. Indeks pokrycia liściowego (LAI).....	28
7.3. Wpływ zakresu uprawy i odmiany na parametry fotosyntezy.....	29
7.4. Wpływ zakresu uprawy i odmiany na plonowanie oraz strukturę plonu pszenicy ozimej	31
7.5. Wpływ zakresu uprawy i odmiany na jakość ziarna pszenicy ozimej.....	32
8. Wnioski.....	34
9. Literatura.....	35
10. Streszczenie rozprawy doktorskiej w języku polskim.....	53
11. Streszczenie rozprawy doktorskiej w języku angielskim.....	54
12. Kopie publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej.....	56
13. Oświadczenia doktoranta i współautorów dotyczące wkładu w przygotowanie publikacji.....	125
14. Oświadczenia promotora, promotora pomocniczego i autora rozprawy doktorskiej.....	128

1. WYKAZ PUBLIKACJI WCHODZĄCYCH W SKŁAD ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

W skład rozprawy doktorskiej wchodzi następujące publikacje:

Lp	Publikacja	Wartość Impact Factor	Punktacja MNiSW w roku wydania	% udział w powstaniu publikacji	Liczba cytowań
1.	Różewicz M. 2022. Review of current knowledge on strip-till cultivation and possibilities of its popularization in Poland. Polish Journal of Agronomy, 49: 20-30.	-	20	100%	15
2.	Różewicz M., Grabiński J., Wyzińska M. 2023. Wpływ metody strip-till na plonowanie i jakość ziarna pszenicy ozimej w zależności od odmiany i zakresu uprawy późniejszej. Część I. ziarna. Agronomy Science, 78(1): 19-28.	-	70	70%	1
3.	Różewicz M., Grabiński J., Wyzińska M. 2023. Wpływ metody strip-till na plonowanie i jakość ziarna pszenicy ozimej w zależności od odmiany i zakresu uprawy późniejszej. Część II. Jakość ziarna. Agronomy Science, 78(1): 29-40.	-	70	70%	1
4.	Różewicz M., Grabiński J., Wyzińska M. 2024. Effect of Strip-Till and Cultivar on Photosynthetic Parameters and Grain Yield of Winter Wheat. International Agrophysics. 8, 279-291 doi: 10.31545/intagr/188352	2,2	100	70%	6
5.	Różewicz M., Grabiński J., Wyzińska M. 2024. Growth parameters, yield and grain quality of different winter wheat cultivars using strip tillage in relation to the intensity of post-harvest soil cultivation. Agriculture	3,3	100	70%	1
6.	Różewicz M. (2024). Benefits of strip-till in winter wheat cultivation. Polish Technical Review, 2: 9-13. DOI 10.15199/180.2024.2.2	-	20	100%	0
Suma		5,5	380	-	24

Zgodnie z załącznikiem do uchwały nr 73/IUNG-PIB/2023 Rady Naukowej IUNG-PIB w Puławach z dnia 27 listopada 2023 r. do Regulaminu przygotowywania rozpraw doktorskich w formie zbioru artykułów naukowych uchwalonej przez Radę Naukową IUNG – PIB pkt 4” Łączna liczba punktów za zbiór publikacji włączonych do rozprawy doktorskiej powinna wynosić co najmniej 100 lub sumaryczny Impact Factor (IF) prac powinien wynosić co najmniej 3.”

Niniejsza dysertacja doktorska została zrealizowana na podstawie spójnego tematycznie cyklu publikacji, zgodnie z wymogami określonymi ustawą Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz.U. z 2023 r. poz. 742) oraz Regulaminami Rady Naukowej IUNG-PIB (*Uchwała nr 13/2018 z dnia 27 marca 2018 r. oraz Uchwała nr 86/2019 z dnia 18 września 2019 r.*).

W skład rozprawy doktorskiej wchodzi sześć prac opublikowanych w czasopismach naukowych znajdujących się na liście czasopism punktowanych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Wszystkie prace ukazały się w latach 2022-2024 a ich zakres tematyczny był ściśle związany z problematyką wzrostu i rozwoju oraz plonowania i jakości plonu różnych odmian pszenicy uprawianych pasowo, w zależności od zakresu uprawy późniejszej. Sumaryczna punktacja publikacji stanowiących rozprawę wynosi 380, a sumaryczny IF 5,5 co wypełnia wymogi formalne wskazanego punktu uchwały IUNG-PIB.

2. WSTĘP

Warunkiem prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin uprawnych jest odpowiednio ukształtowana jakość środowiska glebowego. Można ją osiągnąć poprzez odpowiednio dobraną uprawę roli. W ostatnich dziesięcioleciach zainteresowanie badaczy wymienionym elementem agrotechniki znacznie wzrosło, a oprócz aspektów związanych z kształtowaniem warunków wzrostu dla roślin (Sawińska i in., 2024), oraz ekonomicznych (Stośić i in., 2024), zaczęto zwracać uwagę na dużą rolę uprawy w kształtowaniu jakości środowiska (Jaskulski i in., 2012; Jaskulska i Jaskulski, 2019; Liu i in., 2024), jego bioróżnorodności (Rosa-Schleich i in., 2024), a także zmian klimatycznych (Yu i in., 2024; Jug i in., 2025). W związku z tym, głównym kierunkiem badań dotyczących uprawy były i nadal są uproszczenia polegające na zmniejszeniu liczby uprawek, ich łączeniu, nie stosowaniu orki, czy też na wyeliminowaniu wszelkich zabiegów uprawowych (uprawa zerowa). Z badań tych wynika, że dobre warunki do wzrostu roślin można uzyskać nawet przy dużym ograniczeniu intensywności uprawy (Adil i in., 2024), a nawet całkowitej z niej rezygnacji (Semenikhina in., 2021 Hassani i in., 2024; Wu i in., 2024) ale wiele badań wykazało, że ograniczenie intensywności uprawy może prowadzić do zaburzeń we wzroście roślin i do spadków plonu (Darguza i Gaile, 2019), co może wynikać z większej gęstości objętościowej gleby (Fabrizzi i in., 2005; Taser i Metinoglu, 2005, Rasouli i in., 2012, Gajewski i in., 2025).

W ostatnich latach pojawiło się rozwiązanie, które łączy w sobie system uprawy zerowej i głębokiej uprawy, i nazywany jest uprawą pasową, lub wprost z języka angielskiego metodą „strip-till”. Polega ona na tym, że gleba jest zruszana tylko w pasie siewnym, a pozostała część (międzyrzędzie) nie jest uprawiana. Dotychczas najwięcej badań nad metodą strip-till przeprowadzono z roślinami uprawianymi w szerokich rzędach (Jaskulska i in., 2017; Jaskulska i in., 2022; Blagoev, 2024; Jodaugienė i in., 2024). Uprawiane najczęściej w wąskich rzędach zboża były zdecydowanie rzadziej przedmiotem badań w tym systemie (Jaskulska i in., 2019).

Agregaty do uprawy pasowej umożliwiają zakładanie plantacji zbóż na polu nie uprawionym, na którym znajdują się rozrzucone po zbiorze kombajnowym resztki poźniwne i taki sposób zakładania plantacji zbóż metodą strip-till wydaje się być najbardziej właściwy (Nadykto i in., 2023; Jaskulski i in., 2025). Wymaga to jednak potwierdzenia w badaniach. Naukowej oceny potrzebują w szczególności sytuacje, w których metoda strip-till jest stosowana na polach, na których już zastosowano jakąś uprawę. Dotychczas tylko pojedyncze prace określały to zagadnienie (Różniak, 2016; Długosz i in., 2024). Wybór pszenicy do opisanych w tej pracy badań był związany z największą popularnością tego gatunku w naszym

kraju, a uwzględnienie w badaniach kilku odmian pszenicy wynikało z wniosków płynących z niektórych prac, w których stwierdzono istotną korelację pomiędzy zakresem stosowanej uprawy, a odmianami (Gaile i in., 2017).

3. HIPOTEZA BADAWCZA I CEL BADAŃ

Celem badań było określenie wpływu zakresu uprawy późniejszej na wzrost, rozwój, plonowanie i jakość ziarna wybranych odmian pszenicy ozimej uprawianej metodą strip-till.

Z celu badań wynikała następująca hipoteza badawcza: zakres uprawy późniejszej oraz odmiany będą istotnie wpływały na wzrost, rozwój, plonowanie i jakość ziarna pszenicy ozimej uprawianej metodą strip-till.

4. PRZEGLĄD LITERATURY

4.1. Ogólna charakterystyka uprawy uproszczonej i strip-till

Uprawa pasowa jest połączeniem dwóch odmiennych systemów uprawy: płużnego oraz bezpłużnego, łącząc w sobie ich zalety. Technologia ta powstała w Stanach Zjednoczonych w drugiej połowie XX wieku (Bolton i Booster, 1981). Obecnie areał jej stosowania w skali globalnej ocenia się na 200 mln ha (Bereket-Barut i Özdemir, 2024).

Agregat do uprawy pasowej zrusza glebę w wąskich pasach bez jej odwracania, co stwarza dobre warunki do rozwoju systemu korzeniowego roślin, a jednocześnie pozostawia nieuprawione pasy będące rezerwuarem wilgoci (Jaskulski, 2019; Neto i in., 2023; Blockis i in., 2024), które pokryte są resztkami poźniwnymi (Singh i in., 2025). W uprawianych pasach występują korzystniejsze warunki do procesu kiełkowania nasion, co wynika z tego, że nagrzewają się one szybciej (Jaskulska i Jaskulski, 2019; Jaskulska i Jaskulski, 2020; Jodaugienė i in., 2024).

Plantacje metodą strip-till mogą być zakładane zarówno jednoetapowo, jak i dwuetapowo (Jasa i in., 2000). W jednoetapowej metodzie jednocześnie wykonana jest uprawa i siew, a w dwuetapowej wymienione zabiegi wykonywane są odrębnie. Dwuetapowy siew pasowy może znaleźć swoje uzasadnienie na glebach ciężkich i mokrych, na których wykonana najpierw uprawa spowoduje stworzenie lepszych warunków powietrznych w glebie, szybsze jej osuszenie i ogrzanie (Jaskulska i Jaskulski, 2020).

Pierwsze badania dotyczące uprawy pasowej w naszym kraju przeprowadzono w katedrze Agronomii Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu w 2006 roku.

W badaniu tym wykorzystano agregat do uprawy pasowej, który składał się z kroju tarczowego, zęba, talerzy zagarniających oraz wałka strunowego (Piechota, 2011). Były one wzorowane na rozwiązaniach ze Stanów Zjednoczonych.

Obecnie w Polsce, jak również innych krajach Europy Wschodniej zainteresowanie wśród rolników uprawą pasową znacznie wzrasta, co związane jest z pojawieniem się na rynku większej ilości maszyn umożliwiających taką uprawę (Alimova i in., 2021; Boikov i in., 2021), także krajowej produkcji np. Mzuri-Agro, Agro-line oraz Czajkowski-Maszyny (Piechota, 2017). Wykorzystywane są one z powodzeniem także w innych krajach Europy m.in.: Ukrainie, Litwie, Czechach, Słowacji, wschodnich landach Niemiec, Białorusi, Serbii i Rumunii (Jaskulska i Jaskulski, 2020).

4.2. Wzrost i rozwój roślin zbożowych w zależności od sposobu uprawy roli i odmiany

O wielkości plonu ziarna decydują odpowiednio duże przyrosty masy wegetatywnej roślin pszenicy w kolejnych fazach wzrostu. Jeśli ta masa jest duża, to możliwość roślin do efektywnego wykorzystania energii słonecznej jest większa (Jimenez-Berni i in., 2018; Liu i in., 2023). Brak odpowiedniej masy zielonej w danym momencie zwiększa niebezpieczeństwo wystąpienia silnego stresu warunkującego np. redukcję pędów i zmniejszanie liczby kłosów u pszenicy (Almeida i in., 2004).

Gromadzenie suchej masy przez rośliny jest szczególnie ważne podczas fazy strzelania w źdźbło. Pod tym względem jest to jeden z krytycznych etapów rozwoju, który decyduje o dynamice wzrostu w kolejnych fazach oraz ostatecznym plonie ziarna pszenicy (Zhou i in., 2023). Zbyt duża ilość biomasy nadziemnej roślin może jednak negatywnie wpływać na plon. Istnieją różne hipotezy dotyczące tego, czy pędy wytworzone w fazie strzelania w źdźbło, które nie wytwarzają kłosów, są obciążeniem, czy zasobem dla roślin pszenicy. Niektóre badania wykazały, że konkurują one z pędami kłosonośnymi o ograniczone zasoby światła, wody oraz składników pokarmowych (Berry i in., 2003). Jednak inne badania sugerują, że pędy płone przyczyniają się pośrednio do plonów ziarna pszenicy poprzez dostarczanie pewnej ilości asymilatów do pędów kłosonośnych (Ma i in., 2018).

O tempie przyrostu biomasy zbóż decydują w mniejszym lub większym stopniu wszystkie czynniki agrotechniczne, ale szczególne znaczenie ma tutaj uprawa roli, która może decydować o ilości wody dostępnej oraz intensywności procesów fotosyntezy (Kubar i in., 2025; Xiao i in., 2025), czy też o warunkach wzrostu korzeni w związku z odpowiednim rozluźnieniem gleby (Lipiec i Nosalewicz, 2002).

Ali i in. (2018ab) pozytywny wpływ na proces kiełkowania pszenicy połączyli z głębszą pracą siewnika na glebie odpowiednio spulchnionej.

Ważną rolę w kształtowaniu wielkości przyrostów roślin odgrywa także czynnik genetyczny, przy czym zależność ta jest w ścisłym związku ze stosowaną agrotechniką i warunkami pogody (Sarkar i in., 2001; Hossain i in., 2012; Kumar i in., 2019; Kawakita i in., 2021). Tazhibayeva i in. (2016) połączyli różną reakcję odmian na stres suszy ze zróżnicowaniem w rozwoju systemu korzeniowego. Dobrze rozwinięty u danej odmiany system korzeniowy decyduje o efektywniejszym pobieraniu wody w warunkach niedostatecznych

opadów, a tym samym o lepszym gromadzeniu biomasy. Potwierdziły to także wyniki badań uzyskane przez innych autorów (Mullan i Reynolds, 2010;

Chen i in., 2020; Yang i in., 2020ab; Sun i in., 2023).

Liść flagowy jest organem, odgrywającym bardzo dużą rolę w kształtowaniu efektywności procesu asymilacji, a w efekcie także plonów ziarna pszenicy (Racz i in., 2022). Jego większa powierzchnia sprzyja większej intensywności procesów związanych z fotosyntezą (Sun i in., 2021; Ding i in., 2023). Duży wpływ na wielkość liścia flagowego pszenicy ma przebieg pogody (Yang i in., 2016). Wymienieni autorzy stwierdzili, że w warunkach niedoboru opadów warunkujących stres suszy, powierzchnia liścia flagowego zmniejsza się. Podobne wyniki dotyczące powierzchni liścia flagowego u pszenicy uzyskali także Subhani i Chowdhry (2000) oraz Khanna-Chopra i in. (2020). Duży udział liścia flagowego w ogólnej masie liści jest określany jako zjawisko pozytywne, bo pozwala na przechwycenie większej ilości promieniowania słonecznego przez rośliny i większą intensywność fotosyntezy, a tym samym większą możliwość rośliny do wytworzenia wysokiego plonu ziarna (Mu i in., 2010).

Jednym z podstawowych parametrów wzrostu roślin jest ich wysokość. O wysokości roślin decyduje w dużej mierze czynnik genetyczny (Wilhelm i in., 2013; Künzel i in., 2021), stosowana agrotechnika (Skowera i in., 2024), oraz warunki meteorologiczne, a w szczególności opadowe (Węgrzyn i in., 2022). Würschum i in. (2015) badając 410 odmian pszenicy ozimej z całej Europy wykazali, że wzrost roślin i ostateczna wysokość w fazie dojrzałości pełnej jest uwarunkowana genetycznie i w małym stopniu modyfikowana przez środowisko. Spośród czynników środowiskowych wpływających na wysokość roślin w poszczególnych fazach, ma stres wodny, zwłaszcza w fazie strzelania w źdźbło (Ozturk i Aydin, 2004). Również Khakwani i in. (2012) wykazali, że stres suszy modyfikuje wzrost roślin w czasie wegetacji i w efekcie decyduje o ostatecznej ich wysokości w fazie dojrzałości pełnej.

4.3. Plonowanie zbóż i jakość plonów w uprawie strip-till

Literatura dotycząca plonowania różnych gatunków roślin zbożowych w zależności od zakresu stosowanej uprawy jest stosunkowo bogata, a uzyskiwane wyniki bardzo zróżnicowane. Sharifnasab i in. (2024) stosując metodę siewu bezpośredniego uzyskali w stosunku do uprawy płużnej niższy plon o 10%, a zastosowanie uprawy uproszczonej z użyciem kultywatora zmniejszyło tę obniżkę o połowę tj. 5%. Odmienne wyniki uzyskali

Marakoğlu i in. (2012), którzy porównali w uprawie pszenicy siew bezpośredni, uprawę uproszczoną i uprawę płużną. Najwyższe plony uzyskali właśnie z obiektu z uprawą zerową, a najniższe z orkową. Ding i in. (2018) wykazali, że uprawa bezorkowa pozwala na zwiększenie retencji wody, a przez to wpływa na większy plon ziarna pszenicy ozimej (Findura i in., 2023; Ignaciuk i in., 2024). Marakoğlu i in. (2012) połączyli obniżenie efektów produkcyjnych w obiektach z ograniczoną intensywnością uprawy z gorszym wykorzystaniem składników pokarmowych, co przekłada się na pogorszenie warunków wzrostu roślin (Amoghin i in., 2025). Niektórzy badacze łączą wpływ zakresu uprawy, na poziom uzyskiwanych plonów, z przebiegiem pogody (Demmel i in., 2012).

Opublikowanych wyników badań dotyczących wpływu uprawy pasowej na plonowanie zbóż w naszym kraju jest bardzo mało. Niektóre z nich wskazują na to, że zastąpienie orki uprawą pasową nie prowadzi do spadku plonu ziarna (Różniak, 2016). W badaniach prowadzonych w innych krajach te efekty były odmienne. Hossain i in. (2005) uzyskali z obiektu z metodą strip-till plon istotnie wyższy, niż z uprawy orkowej. Podobne efekty uzyskali również Potratz i in. (2020) w badaniach z kukurydzą.

4.4. Rola czynnika genetycznego w systemach uprawowych

Dotychczasowe badania wykazały, że efekty produkcyjne i ekonomiczne technologii produkcji, w których stosuje się uproszczenia w zakresie uprawy roli zależą od czynnika genetycznego (Vinyukov i in., 2022). Może to wynikać ze zróżnicowania odmian w zakresie zdolności do wzrostu i rozwoju w określonym zagęszczeniu gleby (Sun i in., 2023). Ponadto rola czynnika genetycznego w kształtowaniu produktywności łąnów zbóż może mieć związek z różną odpornością odmian na choroby podstawy źdźbła i korzeni, które w warunkach ograniczonej uprawy znajdują lepsze warunki do wzrostu i rozwoju, i w związku z tym silniej infekują uprawiane gatunki zbóż. Według Mullualema i in. (2024) pewne odmiany mają znacznie szerszą tolerancję na warunki środowiska i wykazują względnie stabilny plon nawet przy dużej jego zmienności, ale istnieją także odmiany o wąskiej tolerancji i ich reakcja na warunki środowiska jest bardzo zróżnicowana. Według McGrail i McNear (2021) dawne odmiany charakteryzujące się bardziej dynamicznym wzrostem korzeni mogą być wykorzystane w tworzeniu postępu hodowlanego w zakresie odmian przydatnych do uprawy w systemie bezorkowym.

Na cechę odmianową związaną z budową i tempem wzrostu systemu korzeniowego zwracali także uwagę Rizi i Mohammadi (2023). Odmiany dostosowane do danego systemu

uprawy, wykazujące się lepszym i bardziej dynamicznym rozwojem systemu korzeniowego, zwłaszcza we wczesnym etapie rozwoju, dzięki czemu mogą zwiększyć plony i ich stabilność, poprzez ograniczenie negatywnego wpływu stresów środowiskowych (Cope i in., 2024). Jak twierdzą Arvidsson i in. (2014), zróżnicowana reakcja odmian na systemy uprawy może wynikać z różnego ich przystosowania do wzrostu w warunkach zwiększonego zagęszczenia gleby.

W naszym kraju nie ma odmian rekomendowanych do danego systemu uprawy, a spójny, obejmujący wszystkie odmiany zarejestrowane system ich oceny realizowany jest w ramach PDO (Porejestrowego Doświadczalnictwa Odmianowego) i dotyczy jedynie rekomendacji regionalnej (Niedbała i in., 2022). Według Cizmaś i in. (2021) zalecenia dotyczące wyboru konkretnych odmian pszenicy ozimej do uprawy bezorkowej powinny opierać się na wcześniejszych badaniach. Cytowani autorzy wskazują także na perspektywy wykorzystania postępu genetycznego w tworzeniu odmian bardziej przystosowanych do rolnictwa konserwującego, a więc związanego z ograniczoną intensywnością uprawy.

5. MATERIAŁ I METODY

5.1. Charakterystyka warunków polowych i układu doświadczenia

W celu weryfikacji przyjętej hipotezy badawczej przeprowadzono badania polowe w trzech sezonach wegetacyjnych: 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym Kępa – Osiny (51°27' N; 22°2' E), należącym do Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowego Instytutu Badawczego w Puławach, na glebie określonej jako czarna ziemia właściwa, zaliczanej do kompleksu pszennego dobrego. Przedplonem była pszenica ozima. Doświadczenie założono w układzie split-block z odbiciem lustrzanym, w 4 powtórzeniach. Wielkość pojedynczego poletka badawczego wynosiła 225 m² (9 × 25 m). Układ doświadczenia przedstawiony został na schemacie 1.

Pierwszym czynnikiem doświadczenia polowego były różne zakresy uprawy roli:

1. Płużny - orka siewna średnio głęboka, uprawa pasowa połączona z siewem pszenicy (UO) – w pracach 4 i 5 określony jako Ploughed tillage + strip-tillage (PT),
2. Uproszczony - zruszenie ścierni agregatem talerzowym, uprawa pasowa połączona z siewem pszenicy (UU), w pracach 4 i 5 określony jako - Stubble discing + strip-tillage (SD),
3. Zerowy - uprawa pasowa zmulczowanej ścierni, połączona z siewem pszenicy (UZ), w pracach 4 i 5 określony jako strip-tillage (ST).

Czynnikiem drugim były odmiany pszenicy różniące się znacznie pochodzeniem (różne hodowle). Przy wyborze konkretnych odmian wzięto pod uwagę całą dostępną charakterystykę odmian związaną przede wszystkim z odpornością odmian na stresy biotyczne i abiotyczne.

W efekcie do badań wybrano 3 odmiany:

1. Formacja (Poznańska Hodowla Roślin) - klasa jakościowa A,
2. Metronom (Top Farms) - klasa jakościowa A,
3. Desamo (Hodowla DANKO) - klasa jakościowa A.

Typ uprawy	9m↔		9m↔	9m↔		9m↔	9m↔		9m↔
A- pełna uprawa + strip-till 25m↕									
B - uproszczona uprawa + strip-till 25m↕									
C- Strip-till 25m↕									
C- Strip-till 25m↕									
B - uproszczona uprawa +strip-till 25m↕									
A- pełna uprawa + strip-till 25m↕	1. Formacja		2. Metronom	3. Desamo		3. Desamo	2. Metronom		1. Formacja

Rysunek 1. Schemat prowadzonego doświadczenia polowego z zastosowanym układem czynników.

Warunki glebowe scharakteryzowano w tabeli 1. Nawożenie fosforowo-potasowe dostosowane do zasobności gleby zastosowano przedsięwzięcie w ilości 36 kg P₂O₅ oraz 54 K₂O na hektar. Nawożenie azotem w dawce całkowitej 160 kg·ha⁻¹ podzielone zostało na trzy dawki:

1. 70 kg N na hektar w fazie krzewienia,
2. 50 kg N na hektar w fazie strzelania w źdźbło,
3. 40 kg N w fazie kłoszenia.

Tabela 1. Charakterystyka właściwości chemicznych gleby

Parameter	Zakres
pH w KCl	5,7-6,2
P ₂ O ₅ (mg·100 g ⁻¹ soil)	21,6-24,6
K ₂ O (mg·100 g ⁻¹ soil)	27,4-27,7
Mg (mg·100 g ⁻¹ soil)	9,9-12,3

5.2. Warunki meteorologiczne

Warunki meteorologiczne w trakcie trwania wegetacji roślin scharakteryzowano za pomocą średniej dobowej temperatury (°C) i sumy opadów (mm) oraz porównania tych parametrów do średniej z wielolecia (tab. 2). Ponadto do charakterystyki warunków pogody wykorzystano wskaźnik klimatycznego bilansu wodnego (tab. 3), który określa różnicę pomiędzy ilością opadu a ewapotranspiracją. Obliczany jest on według wzoru:

$$KBW = P - E$$

P – suma opadów

E- ewapotranspiracja

Tabela 2. Warunki meteorologiczne w czasie prowadzenia badań

Miesiąc	Temperatura powietrza (°C)				Opady (mm)			
	Sezon wegetacyjny			Średnia z wielolecia 1981–2010	Sezon wegetacyjny			Średnia z wielolecia 1981–2010
	2018/2019	2019/2020	2020/2021		2018/2019	2019/2020	2020/2021	
IX	15,5	14,4	14,9	13,3	48	57,8	102	55
X	10	10,8	10,4	8,0	40,5	33,5	90	44
XI	4,2	6,4	5,1	2,7	8,9	31,4	14	39
XII	0,9	3,1	1,7	-1,4	61	47,9	19	37
I	-2,4	1,7	-1,4	-3,3	62	27,1	51	31
II	2,9	3,4	-2,7	-2,3	15,2	56,5	38	30
III	5,7	4,7	2,8	1,6	20,9	16,7	12	30
IV	10	8,9	6,9	8,7	39	14,4	50	39
V	13,9	11,9	12,9	14,5	69	93,9	61	58
VI	22,7	19,1	20	17,2	37	159	53	65
VII	19,4	19,3	22,2	19,5	71	31,9	110	80
VIII	20,4	20,3	17,1	17,8	94,3	95,5	219	87

Tabela 3. Klimatyczny bilans wodny w wybranych miesiącach w czasie prowadzenia badań

Rok	Miesiąc				
	IV	V	VI	VII	IV-VII
2019	-77	-135	-152	-209	-142
2020	-86	-34	-41	-86	-42
2021	-117	-104	-60	-36	-88

Sezony wegetacyjne, w których prowadzono badania, różniły się pod względem warunków termicznych i wielkości opadów. W sezonie 2018/2019 warunki pogodowe charakteryzowały się niższymi niż średnio w wieloleciu opadami, przy jednocześnie

znaczących wahaniami temperatur. Marzec był cieplejszy niż w wieloleciu (o 4,1°C), a maj wyraźnie chłodniejszy z większymi niż zwykle opadami. Czerwiec był miesiącem upalnym (temperatura wyższa niż w wieloleciu o 5,5°C) i suchym. Suma opadów wynosiła tylko 37 mm, co stanowiło jedynie 57% normy wieloletniej.

Sezon wegetacyjny 2019/2020 roku charakteryzował się dużymi wahaniami opadów. Na początku wiosny odnotowano niewielkie opady – w marcu i kwietniu spadło zaledwie 31 mm. Po tym suchym okresie, dwa kolejne miesiące (maj i czerwiec) przyniosły rekordowo wysokie opady (w maju 94 mm i w czerwcu 159 mm, co stanowiło odpowiednio 162% i 245% normy wieloletniej).

Sezon wegetacyjny 2020/2021 w okresie najintensywniejszego wzrostu roślin wiosną był pod względem opadów najkorzystniejszy. Tylko w marcu były one wyraźnie niższe niż w wieloleciu, ale już w kolejnych miesiącach - od kwietnia do czerwca – od tej normy zasadniczo nie odbiegały. Ponadnormatywne opady wystąpiły dopiero w lipcu oraz sierpniu. Warunki termiczne w omawianym sezonie zasadniczo nie odbiegały od normy.

5.3. Określenie wzrostu roślin

Do oceny parametrów wzrostu roślin pobierano próby roślin z powierzchni 1 m², z każdego poletka w dwóch powtórzeniach, w następujących fazach:

- Krzewienia BBCH 29,
- Strzelania w źdźbło BBCH 32,
- Kłoszenia BBCH 59.

Przed włożeniem prób do suszarni, z każdej pobranej próby wybierano losowo 10 roślin do pomiaru wysokości, oraz powierzchni liścia flagowego, za pomocą automatycznego skanera liści Area Meter AM 101 firmy BioScientific LTD. Po dokonaniu pomiarów rośliny dołączano do całej próby i umieszczano w suszarni z obiegiem powietrza na 72 godziny, w temperaturze 55°C, a następnie zważono.

5.4. Parametry fotosyntezy

Pomiary fotosyntezy zostały wykonane za pomocą przenośnego analizatora wymiany gazów w podczerwieni typu CIRAS-2 Portable Photosynthesis System (Hitchin, Herts., UK). Stosując wymienione urządzenie zmierzono:

- Intensywność fotosyntezy netto Pn ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$),

- Efektywność transpiracji E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$),
- Przewodność szparkową g_s ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$),
- Wewnątrzkomórkowe stężenie dwutlenku węgla C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Ponadto uzyskane pomiary fotosyntezy posłużyły do wyliczenia (WUE) według poniższego wzoru: $\text{WUE} = P_n/E$, gdzie:

P_n - efektywność fotosyntezy netto

E - efektywność transpiracji

Wszystkie pomiary wykonywano przyżyciowo, na liściu flagowym w 3 terminach przypadających na fazę: liścia flagowego (BBCH 39), początek kłoszenia (BBCH 51), oraz po wykłoszeniu (w fazie BBCH 65), na każdym poletku, w środkowej jego części, na czterech losowo wybranych roślinach. W komorze pomiarowej aparatu utrzymywano intensywność światła 1000 PAR ($\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$), stały dopływ dwutlenku węgla, równy 370 ppm ($\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$ powietrza), wilgotność równą wilgotności otoczenia, temperaturę powietrza równą $+25^\circ\text{C}$. Zdjęcie nr 1 obrazuje sposób wykonywania pomiaru.



2.4Fot. 1.. Leaf Area Index (LAI Pomiar parametrów fotosyntezy w warunkach polowych) po wykłoszeniu.

5.5. Indeks pokrycia liściowego (LAI)

Wskaźnik LAI określany był trzykrotnie za pomocą LAI 2000 Plant Canopy Analyzer, w tych samych terminach, w których wykonywano pomiary fotosyntezy oraz dodatkowo w fazie strzelania w źdźbło (BBCH 32-39). Na pojedynczy odczyt LAI składało się dwa pomiary nad łanem i osiem w łanie. Jakość tych pomiarów kontrolowano na bieżąco, a w razie przekroczenia 5% błędu, pomiar był eliminowany ze zbioru danych i wykonywany ponownie.

5.6. Plon i struktura plonu

W fazie dojrzałości pełnej, w celu określenia składowych plonu pobrano rośliny metodą ramkową z powierzchni $0,25\text{ m}^2$, po dwie próby z każdego poletka (8 prób z każdego obiektu). W próbach określono liczbę roślin i kłosów, a wyniki podano w przeliczeniu na 1 m^2 . Ponadto pobrane próby posłużyły do określenia plonu słomy i ziarna, w celu obliczenia indeksu żniwnego.

Liczbę ziaren w kłosie i masę ziarna z kłosa określono w każdej z prób na 10 losowo wybranych roślinach.

Zbiór dokonano kombajnem poletkowym w fazie pełnej dojrzałości ziarna, w pierwszej dekadzie sierpnia. Plon ziarna z poletek przeliczono na 1 ha dla wilgotności 15%.

5.7. Jakość plonu

Po zbiorze pobrano reprezentatywne próbki ziarna, w których określono: masę 1000 ziaren (według normy PN-68/R-74017) i gęstość ziarna w stanie zsylnym (wykorzystując gęstościomierz wyposażony w cylinder 1000 ml - PN-EN ISO 7971-3) oraz dokonano oznaczeń cech jakościowych mąki, takich jak: ilość glutenu mokrego (PN-A-74042), indeks glutenu (IG), liczbę opadania i wskaźnik sedymentacji Zelleny'ego (PN-EN ISO 5529).

5.8. Analizy statystyczne

Uzyskane wyniki poddane zostały analizie zmienności (ANOVA), a istotności średnich przy $p \leq 0,05$ zweryfikowane zostały testem Tukeya za pomocą oprogramowania STATISTICA ver. 13.1 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA)

6. WYNIKI

6.1. Wpływ zakresu uprawy roli i odmiany na parametry wzrostu pszenicy ozimej

6.1.1. Plon biomasy

Wpływ zakresu uprawy poźniwej na plon biomasy pszenicy uprawianej w systemie strip-till zmieniał się w czasie wegetacji (tabela 2, praca numer 5). Początkowo (faza krzewienia) w obiekcie z orką (UO) plon ten był o 6% niższy niż z obiektu, w którym plantację pszenicy założono bezpośrednio w nieuprawioną ściernę. W późniejszych fazach wzrostu stwierdzono pozytywny wpływ zastosowanej orki na plon biomasy. W obiektach z ograniczoną uprawą (UU) i uprawą zerową (UZ) był on istotnie niższy.

Zgodnie z przewidywaniami wpływ odmiany na tempo wzrostu roślin, mierzony ilością suchej masy na jednostce powierzchni był również istotny. W każdej fazie wzrostu największą wartość tej cechy odnotowano u odmiany Metronom. Odmiany Desamo i Formacja charakteryzowały się wyraźnie niższym plonem biomasy. Nie stwierdzono jednak interakcji pomiędzy odmianą, a sposobem uprawy w kształtowaniu omawianej cechy łanu.

6.1.2. Wysokość roślin

Wysokość roślin w poszczególnych fazach zależała istotnie od sposobu uprawy (tabela 4, praca numer 5). W fazie strzelania w źdźbło i kłoszenia najwyższe były rośliny pszenicy w obiekcie UZ. Wysokość roślin nie zależała natomiast istotnie od odmiany, choć należy zwrócić uwagę na nieco większą wysokość odmiany Metronom w fazie krzewienia i strzelania w źdźbło. Tendencja ta odwróciła się w fazie początku kłoszenia, kiedy to rośliny odmiany Metronom charakteryzowały się najniższą wartością omawianej cechy w stosunku do pozostałych odmian.

6.1.3. Powierzchnia liścia flagowego

Sposób uprawy roli oraz odmiana nie wywarły istotnego wpływu na powierzchnię liścia flagowego (tabela 3, praca numer 5). Stwierdzono tylko silny wpływ na wartość tej cechy zmiennych w latach warunków pogodowych. Istotnie największą powierzchnię liścia flagowego miały rośliny, gdy w maju i czerwcu stwierdzono ponadnormatywne opady (sezon 2019/2020).

6.2. Indeks pokrycia liściowego (LAI)

Niezależnie od terminu oceny najwyższe wartości LAI stwierdzono w obiekcie z uprawą orkową (tabela 9, praca numer 4). Różnice w tym zakresie pomiędzy dwoma pozostałymi sposobami uprawy roli były niewielkie i statystycznie nieistotne. Nie stwierdzono wpływu odmiany na kształtowanie indeksu liściowego, natomiast zmienne w latach warunki pogody istotnie go różnicowały.

6.3. Wpływ zakresu uprawy i odmiany na parametry fotosyntezy

Sposób uprawy roli istotnie wpływał na aktywność fotosyntetyczną roślin pszenicy (tabela 4, praca numer 4). W każdej fazie najwyższą wartość fotosyntezy netto zaobserwowano w obiekcie z uprawą orkową, a różnice w zakresie wymienionej cechy pomiędzy dwoma pozostałymi metodami uprawy były niewielkie. Tylko w fazie liścia flagowego istotnie wyższą intensywność fotosyntezy netto stwierdzono w uprawie bezpłużnej, względem obiektu z uprawą uproszczoną. Wpływ odmiany na kształtowanie fotosyntezy netto zaobserwowano w fazie liścia flagowego i w fazie początku kłoszenia, kiedy to istotnie najwyższą wartość tej cechy zaobserwowano u odmiany Formacja, a najniższą u odmiany Desamo. W fazie pełni kwitnienia różnice międzyodmianowe w zakresie omawianej cechy były już nieistotne. Duże różnice w fotosyntezie netto dotyczyły lat badań. Niezależnie od fazy wzrostu zdecydowanie najwyższą wartość tego parametru obserwowano w roku 2021, a najniższą w roku 2020.

Intensywność transpiracji netto zależała od sposobu uprawy roli w dwu pierwszych fazach (liść flagowy i początek kłoszenia). W obiektach z uprawą płużną i zerową wartość tej cechy była wówczas istotnie wyższa niż w przypadku uprawy uproszczonej (tabela 5, praca numer 4). W badaniu przeprowadzonym po wykłoszeniu, wielkość transpiracji nie zależała od sposobu uprawy roli. Czynniki odmianowy wyraźnie różnicował intensywność transpiracji pszenicy, przy czym niezależnie od fazy wzrostu roślin, najniższą wartość omawianej cechy stwierdzono u odmiany Desamo. Należy jednak zaznaczyć, że w fazie pełni kłoszenia różnice w zakresie transpiracji miały już tylko charakter tendencji i były statystycznie nieistotne. Dużą zmienność w zakresie transpiracji zaobserwowano w poszczególnych latach badań. Największą jej intensywność, niezależnie od fazy rozwojowej roślin pszenicy, stwierdzono w sezonie 2018/2019, a najniższą w sezonie 2019/2020.

Wpływ sposobu uprawy roli na przewodność szparkową (g_s) był zmienny w czasie wegetacji. W fazie liścia flagowego cecha ta była istotnie najniższa w warunkach uprawy uproszczonej (tabela 6, praca numer 4). Taka zależność utrzymała się także w fazie początku

kłoszenia, ale w kolejnej fazie stwierdzono już zależność odwrotną – istotnie największą wartość przewodności szparkowej w obiekcie z uprawą uproszczoną. Czynniki odmianowy również istotnie modyfikował wartości gs. W fazie liścia flagowego, odmiana Metronom wykazała istotnie wyższą wartość gs względem odmian Formacja i Desamo, a w fazie kolejnej (początek kłoszenia) najwyższą wartością gs charakteryzowała się odmiana Metronom, a najniższą Desamo. W pełni kłoszenia odmiana Formacja miała najwyższą wartość gs, a odmiana Metronom najniższą. Istotny wpływ na wartość gs miały także lata. Niezależnie od fazy wzrostu zdecydowanie najwyższe wartości tego parametru stwierdzono w roku 2019, w którym temperatury w maju i czerwcu były najwyższe.

Sposób uprawy poźniwej odegrał istotną rolę w kształtowaniu stężenia międzykomórkowego CO₂ (Ci) tylko w fazie liścia flagowego, kiedy to najwyższą wartość tej cechy stwierdzono w obiekcie z uprawą zerową, a najniższą w obiekcie z uprawą płużną (tabela 7, praca numer 4). W późniejszych fazach stwierdzono podobną zależność, ale statystycznie nieudowodnioną. Czynniki odmianowy nie różnicował istotnie wartości Ci.

Stosunkowo dużą zmienność stężenia międzykomórkowego CO₂ w poszczególnych fazach wzrostu zaobserwowano w zależności od roku. W fazie liścia flagowego i pełni kłoszenia najwyższą wartość tej cechy stwierdzono w roku 2020, a po wykłoszeniu w roku 2021.

Efektywność wykorzystania wody (WUE) zależała istotnie od sposobu uprawy, co ujawniło się tylko w fazie początku kłoszenia, przy czym najwyższą wartość tego parametru stwierdzono w obiektach z uprawą uproszczoną (tabela 8, praca numer 4). Wpływ odmiany na WUE nie był duży, ale w fazie początku kłoszenia istotny – wyższa wartość u odmiany Formacja. Bardzo dużą zmienność WUE stwierdzono w zależności od roku. Najwyższe wartości tego parametru stwierdzono w roku 2021, gdy opady i temperatury zbliżone były do średniej wieloletniej.

6.4. Wpływ zakresu uprawy i odmiany na plonowanie oraz strukturę plonu pszenicy ozimej

Średnio z trzech lat istotnie wyższe plony ziarna uzyskano z obiektu, w którym zastosowano orkę (tabela 3, praca numer 2). Plony z obiektów z uprawą ograniczoną do zastosowania brony talerzowej i z obiektu bez uprawy poźniwej były niższe odpowiednio o 0,47 t·ha⁻¹ i 0,72 t·ha⁻¹, przy czym różnica pomiędzy wymienionymi obiektami nie była istotna. Nie stwierdzono różnic w plonie poszczególnych odmian w roku 2019, natomiast w roku 2020

odmiana Formacja plonowała istotnie wyżej niż odmiana Metronom i Desamo. W kolejnym roku (2021), odmiana Desamo plonowała istotnie niżej niż pozostałe odmiany.

Zakres zastosowanej uprawy późniejszej nie wpłynął istotnie na ilość roślin na jednostce powierzchni, choć należy zwrócić uwagę na tendencję do zmniejszenia wartości tej cechy w obiekcie z najmniej intensywną uprawą roli (UZ). Odmiana nie miała również istotnego wpływu na tę cechę łanu pszenicy (tabela 4, praca numer 2).

Poziom rozkrzewienia roślin był bardzo zróżnicowany w latach, ale wpływ czynników doświadczenia na tę cechę był nieistotny. Średnio niezależnie od sposobu uprawy na jednej roślinie stwierdzono 2,1 pędu (tabela 5, praca numer 2).

Liczba kłosów na jednostce powierzchni nie zależała istotnie od zakresu uprawy roli (tabela numer 6, praca numer 2).

Liczba kłosek w kłosie nie zależała od czynników doświadczenia (tabela 7, praca numer 2). Stwierdzony został natomiast istotny wpływ zastosowanej uprawy późniejszej na liczbę ziaren w kłosie (tabela 8, praca numer 2). Istotnie większą wartość tej cechy stwierdzono w przypadku zastosowania uprawy strip-till po uprzednio wykonanej uprawie płużnej. Istotny wpływ na tę cechę miał także drugi czynnik doświadczenia. Odmiana Desamo charakteryzowała się istotnie większą liczbą ziaren w kłosie, niż odmiana Metronom. Wartość tej cechy u odmiany Formacja nie różniła się istotnie od pozostałych odmian. Istotne różnice w liczbie ziaren w kłosie korespondowały z większą masą ziarna z kłosa. Największą wartość tej cechy stwierdzono w obiekcie z uprawą orkową, a w obu obiektach z mniej intensywną uprawą była ona istotnie niższa.

Czynnikiem istotnie różnicującym masę ziarna z kłosa były również odmiany (tabela 9, praca numer 2). Odmiana Desamo charakteryzowała się istotnie niższą masą ziarna z kłosa niż pozostałe odmiany pszenicy ozimej.

Sposób uprawy jak i odmiana miały istotny wpływ na masę tysiąca ziaren (MTZ). Najwyższą wartość tej cechy ziarna stwierdzono w warunkach uprawy płużnej (UO), a najniższą w przypadku, gdy uprawę pasową połączono z siewem wykonanym w niczym niezruszonej ściernie (UZ). Największą wartość MTZ stwierdzono u odmiany Metronom, a najniższą u odmiany Desamo (tabela 1, praca numer 3). Różnice pomiędzy latami w zakresie omawianej cechy były niewielkie.

6.5. Wpływ zakresu uprawy i odmiany na jakość ziarna pszenicy ozimej

Gęstość ziarna w stanie zsypanym zależała istotnie tylko od drugiego czynnika – odmiany (tabela 3, praca numer 3), co związane było z istotnie wyższą wartością tej cechy jakości u odmiany Formacja (o 4% w stosunku do odmiany Metronom oraz o 9% w stosunku do odmiany Desamo). Odmiana Formacja wykazała także większą stabilność wymienionej cechy w latach badań, w stosunku do pozostałych odmian (tabela 4, praca numer 3).

Ilości glutenu całkowitego nie zależała od sposobu uprawy poźniwej, choć na uwagę zasługuje tendencja do nieco wyższej wartości tej cechy w ziarnie pochodzącym z obiektu, w którym metoda strip till została wykonana na nieuprawionej ścierni (UZ). Wpływ odmian na tę cechę jakości był zdecydowanie silniejszy. Odmiana Desamo charakteryzowała się największą ilością glutenu, a u odmian Metronom i Formacja było go mniej odpowiednio o 5% i 14% (tabela 5, praca numer 3). Niezależnie od sposobu uprawy i odmiany, największą ilość glutenu stwierdzono w roku 2020 (tabela 6, praca numer 3).

Sposób uprawy poźniwej nie wpływał istotnie na wartość indeksu glutenu (tabela 7, praca numer 3). Stwierdzono jednak wpływ odmiany na wartość tej cechy. Wśród badanych odmian najwyższą wartością indeksu glutenu charakteryzowała się odmiana Formacja (średnio 81, a u dwu pozostałych odmian mieścił się on w granicach 55-59. Należy również zauważyć, że bardzo duże różnice w wielkości omawianego parametru były pomiędzy latami. Najniższą wartość indeksu glutenu stwierdzono w roku 2020, natomiast w pozostałych latach, wartość tej cechy nie różniła się istotnie (tabela 8, praca numer 3).

Wykazano istotny wpływ wykonanej uprawy poźniwej oraz odmiany, a także lat na wartość wskaźnika sedymentacji (tabela 9, praca numer 3). Najwyższą jego wartość stwierdzono w obiekcie UZ, w którym wysiew nasion metodą strip-till wykonany został bezpośrednio w nieuprawionej ścierni. W obiekcie z uprawą uproszczoną (UU) oraz w obiekcie z uprawą orkową (UO) wskaźnik sedymentacji był odpowiednio o 8 i 13% niższy. Najwyższą wartość wskaźnika sedymentacji stwierdzono u odmiany Metronom. Ponadto duży wpływ na wielkość omawianego wskaźnika miały lata (tabela 10, praca numer 3).

Ziarno z każdego roku zbioru charakteryzowało się bardzo wysokimi wartościami liczby opadania, przekraczającymi 300 (s). Wpływ sposobu uprawy na tę cechę jakości ziarna był nieistotny. Średnio z trzech lat, najwyższą liczbą opadania charakteryzowała się odmiana Desamo.

7. DYSKUSJA

7.1. Wpływ zakresu uprawy i odmiany na parametry wzrostu pszenicy ozimej

Odpowiednio duże przyrosty masy wegetatywnej roślin pszenicy w kolejnych fazach wzrostu decydują w dużej mierze o ich możliwościach do efektywnego wykorzystania energii słonecznej w kształtowaniu plonu ziarna (Jimenez-Berni i in., 2018). Brak wystarczająco dużej masy zielonej w danym momencie zwiększa niebezpieczeństwo wystąpienia silnego stresu warunkującego np. redukcję pędów i zmniejszanie liczby kłosów u pszenicy (Almeida i in., 2004). W prezentowanych badaniach czynniki doświadczenia istotnie różnicowały plon biomasy z jednostki powierzchni. Był on najwyższy w obiekcie, w którym zastosowano orkę, a zatem w obiekcie ze stosunkowo najbardziej rozluźnioną glebą. Są to rezultaty odmienne od uzyskanych przez Lipca i Nosalewicza (2002), którzy wykazali, że większe zagęszczenie gleby korzystnie wpływa na budowanie suchej masy u pszenicy ozimej. Najbardziej prawdopodobnym powodem tej różnicy w zakresie uzyskanych rezultatów opisanych w niniejszej pracy i wymienionych autorów były odmienne warunki glebowe. Badania opisane w niniejszej rozprawie prowadzone były na glebie o stosunkowo dużej zawartości cząstek spławialnych i zastosowanie orki w celu rozluźnienia gleby, odegrało pozytywną rolę dla wzrostu i rozwoju roślin. Pewien wpływ na lepsze warunki wzrostu w obiekcie z orką mogło mieć również to, że w tym obiekcie siew nasion pszenicy za pomocą agregatu strip-till przebiegał nieco głębiej niż w obiektach z uproszczoną uprawą i uprawą zerową, co mogło mieć wpływ na lepszą dostępność roślin do wody. Taką zależność wykazali także m.in. Ali i in. (2018a).

Wpływ czynnika genetycznego na kształtowanie plonu biomasy był istotny. Największy plon stwierdzono w przypadku odmiany Metronom. Powody zróżnicowania reakcji odmian na warunki uprawy mogą być bardzo złożone. Nie były nimi raczej względy związane z odpornością roślin na stresy biotyczne związane z występowaniem chorób, bo te niezależnie od odmiany wystąpiły w niewielkim nasileniu. Pewną rolę mogły tutaj odegrać względy związane z niezbadaną budową systemu korzeniowego i jego zdolnością do szybkiego wzrostu. Zwrócili na to uwagę Tazhibayeva i in. (2016), którzy wykazali, że rozwój systemu korzeniowego jest u poszczególnych odmian zróżnicowany i może on decydować o efektywniejszym pobieraniu wody w warunkach suszy, a tym samym o gromadzeniu masy. Potwierdziły to także wyniki badań uzyskane przez innych autorów (Mullan i Reynolds, 2010; Chen i in., 2020; Yang i in., 2020ab; Sun i in., 2023).

Ważną rolę w kształtowaniu warunków wzrostu odgrywa mulcz, który warunkuje m.in. zmniejszone straty wody (Wilczewski i in. 2023; Amoghin i in., 2025). W niniejszych badaniach mulcz na powierzchni gleby istniał w dużej ilości tylko w międzyrzędziach, w obiektach z uprawą zerową i w mniejszej ilości w obiektach z uprawą uproszczoną. W uprawie zerowej, stopień pokrycia gleby mulczem wynosił około 50%, a w obiekcie UU było to około 15%. Wydaje się, że pozytywny wpływ mulczu na wzrost biomasy pszenicy był ograniczony ze względu na stosunkowo duże opady w kolejnych latach badań, co spowodowało, że ograniczenie strat wody z powierzchni zmulczowanej nie miało wyraźnie pozytywnego wpływu na kształtowanie parametrów wzrostu roślin.

Liść flagowy jest organem, odgrywającym bardzo dużą rolę w kształtowaniu efektywności procesu asymilacji, a w efekcie także plonów ziarna pszenicy. Jego większa powierzchnia sprzyja większej intensywności procesów związanych z fotosyntezą (Sun i in., 2021; Ding i in., 2023). W prezentowanych badaniach wielkość liścia flagowego nie zależała od czynników doświadczenia. Stosunkowo duży wpływ na tę cechę miały natomiast zmienne w latach warunki meteorologiczne. Na ważną rolę warunków pogody w kształtowaniu omawianej cechy roślin pszenicy wskazali Yang i in. (2016). Wymienieni autorzy stwierdzili, że w warunkach niedoboru opadów warunkujących stres suszy, powierzchnia liścia flagowego zmniejsza się. Podobne wyniki dotyczące powierzchni liścia flagowego u pszenicy uzyskali także Subhani i Chowdhry (2000) oraz Khanna-Chopra i in. (2020). Brak różnic w zakresie wielkości liścia flagowego wskazuje, że warunki stresowe były w poszczególnych obiektach opisywanych badań podobne.

Wysokość roślin w badaniach własnych nie zależała istotnie od sposobu wykonania uprawy roli oraz odmiany, natomiast rola zmiennych w latach warunków pogodowych była w tym względzie znaczna. Chłodna wiosna w roku 2021 spowolniła wzrost roślin, co spowodowało, że były one wyraźnie niższe niż w dwu pozostałych latach. Na większą rolę warunków pogodowych niż czynnika genetycznego wskazali także Wilhelm i in. (2013) oraz Künzel i in. (2021).

7.2. Indeks pokrycia liściowego (LAI)

Indeks pokrycia liściowego jest wskaźnikiem struktury przestrzennej ładu roślin, wyrażonej zagęszczeniem liści na jednostce powierzchni, a pośrednio także wyznacznikiem przebiegu procesów rozwojowych roślin (Czerednik i Nalborczyk, 2000; Kałuża i Strzeleński,

2009). Jego pomiar w poszczególnych fazach rozwoju roślin pozwala na oszacowanie dynamiki wzrostu i gromadzenia biomasy wegetatywnej wpływającej na późniejszy plon (Czerednik i Nalborczyk, 2000; Glenn i in., 2008).

Badania przeprowadzone przez Jaskulską i Jaskulskiego (2021) oraz Jańczak-Pieniążek i in. (2022) wykazały, że orka może pozytywnie wpływać na wartość LAI. Badania własne również to potwierdziły. Wyższą wartość indeksu LAI stwierdzono w systemie uprawy płużnej (UO) w stosunku do pozostałych dwóch sposobów uprawy (UU i UZ). Nie wykazano natomiast istotnego wpływu odmiany na wartość LAI. Badania innych autorów na ogół wskazują na istotne różnice międzyodmianowe w zakresie tej cechy (Oleksy i in., 2009; Tian i in., 2011; Rachoń i Szumiło, 2015). Podobnie jak w przypadku parametrów fizjologicznych duży wpływ na parametr LAI miały także zmienne w latach warunki pogody, na co zwrócili też uwagę inni autorzy (Rachoń i in., 2018; Wang i in., 2022; Zhuo i in., 2022).

7.3. Wpływ zakresu uprawy i odmiany na parametry fotosyntezy

Przeprowadzone badania potwierdziły badania innych autorów (Li i in., 2006; Wang i in., 2014; Li i in., 2020), że odpowiednie warunki do wzrostu roślin można osiągać różnymi metodami uprawy roli. Różnice pomiędzy poszczególnymi obiektami w zakresie intensywności uprawy roli, były duże, a mimo to, ich rola w kształtowaniu aktywności fotosyntetycznej roślin pszenicy była stosunkowo mała. Wskazuje to, że warunki wzrostu roślin nie podlegały dużej modyfikacji w zależności od metody uprawy. Według Kanga i in. (2023) negatywne zmiany w zakresie intensywności fotosyntezy, przewodnictwa szparkowego i szybkości transpiracji wynikające ze sposobu uprawy roli powodowane są zmianami w dostępności wody glebowej. Uprawa roli decyduje także o napowietrzeniu gleby i o tempie mineralizacji materii organicznej. W dobrze napowietrzonej glebie procesy mineralizacji są intensywniejsze, co może mieć wpływ na zwiększoną dostępność, niektórych składników mineralnych (Noor i in., 2021; 2023).

Wpływ na intensywność procesów fotosyntezy ma także czynnik genetyczny, co wykazało wielu autorów (Bishop i Bugbee, 1998; Wang i in., 2016; Jobson i in., 2019; Agisho i Hairat, 2021; Tumebo, 2021). Według Buczek i in., (2021) zróżnicowanie wśród odmian w zakresie intensywności fotosyntezy może wynikać z ich różnej reakcji na warunki stresowe. W badaniach własnych parametry fizjologiczne odmian były w niewielkim stopniu zróżnicowane, podobnie jak w badaniach Fanga i in. (2023), a zatem można domniemywać, że odporność ta na występujące w czasie badań zjawiska stresowe była bardzo podobna. Należy zwrócić także

uwagę na to, że uwzględnione w badaniach odmiany zostały zarejestrowane w Polsce i charakteryzowały się wysokim, porównywalnym potencjałem produkcyjnym, co w pewnym stopniu również tłumaczy brak różnic w zakresie parametrów fotosyntezy.

Zasadniczy wpływ na proces fotosyntezy ma przebieg warunków pogody. Najkorzystniejsze warunki pogodowe pod względem ilości opadów i ich rozkładu oraz pod względem temperatury w okresie intensywnego wzrostu roślin pszenicy wystąpiły w roku 2021, dlatego też fotosynteza netto była w tym roku najwyższa. Mniej korzystne warunki pogodowe wystąpiły w roku 2020, kiedy to w okresie intensywnego wzrostu roślin pszenicy opady przekroczyły zdecydowanie normy wieloletnie, a przy tym temperatury były niskie. W związku z tym poziom intensywności fotosyntezy netto był wówczas najniższy.

Uproszczenia uprawowe mogą wpływać na zwiększenie dostępności wody dla roślin w związku ze zmniejszeniem jej strat (Putra i Yuliando, 2015; Van Hateren i in., 2021; Zhao i in., 2021), a tym samym wpłynąć na lepsze jej wykorzystanie. Zwiększenie efektywności wykorzystania wody (WUE) jest kluczowym sposobem na uzyskanie możliwie wysokich plonów ziarna w warunkach małych zasobów wodnych (Wang i in., 2025). Również w badaniach własnych wykorzystano tę metodę do określenia efektywności wykorzystania wody. Wskaźnik ten nie zależał od sposobu wykonania uprawy, co świadczy o tym, że nie decydowała ona o zasobach wodnych w glebie, czyli, że dostępność wody w poszczególnych obiektach była podobna.

Odmiany różniły się efektywnością wykorzystania wody (WUE), jednak różnice te nie były jednakowe w poszczególnych terminach. Były one największe w fazie liścia flagowego i w fazie kwitnienia, kiedy to sięgały 10%. Wpływ czynnika genetycznego na WUE był potwierdzany także przez innych badaczy (Buczek i in., 2021). Jak zauważył Zhang i in. (2010) różnice międzyodmianowe w zakresie WUE, należy łączyć z różną ich odpornością na suszę. Można zatem założyć, że różnice w reakcji odmian uwzględnionych w badaniach w zakresie WUE byłyby znacznie większe, gdyby stres związany z niedoborem opadów był większy. Wartość WUE może być różnicowana także przez inne czynniki agrotechniczne. W badaniach Latifmanesh i in. (2023) stosowanie uprawy pasowej w pszenicy uprawianej po kukurydzy, wpłynęło na wyraźne zmniejszenie wymienionego wskaźnika, co miało związek z wielkością ewapotranspiracji.

Bardzo duży wpływ na wielkość strat wody z powierzchni gleby wskutek parowania ma obecność na niej resztek poźniwnych. Badania Zhanga i in. (2017) wykazały, że mulcz na powierzchni gleby zwiększył wartość WUE aż o 61%. Podobnie duże zwiększenie WUE

wskutek zastosowania mulczu stwierdzili Ali i in. (2018b). W naszych badaniach różnice w stopniu pokrycia powierzchni gleby były bardzo duże. Nie były one jednak czynnikiem różnicującym straty wody w stopniu na tyle dużym, aby wpłynąć na efektywność jej wykorzystania.

7.4. Wpływ zakresu uprawy i odmiany na plonowanie oraz strukturę plonu pszenicy ozimej

Zakres uprawy późniejszej miał wpływ na wielkość plonów pszenicy. Najwyższe plony ziarna uzyskano z obiektu UO (uprawa orkowa). Z obiektu, w którym uprawa ograniczała się do zastosowania jednorazowego brony talerzowej, oraz z obiektu z uprawą zerową (UZ) plony były odpowiednio o 9 i 6% niższe. Podobnej wielkości spadki plonu jak w badaniach będących przedmiotem dysertacji uzyskali Parylak i Pytlarz (2013), ale oni stosowali w swoich badaniach tradycyjny rzędowy siew. Natomiast odmienne wyniki wykazane zostały przez Jaskólską i in. (2020), czy Różniaka (2016), którzy stosując siew pasowy na polach, na których wykonano uprawę roli w zakresie podobnym, jak w naszych badaniach, nie uzyskali istotnych różnic w plonie ziarna pszenicy.

Plony różnicował czynnik odmianowy. Najniżej plonowała odmiana Desamo. Plony ziarna uzyskiwane z dwóch pozostałych odmian były istotnie wyższe. Należy dodać, że wystąpiły tendencje do pewnej zmienności w zakresie plenności odmian w zależności od sposobu uprawy. Stosunkowo najsilniej na ograniczanie intensywności uprawy roli reagowała odmiana Formacja. W przypadku dwóch pozostałych odmian spadki plonu ziarna były wyraźnie mniejsze. Różną reakcję odmian pszenicy ozimej na zakres uprawy potwierdzili Weber i Podolska (2008). Należy jednak zwrócić uwagę także na badania, w których takiej reakcji nie stwierdzono (Lepiarczyk i in., 2010).

Liczba kłosów jest wypadkową liczby roślin oraz ich rozkrzewienia produkcyjnego. Kształtują ją przede wszystkim gęstość siewu oraz warunki klimatyczno-glebowe (Bastos i in., 2020). W badaniach własnych przy zastosowaniu jednakowej gęstości siewu, liczba kłosów na jednostce powierzchni była kształtowana przez czynnik genetyczny, co uwidoczniło się w tendencji do mniejszej niż u pozostałych odmian liczby kłosów u odmiany Formacja. Sposób uprawy późniejszej nie wpłynął istotnie na omawianą cechę łanu. Odmienne rezultaty w tym zakresie uzyskali Gawęda i Haliniarz (2021), którzy stwierdzili większą obsadę kłosów w obiekcie z uprawą płużną.

W związku z podobną liczbą kłosów w obiektach, parametrem struktury plonu, który różnicował wysokość uzyskiwanych plonów był plon ziarna z kłosa, który był bardzo zmienny w latach. Jest to zależność potwierdzona przez wielu innych autorów (Evers i Millar, 2002; Wesołowski i Cierpiała, 2011; Philipp i in., 2018; Rachoń i in., 2022).

7.5. Wpływ zakresu uprawy i odmiany na jakość ziarna pszenicy ozimej

Zakres zastosowanej uprawy decydował o parametrach jakości ziarna pszenicy. Stwierdzono wyższą wartość gęstości ziarna w uprawie orkowej niż w warunkach uprawy uproszczonej. Podobne wyniki uzyskali Woźniak i Gos (2014), a odmienne Jaskulska i in. (2013) oraz Taner i in. (2015). Również podobnie jak w badaniach innych autorów (Stępniewska i Abramczyk, 2013; Stępniewska i Słowik, 2016; Noworól, 2018) omawiany parametr wartości technologicznej ziarna był kształtowany przez czynnik genetyczny. Duży wpływ na gęstość ziarna w stanie zsylnym mają warunki pogody (Šíp i in., 2013; Woźniak i Rachoń, 2020; Bobryk-Mamczarz i in., 2022). Badania własne to potwierdziły.

Rola uprawy roli w kształtowaniu ilości glutenu była nieistotna. Wyniki badań innych autorów w tym zakresie są bardzo zróżnicowane. Na przykład Amato i in. (2004) wykazali wyższą ilość glutenu w ziarnie pochodzącym z obiektów z intensywniejszą uprawą (płużną), a Konavko i Ruža (2017) wykazał zależność odwrotną tzn. wyższą ilością glutenu w ziarnie pszenicy pochodzącej z obiektów z mniej intensywną uprawą. Również Jaskulska i in. (2018) nie wykazali wpływu systemu uprawy (płużnej, uproszczonej i strip-till) na ilość glutenu.

Wśród różnych autorów zajmujących się problematyką jakości ziarna pszenicy panuje zgodność, co do tego, że ilość glutenu jest cechą odmianową (Šimić i in. 2006; Amiri i in., 2018; Desheva i Deshev, 2022). Bardzo szerokie badania z tego zakresu na 762 odmianach, potwierdzające również wymienioną zależność, przeprowadzili Pengpeng i in. (2022).

W badaniach własnych, różnice w zawartości glutenu pomiędzy odmianami przekroczyły 16%. Podobny zakres zmienności w zawartości glutenu dotyczył lat. Dużą rolę warunków pogody w kształtowaniu ilości glutenu podkreślali też inni autorzy (Weber, 2013; Buczek, 2020).

Związane jest to z zależną od warunków pogody efektywnością wykorzystania azotu do syntezy białka w ziarnie (Liu i Shi, 2013; Gagliardi i in., 2020; Johansson i in., 2004).

Miarą jakości glutenu jest jego indeks. Według Gawędy i Haliniarz (2021) może on być znacząco modyfikowany poprzez intensywność uprawy roli. Badania własne tego nie potwierdziły. Istotnie najwyższym indeksem glutenu charakteryzowała się odmiana Formacja.

Na dużą rolę w kształtowaniu tego parametru przez czynnik genetyczny zwracali także uwagę Šekularac i in. (2018).

Wskaźnik sedymentacji odnosi się zarówno do jakości, jak i ilości białka w ziarnie, a zatem ma wpływ na jakość uzyskiwanego pieczywa, a w szczególności na jego strukturę (Knapowski i in., 2010). Pożądana jest jak najwyższa jego wartość. Wysoki wskaźnik sedymentacji należy łączyć z wysoką zawartością białek glutelinowych, a zwłaszcza najbardziej istotnej dla wartości wypiekowej gluteiny (Murawska i in., 2014). W badaniach własnych najwyższy wskaźnik sedymentacji uzyskano z uprawy zerowej, a najniższy płużnej. Podobne skutki różnicowania sposobu uprawy na wskaźnik sedymentacji stwierdzili też Bilalis i in. (2011) oraz Woźniak i Rachoń (2020). Natomiast w badaniach Šíp i in. (2013), wskaźnik sedymentacji był wyższy przy zastosowaniu płużnego systemu uprawy, niż w przypadku uprawy bezpłużnej. Podobnie jak u innych autorów (Li i in., 2009; Zecevic i in., 2009; 2013; Murawska i in., 2014; Woźniak i Rachoń, 2020) wskaźnik sedymentacji zależał od odmiany. Tatar i in. (2020) uważają, że istotnie na wielkość wskaźnika sedymentacji może wpłynąć niedostatek opadów w czasie nalewania ziarna, co potwierdziło się w pewnym stopniu także w naszych badaniach.

Liczba opadania uznawana jest za ważny wyróżnik wartości technologicznej ziarna, który określa aktywność alfa-amylazy. Minimalna wartość liczby opadania według norm dla pszenicy (PN-EN ISO 3093) wynosi 250 (s). W opisywanych badaniach wielkość tego wskaźnika znacznie przekraczała wymienioną granicę i nie zależała od sposobu uprawy roli. Badania innych autorów wskazują, że w pewnych warunkach, sposób uprawy roli może modyfikować liczbę opadania (Weber, 2013; Buczek i in., 2021). Różnice w zakresie liczby opadania pomiędzy odmianami były stosunkowo duże. Jest to zależność potwierdzona przez wielu badaczy (Knapowski i in., 2015; Amiri i in., 2018). Literatura wskazuje jednak, że największy wpływ na wielkość liczby opadania mają warunki pogodowe. Brak intensywnych opadów w czasie poprzedzającym żniwa sprzyja wysokiej jej wartości (Dojczew, 2010).

8. WNIOSKI

1. Wpływ sposobu uprawy roli na plon masy nadziemnej roślin pszenicy był w kolejnych fazach wzrostu niejednakowy. W początkowym okresie wzrostu (krzewienie) najniższą wartość tej cechy łanu stwierdzono w obiekcie z orką. W późniejszych fazach wzrostu był to obiekt z największą masą nadziemną.
2. Istotny wpływ na tempo wzrostu roślin miał czynnik genetyczny. W każdej fazie wzrostu największym plonem biomasy nadziemnej charakteryzowała się odmiana Metronom.
3. Nie stwierdzono interakcji pomiędzy odmianą, a sposobem uprawy w kształtowaniu parametrów wzrostu i rozwoju roślin pszenicy.
4. Powierzchnia liścia flagowego i wysokość roślin nie zależała od sposobu uprawy roli i odmiany.
5. Zakres stosowanej uprawy i odmiana nie wpłynęły na rozkrzewienie roślin pszenicy, oraz liczbę roślin i kłosów na jednostce powierzchni.
6. Zakres zabiegów uprawowych poprzedzających siew pszenicy metodą strip-till, miał istotny wpływ na jej plonowanie. Istotnie wyższy plon ziarna uzyskano w przypadku stosowania tej metody po wykonanej wcześniej orce.
7. Odmiany reagowały niejednakowo na zakres stosowanej uprawy. Większym spadkiem plonu wskutek zmniejszenia intensywności uprawy charakteryzowały się odmiany Formacja i Desamo.
8. O zmienności plonów w zależności od czynników doświadczenia i zmiennych w latach warunków pogody decydował przede wszystkim plon ziarna z kłosa.
9. Sposób uprawy roli miał istotny wpływ na masę 1000 ziaren. Wyższą wartością tej cechy charakteryzowało się ziarno uzyskiwane z obiektu, w którym uprawę pasową pszenicy zastosowano po orce.
10. Ilość glutenu, indeks glutenu, oraz liczba opadania nie zależały od sposobu uprawy roli.
11. Zakres uprawy późniejszej istotnie wpływał na wielkość wskaźnika sedymentacji. Istotnie większą wartość tego wskaźnika stwierdzono w obiekcie z uprawą zerową.
12. Uzyskane wyniki badań potwierdziły hipotezę, że sposób wykonania uprawy późniejszej oraz odmiana wpływają na wzrost i rozwój oraz plonowanie pszenicy ozimej.

9. LITERATURA

1. Adil M., Lu S., Yao Z., Zhang C., Lu H., Bashir S., Maitah M., Gul I., Razzaq S., Qiu L. (2024). No-tillage enhances soil water storage, grain yield and water use efficiency in dryland wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) cropping systems: a global metaanalysis. *Functional Plant Biology*, 51(5). <https://doi.org/10.1071/FP23267>.
2. Agisho H.A., Hairat S. (2021). Understanding drought stress in plants for facing challenges and management in wheat breeding: a review. *Plant Cell Biotech. Mol. Biol.* 22, 140-156.
3. Ali S., Manzoor A.J., Sohail A., Khan A., Khan M. I., Khan M.I. (2018a). Soil amendments strategies to improve water use efficiency and productivity of maize under different irrigation conditions. *Agricultural Water Management*, 210, 88-95, doi:10.1016/j.agwat.2018.08.009
4. Ali S., Xu Y., Jia Q., Ahmad I., Wei T., Ren X. (2018b). Cultivation techniques combined with deficit irrigation improves winter wheat photosynthetic characteristics, dry matter translocation and water use efficiency under simulated rainfall conditions. *Agricultural Water Management*. 201, 207-218. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.01.017>
5. Alimova F., Primkulov B., Tolibaev A., Gulamov M. (2021). Research Results for the selection of working body types for Strip Tillage of Soil. *Technical Science and Innovation*, (1), 270-277, doi: <https://doi.org/10.51346/tstu-01.21.1-77-0113>
6. Almeida M.L.D., Sangoi L., Merotto Jr A., Alves A.C., Nava I.C., Knopp A.C. (2004). Tiller emission and dry mass accumulation of wheat cultivars under stress. *Scientia Agricola*, 61, 266-270. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162004000300004>
7. Amato G., Di Miceli G., Frenda A.S., Giambalvo D., Stringi L. (2004). Wheat yield and grain quality as affected by tillage, sowing time and nitrogen fertilization under rainfed. *Mediterranean rainfed agriculture: Strategies for sustainability*, 60, 151–156.
8. Amiri R., Sasani S., Jalali-Honarmand S., Rasaei A., Seifolahpour B., Bahraminejad S. (2018). Genetic diversity of bread wheat genotypes in Iran for some nutritional value and baking quality traits. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 24, 147–157. <https://doi.org/10.1007/s12298-017-0481-4>.
9. Amoghin M.L., Shahgholi G., Dziwulska-Hunek A., Szymanek M. (2025). Modelling the effect of depth, width, and velocity of tillage tine on soil stress and draught using the

- finite element method. *International Agrophysics*, 39(1), 29-39. doi: 10.31545/intagr/195905
10. Arvidsson J., Etana A., Rydberg T. (2014). Crop yield in Swedish experiments with shallow tillage and no-tillage 1983–2012. *European Journal of Agronomy*, 52, 307-315. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.08.002>
 11. Bastos L. M., Carciochi W., Lollato R. P., Jaenisch B. R., Rezende C. R., Schwalbert R., Ciampitti I. A. (2020). Winter wheat yield response to plant density as a function of yield environment and tillering potential: A review and field studies. *Frontiers in Plant Science*, 11, 54. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00054>
 12. Bereket-Barut Z., Özdemir S. (2024). Design Approaches of One-Pass Strip-Till Machines. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 458(1), 60-67.
 13. Berry P.M., Spink J.H., Foulkes M.J., Wade A. (2003). Quantifying the contributions and losses of dry matter from non-surviving shoots in four cultivars of winter wheat. *Field Crops Research*, 80(2), 111-121. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00174-0](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00174-0)
 14. Bilalis D., Karkanis A., Patsiali S., Agriogianni M., Konstantas A., Triantafyllidis V., (2011). Performance of wheat varieties (*Triticum aestivum* L.) under conservation tillage practices in organic agriculture. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 39, 28. <https://doi.org/10.15835/nbha3926228>.
 15. Bishop D.L., Bugbee B.G. (1998). Photosynthetic capacity and dry mass partitioning in dwarf and semidwarf wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant Physiology*, 153(5-6), 558-565. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(98\)80204-6](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(98)80204-6)
 16. Blagoev A. (2024). Effects of Strip-till Technology on Agricultural Systems. *Economic Thought Journal*, (3), 388-400.
 17. Blockis J., Jodaugienė D., Mažuolytė-Miškinė E., Pupalienė R., Butkevičienė L.M., Adamavičienė A., Antanavičienė G. (2024). Effects of conventional and strip-till technologies on soil properties. In *AgroEco2024. Agroecosystem Sustainability: Links between Carbon Sequestration in Soils, Food Security and Climate Change: 5th International Scientific Conference* (Vol. 5, pp. 49-49). Kaunas: Vytautas Magnus University.
 18. Bobryk-Mamczarz A., Rachoń L., Kiełtyka-Dadasiewicz A., Szydłowska-Tutaj M., Lewko

- P., Woźniak A. (2022). Plonowanie i jakość wybranych gatunków i odmian pszenicy makaronowej. Cz. II. Wartość technologiczna ziarna. *Agronomy Science*, 77, 65–78. <https://doi.org/10.24326/as.2022.1.6>
19. Boikov V.M., Startsev S.V., Vorotnikov I.L, Pavlov A.V. (2021). Combined Technology and unit for Strip-Till. *Engineering*, 1(103): 47-51, doi: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.1.005>
 20. Bolton F.E., Booster D.E. (1981). Strip-till planting in dryland cereal production. *Transactions of the ASAE*, 24(1), 59-0062.
 21. Buczek J. (2020). Quality and productivity of hybrid wheat depending on the tillage practices. *Plant, Soil & Environment*, 66, 415–420. <https://doi.org/10.17221/266/2020-PSE>.
 22. Buczek J., Migut D., Jańczak-Pieniążek M. (2021). Effect of Soil tillage practice on photosynthesis, grain yield and quality of hybrid winter wheat. *Agriculture* 11, 479, <https://doi.org/10.3390/agriculture11060479>
 23. Busari M.A., Kukal S.S., Kaur A., Bhatt R., Dulazi A.A. (2015). Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International Soil and Water Conservation Research*, 3, 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.iswc>.
 24. Chen Y., Palta J., Prasad P.V.V., Siddique K.H.M. (2020). Phenotypic variability in bread wheat root systems at the early vegetative stage. *BMC Plant Biology*, 20, 185. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02390-8>.
 25. Cizmaş G., Cociu A., Manda V., Marinciu C.M., Şerban G., Săulescu N.N. (2021). Wheat cultivar performance under no-till and traditional agriculture. *Romanian Agricultural Research*, 39, 457-461.
 26. Cope J.E., Berckx F., Galiński A., Lentz J., Nagel K.A., Fiorani F., Weih M. (2024). Precrop-treated soil influences wheat (*Triticum aestivum* L.) root system architecture and its response to drought. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1389593.
 27. Czerednik A., Nalborczyk E. (2000). Photosynthetically active radiation utilization coefficient [RUE] – a new indicator of photosynthetic productivity of plants in the meadow.
- Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 215, 13-22.
28. Darguza M., Gaile Z. (2019). Yield and quality of winter wheat, depending on crop rotation and soil tillage. *Research for Rural Development*, 2, 29-35. DOI: 10.22616/rrd.25.2019.045

29. Demmel M., Brandhuber R., Kirchmeier H. (2012). Strip Tillage for corn and sugar beet— results of a three year investigation on three locations. In CIGR/AgEng Conference (pp. 610). Available online at: https://www.researchgate.net/profile/Markus-Demmel/publication/268186970_Strip_Tillage_for_corn_and_sugar_beet_-_results_of_a_three_year_investigation_on_three_locations/links/54b6495f0cf2318f0f9a2ded/Strip-Tillage-for-corn-and-sugar-beet-results-of-a-three-year-investigation-on-threelocations.pdf
30. Desheva G., Deshev M. (2022). Correlation and Regression Relationships between Main Grain Quality Characteristics in Bread Winter Wheat *Agriculturae Conspectus Scientificus.*, 87, 135–143. <https://hrcak.srce.hr/279278>
31. Ding J.L., Wei H.Y., Yang Y.H., Zhang J.M., Wu J.C. (2018). Effects of conservation tillage on soil water condition and winter wheat yield in farmland (in China). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 29(8), 2501-2508. <https://doi.org/10.13287/j.10019332.201808.005>
32. Ding Y., Zhang X., Ma Q., Li F., Tao R., Zhu M., Li C., Zhu X., Guo W., Ding J. (2023) Tiller Fertility Is Critical for Improving Grain Yield, Photosynthesis, and Nitrogen Efficiency in Wheat. *Journal of Integrative Agriculture.*, 22, 2054–2066. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.10.005>.
33. Długosz J., Dębska B., Piotrowska-Długosz A. (2024). The Effect of Soil Tillage Systems on the Soil Microbial and Enzymatic Properties Under Soybean (*Glycine max* L. Merrill) Cultivation—Implications for Sustainable Soil Management. *Sustainability*, 16(24), 11140. <https://doi.org/10.3390/su162411140>
34. Dojczew D. (2010). Wpływ czasu porostu ziarniaków na wartość technologiczną mąki pszennej. *Postępy Technologiczne Przetwórstwa Spożywczego*, 1, 31–35.
35. Evers T., Millar S. (2002). Cereal grain structure and development: Some implications for quality. *Journal of Cereal Science*, 36(3), 261–284. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2002.0435>
36. Fabrizzi K.P., Garcia F.O., Costa J.L., Picone L.I. (2005). Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 81, 57-69. <https://doi:10.1016/j.still.2004.05.001>
37. Fang L., Martre P., Jin K., Du X., van der Putten P.E., Yin X., (2023). Neglecting acclimation of photosynthesis under drought can cause significant errors in predicting

- leaf photosynthesis in wheat. *Global Change Biology*, 29(2), 505-521.
<https://doi.org/10.1111/gcb.16488>
38. Findura P., Malaga-Toboła U., Kwaśniewski D., Stasiak M., Gugala M., Sikorska A. (2023). Influence of physical properties of sugar beet seeds on the work quality of the seeding mechanism. *International Agrophysics*, 37(2), 171-178. DOI: <https://doi.org/10.31545/intagr/162403>
 39. Gagliardi A., Carucci F., Masci S., Flagella Z., Gatta G., Giuliani M.M. (2020). Effects of Genotype, Growing Season and Nitrogen Level on Gluten Protein Assembly of Durum Wheat Grown under Mediterranean Conditions. *Agronomy*, 10, 755.
<https://doi.org/10.3390/agronomy10050755>.
 40. Gaile Z., Ruza A., Kreita D., Paura L. (2017). Yield components and quality parameters of winter wheat depending on tillering coefficient. *Agronomy Research*, 15(1), 79-93.
 41. Gajewski P., Majchrzak L., Bocianowski J., Kaczmarek Z. (2025). Effects of cover crops and tillage methods on selected physical and water retention properties of Luvisol. *Int. Agrophys.*, 39(1), 73-86. DOI: <https://doi.org/10.31545/intagr/195906>
 42. Gawęda D., Haliniarz M. (2021). Grain Yield and Quality of Winter Wheat Depending on Previous Crop and Tillage System" *Agriculture* 11, no. 2: 133. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020133>
 43. Glenn E.P., Huete A.R., Nagler P.L., Nelson S.G. (2008). Relationship between remotelysensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: what vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. *Sensors*, 8, 2136-2160. <https://doi.org/10.3390/s8042136>
 44. Hassani K.K., Moussadek R., Baghdad B., Zouahri A., Dakak H., Maher H., Bouabdli A. (2024). Effect of No Tillage and Conventional Tillage on Wheat Grain Yield Variability: A Review. *Journal of Environmental & Earth Sciences*, 6(1), 57-70. <https://doi.org/10.30564/jees.v6i1.6172>
 45. Hossain A., da Silva J.A.T., Lozovskaya M.V., Zvolinsky V.P. (2012). The effect of high temperature stress on the phenology, growth and yield of five wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Asian and Australasian Journal of Plant Science and Biotechnology*, 6(1), 14-23.
 46. Hossain M.I., Haque M.E., Meisner C.A., Sufian M.A., Rahman M.M. (2005). Strip tillage planting method for better wheat establishment. *Journal of Science Technology*, 3: 91-95.

47. Ignaciuk S., Zarajczyk J., Różańska-Boczula M., Borusiewicz A., Kuboń M., Barta D., Markowski P. (2024). Predicting the seeding quality of radish seeds with the use of a family of Nakagami distribution functions. *International Agrophysics*, 38(1), 21-29.
48. Jańczak-Pieniążek M., Buczek J., Kwiatkowski C., Harasim E. (2022). The course of physiological processes, yielding, and grain quality of hybrid and population wheat as affected by integrated and conventional cropping systems. *Agronomy*, 12, 1345, <https://doi.org/10.3390/agronomy12061345>
49. Jasa P., Siemens J., Hofman V., Shelton D., Reeder R. (2000). Conservation tillage system and management. *Tillage system definitions*, 5-9.
50. Jaskulska I., Gałązka A., Jaskulski D. (2019). Strip-till as a means of decreasing spatial variability of winter barley within a field scale. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 69(6): 516-527, <https://doi.org/10.1080/09064710.2019.1616812>
51. Jaskulska I., Jaskulski D. (2019). Change in soil properties after 5 years of using strip-till technology. *Mechanization in Agriculture & Conserving of the Resources*, 65(6): 193-195.
52. Jaskulska I., Jaskulski D. (2020). Strip-Till One-Pass Technology in Central and Eastern Europe: A MZURI Pro-Til Hybrid Machine Case Study. *Agronomy*, 10, 7, 925. <https://doi.org/10.3390/agronomy10070925>
53. Jaskulska I., Jaskulski D. (2021). Winter Wheat and Spring Barley Canopies under Strip-Till One-Pass Technology. *Agronomy*, 11(3): 426, doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy11030426>
54. 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, doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture12020229>
55. Jaskulska I., Jaskulski D., Gałęzewski L., Knapowski T., Kozera W., Waclawowicz R., (2018). Mineral composition and baking value of the winter wheat grain under varied environmental and agronomic conditions. *Journal of Chemistry*, doi: <https://doi.org/10.1155/2018/5013825>
56. Jaskulska I., Jaskulski D., Kotwica K., Wasilewski P., Gałęzewski L. (2013). Effect of tillage simplifications on yield and grain quality of winter wheat after different previous crops. *Acta Scientiarum Polonorum Agricultura*, 12(3), 37–44.
57. Jaskulska I., Najdowski Ł., Gałęzewski L., Kotwica K., Lamparski R., Piekarczyk M., Wasilewski P. (2017). The effect of all-surface ploughless tillage and strip-till on fuel

- consumption, yields and the quality of sugar beet roots. *Fragmenta Agronomica*, 34(3), 58–65.
58. Jaskulska I., Romanekas K., Jaskulski D., Gałęzewski L., Breza-Boruta B., Dębska B., Lemanowicz J. (2020). Soil properties after eight years of the use of strip-till one-pass technology. *Agronomy*, 10(10), 1596, doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy10101596>
 59. Jaskulski D. (2019). Spatial differentiation of soil moisture in strip-till one-pass technology. *Acta Scientiarum Polonorum Agricultura*, 18(3), 109-118.
 60. Jaskulski D., Jaskulska I., Różniak E., Radziemska M., Klik B., Brtnický M. (2025). Smart Strip-Till One-Pass Machine: Winter Wheat Sowing Accuracy Assessment. *Agriculture*, 15(4), 411. <https://doi.org/10.3390/agriculture15040411>
 61. Jaskulski D., Kotwica K., Jaskulska I., Piekarczyk M., Osiński G., Pochylski B. (2012). Components of today's tillage and crop farming systems – production and environmental effects. *Fragmenta Agronomica*, 29(3), 61-70.
 62. Jimenez-Berni J.A., Deery D.M., Rozas-Larraondo P., Condon A.T.G., Rebetzke G.J., James, R.A., Sirault X.R. (2018). High throughput determination of plant height, ground cover, and above-ground biomass in wheat with LiDAR. *Frontiers in Plant Science*, 9, 237. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00237>
 63. Jobson E.M., Johnston R.E., Oiestad A.J., Martin J.M., Giroux M.J. (2019). The impact of the wheat Rht-B1b semidwarfing allele on photosynthesis and seed development under field conditions. *Frontiers in Plant Science*, 10, 51, <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00051>
 64. Jodaugienė D., Blockis J., Mažuolytė-Miškinė E., Pupalienė R., Butkevičienė L.M., Adamavičienė A., Čepulienė R. (2024). Influence of strip-till and conventional plowing on winter rape crop. <https://hdl.handle.net/20.500.12259/271320>
 65. Johansson E., Lan Y., Olalekan O., Kuktaite R., Chawade A., Rahmatov M. (2024). Alien introgression to wheat for food security: functional and nutritional quality for novel products under climate change. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1393357. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1393357>
 66. Johansson, E., Prieto-Linde M.L., Svensson G. (2004). Influence of Nitrogen Application Rate and Timing on Grain Protein Composition and Gluten Strength in Swedish Wheat Cultivars. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167, 345–350.
 67. Jug D., Jug I., Brozović B., Šeremešić S., Dolijanović Ž., Zsembeli J., Ujj A., Marjanovic J., Smutny V., Dušková S., Neudert L., Macák M., Wilczewski E., Đurđević

- B. (2025). Conservation Soil Tillage: Bridging Science and Farmer Expectations—An Overview from Southern to Northern Europe. *Agriculture*, 15(3), 260. <https://doi.org/10.3390/agriculture15030260>
68. Kałuża T., Strzeliński P. (2009). Remote sensing in research of high-growing plants for flow estimation in floodlands. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej* 11(2[21]), 169-178.
 69. Kang J., Chu Y., Ma G., Zhan Y., Zhang X., Wang M. (2023). Physiological mechanisms underlying reduced photosynthesis in wheat leaves grown in the field under conditions of nitrogen and water deficiency. *The Crop Journal*, 11(2), 638-650, <https://doi.org/10.1016/j.cj.2022.06.010>
 70. Kawakita S., Ishikawa N., Takahashi H., Okuno R., Moriya K. (2021). Interactions of cultivar, sowing date, and growing environment differentially alter wheat phenology under climate warming. *Agronomy Journal*, 113(6), 4982-4992. <https://doi.org/10.1002/agj2.20911>
 71. Khakwani A.A., Dennett M.D., Munir M., Abid M. (2012). Growth and yield response of wheat varieties to water stress at booting and anthesis stages of development. *Pakistan Journal of Botany*, 44(3), 879-886.
 72. Khanna-Chopra R., Singh K., Shukla S., Kadam S., Singh N.K. (2020). QTLs for cell membrane stability and flag leaf area under drought stress in a wheat RIL population. *J. Plant Biochem. Biotechnol*, 29, 276–286. <https://doi.org/10.1007/s13562-019-00534-y>.
 73. Knapowski T., Kozera W., Murawska B., Wszelaczyńska E., Pobereżny J., Mozolewski W., Keutgen A.J. (2015). Ocena parametrów technologicznych wybranych odmian pszenicy ozimej pod względem wypiekowym. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, 5, 255– 256.
 74. Knapowski T., Ralcewicz M., Spychaj-Fabisiak E., Łożek O. (2010). Ocena jakości ziarna pszenicy ozimej uprawianej w warunkach zróżnicowanego nawożenia azotem. *Fragmenta Agronomica*, 27, 73–80.
 75. Konavko A., Ruža A. (2017). Influence of tillage and crop rotation on winter wheat grain quality. In *Proceedings of the Scientific and Practical Conference “Harmonious Agriculture”*, Jelgava, Latvia, 23 February, 50–54.
 76. Kubar M.S., Kaleri A.A., Manzoor D., Rehmani U., Gull A., Khan A., Wude Y. (2025). Grain Yield of Winter Wheat Associated with Agronomical and Physiological Characteristics. *Journal of Asian Development Studies*, 14(1), 117-128.

77. Kumar P.Y., Jagadale V.M., Prakash N., Kumar J.R., Kumar R., Kumar V., Kumar P. (2019). Characterization of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes unraveled by molecular markers considering heat stress. *Open Agriculture*, 4(1), 41-51. <https://doi.org/10.1515/opag-2019-0004>
78. Künzel A., Münzel S., Böttcher F., Spengler D. (2021) Analysis of Weather-Related Growth Differences in Winter Wheat in a Three Year Field Trial in North-East Germany. *Agronomy*, 11, 1854. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091854>.
79. Latifmanesh H., Li L., Raheem A., Raheem Z., Zheng Y. (2023). Effect of rotational tillage regimes on water use efficiency and yield of wheat under corn-wheat cropping system (case study: North China Plain). *Irrigation Science Engineering*, 46(4), 67-82 <https://doi.org/10.22055/JISE.2023.43789.2083>
80. Lepiarczyk A., Łabza T., Pużyńska K. (2010). Produkcyjność pszenicy ozimej odmiany Turnia i Rysa wysiewanej w siewie czystym i mieszanym w zależności od systemu uprawy roli. *Annales UMCS, sec. E, Agricultura*, 65, 42–50
81. Li L.Y., Wu Jin Zhi W.J., Huang Ming H.M., Yao YuQing Y.Y., Zhang Can Jun Z.C., Cai DianXiong C.D., Jin Ke J.K. (2006). Effects of different tillage systems on photosynthesis characteristics of flag leaf and water use efficiency in winter wheat. *Chinese Society of Agricultural Engineering*, <http://www.tcsae.org>
82. Li Y., Hou R., Tao F. (2020). Interactive effects of different warming levels and tillage managements on winter wheat growth, physiological processes, grain yield and quality in the North China Plain. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 295, 106923. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106923>
83. Li Y., Huang C., Sui X., Fan Q., Li G., Chu X. (2009). Genetic variation of wheat glutenin subunits between landraces and varieties and their contributions to wheat quality improvement in China. *Euphytica*, 169, 159–168. <https://doi.org/10.1007/s10681-0099905-8>.
84. Lipiec J., Nosalewicz A. (2002). Wzrost pędów pszenicy w zależności od miejscowego zagęszczenia gleby. *Acta Agrophysica*, 78, 151-157.
85. Liu D., Shi Y. (2013). Effects of different nitrogen fertilizer on quality and yield in winter wheat. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 5, 646–649.
86. Liu J., Si Z., Wu L., Fu Y., Zhang Y., Kpalari D.F., Duan A. (2024). Application of resource-environmental-economic perspective for optimal water and nitrogen rate under

- high-low seedbed cultivation in winter wheat. *Agricultural Water Management*, 298, 108865. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108865>
87. Liu P., Yin B., Liu X., Gu L., Guo J., Yang M., Zhen W. (2023). Optimizing plant spatial competition can change phytohormone content and promote tillering, thereby improving wheat yield. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1147711. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1147711>
 88. Ma S.C., Wang T.C., Guan X.K., Zhang X. (2018). Effect of sowing time and seeding rate on yield components and water use efficiency of winter wheat by regulating the growth redundancy and physiological traits of root and shoot. *Field Crops Research*, 221, 166-174. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.02.028>
 89. McGrail R.K., McNear Jr D.H. (2021). Two centuries of breeding has altered root system architecture of winter wheat. *Rhizosphere*, 19, 100411. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100411>
 90. Mu H., Jiang D., Wollenweber B., Dai T., Jing Q., Cao W. (2010). Long- term low radiation decreases leaf photosynthesis, photochemical efficiency and grain yield in winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 196(1), 38-47. <https://doi.org/10.1111/j.1439037X.2009.00394.x>
 91. Mullan D.J., Reynolds M.P. (2010). Quantifying genetic effects of ground cover on soil water evaporation using digital imaging. *Functional Plant Biology*, 37, 703–712. <https://doi.org/10.1071/FP09277>.
 92. Marakoğlu T., Çarman K., Demir F. (2012). Wheat production using direct seeding and conventional tillage in Middle Anatolia. 47th Croatian and 7th International Symposium on Agriculture, Opatija, Croatia, 13-17 February 2012. *Proceedings*, 517-521.
 93. Mullualem D., Tsega A., Mengie T., Fentie D., Kassa Z., Fassil A., Wondaferew D., Gelaw A. T., Astatkie T. (2024). Genotype-by-environment interaction and stability analysis of grain yield of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes using AMMI and GGE biplot analyses. *Heliyon*, 10(12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32918>
 94. Murawska B., Sychaj-Fabisiak E., Keutgen A., Wszelaczyńska E., Pobereżny J. (2014). Cechy technologiczne badanych odmian ziarna pszenicy ozimej uprawianych w warunkach Polski i Wielkiej Brytanii. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, 53, 96–98.
 95. Nadykto V., Domeika R., Golub G., Kukharets S., Chorna T., Čėsna J., Hutsol T. (2023). Research on a Machine–Tractor Unit for Strip-Till Technology. *AgriEngineering*, 5, 2184-2195. <https://doi.org/10.3390/agriengineering5040134>

96. Neto A.F.D., Albiero D., Rossetto R., Biagi J.D., Da Silva J.G. (2023). Strip Soil Tillage and Traffic Over the Soil on Sugar Cane Compared to Conventional Tillage Systems. *Sugar Technology*, 25(5), 1025-1035. <https://doi.org/10.1007/s12355-023-01267-y>
97. Niedbała G., Tratwal A., Piekutowska M., Wojciechowski T., Uglis J.A. (2022). Framework for Financing Post-Registration Variety Testing System: A Case Study from Poland. *Agronomy*, 12, 325. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020325>
98. Noor H., Wang Q., Islam M.A., Sun M., Lin W., Ren A.X., Feng Y., Yu S.B., Fida N., Dong S.F., Wang P.R., Li L., Wang Z.X., Zhang R.R., Zhao Q.L., Ding P.C., Gao Z.Q. (2021). Effects of sowing methods and nitrogen rates on photosynthetic characteristics, yield and quality of winter wheat. *Photosynthetica* 59(2), 277-285, <https://doi.org/10.32615/ps.2021.018>
99. Noor H., Yan Z., Sun P., Zhang L., Ding P., Li L., Ren A., Sun M., Gao Z. (2023). Effects of nitrogen on photosynthetic productivity and yield quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy* 13, 1448, <https://doi.org/10.3390/agronomy13061448>
100. Noworól M. (2018). Reakcja odmian pszenicy ozimej na poziom intensywności technologii produkcji. Praca doktorska, UR Rzeszów.
101. Oleksy A., Szmigiel A., Kołodziejczyk M. (2009). Yielding and leaf area development of selected winter wheat cultivars depending on technology level. *Fragmenta Agronomica*, 26(4), 120-131.
102. Ozturk A., Aydin F. (2004). Effect of water stress at various growth stages on some quality characteristics of winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 190(2), 93-99.
103. PN-68/R-74017. Oznaczanie masy 1000 ziarn.
104. PN-ISO 7971-3. Oznaczanie gęstości w stanie zsypanym, zwanej „masą hektolitra”.
105. PN-A-74042. Oznaczanie ilości glutenu mokrego
106. PN-EN ISO 5529. Oznaczanie wskaźnika sedymentacji Zelleny’ego
107. Parylak D., Pytlarz E. (2013). Skutki produkcyjne monokultury pszenicy ozimej w warunkach. *Fragmenta Agronomica*, 30(4), 114–121.
108. Pengpeng L., Wei S., Hongjun X.U., Fengjuan C., Xinnian H., Yingbin N., Dezhen K., Bo Z., Peiyuan M.U. (2022). Effects of Genotype and Environment on Protein Qualities of Winter Wheat in Xinjiang. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 59, 45–54. <https://doi.org/10.6048/j.issn.1001-4330.2022.01.006>.

109. Philipp N., Weichert H., Bohra U., Weschke W., Schulthess A.W., Weber H. (2018). Grain number and grain yield distribution along the spike remain stable despite breeding for high yield in winter wheat. *PLoS One* 13(10).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205452>
110. Piechota T. (2011). Reakcja kukurydzy na uprawę pasową gleby w warunkach niedoboru opadów. *Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych*, 559: 153-160.
111. Piechota T. (2017). Przegląd rynku maszyn do pasowej uprawy roli (strip-till). *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 4: 2-4.
112. Potratz D. J., Mourtzinis S., Gaska J., Lauer J., Arriaga F. J., Conley S. P. (2020). Strip-till, other management strategies, and their interactive effects on corn grain and soybean seed yield. *Agronomy Journal*, 112(1), 72-80.
<https://doi.org/10.1002/agj2.20067>
113. Putra P.A., Yuliando H. (2015). Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: a review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 3, 283-288. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.01.054>
114. Rachoń L., Bobryk-Mamczarz A., Kiełtyka-Dadasiewicz A., Woźniak A., Stojek Z., Zajdel-Stępień P. (2022). Plonowanie i jakość wybranych gatunków i odmian pszenicy makaronowej. Cz. II. Wartość technologiczna ziarna. *Agronomy Science*, 77(1), 65–78,
<https://doi.org/10.24326/as.2022.1.6>
115. Rachoń L., Szumiło G. (2015). Variability of leaf area index (LAI), depending on the wheat genotype and the intensification of the cultivation technology. *Agronomy Science* 70(1), 33-39. <https://doi.org/10.24326/as.2015.1.4>
116. Rachoń L., Szumiło G., Michałek W., Bobryk-Mamczarz A. (2018). Variability of leaf area index (LAI) and photosynthetic active radiation (PAR) depending on the wheat genotype and the intensification of cultivation technology. *Agronomy Science*, 73(1), 63-71. <https://doi.org/10.24326/asx.2018.1.6>
117. Racz I., Hirișcău D., Berindean I., Kadar R., Muntean E., Tritean N., Russu F., Ona A., Muntean L. (2022). The Influence of Flag Leaf Removal and Its Characteristics on Main Yield Components and Yield Quality Indices on Wheat. *Agronomy*, 12(10), 2545.
<https://doi.org/10.3390/agronomy12102545>
118. Rasouli F., Kiani Pouya A., Afzalinia S. (2012). Effect of conservation tillage methods on soil salinity. In: 8th Int. Soil Science Congress, 15-17 Maj, Izmir, Turcja.

119. Rizi M.S., Mohammadi M. (2023). Breeding crops for enhanced roots to mitigate against climate change without compromising yield. *Rhizosphere*, 26, 100702. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100702>
120. Rosa-Schleich J., Loos J., Ferrante M., Mußhoff O., Tschardt T. (2024). Mixed farmers' perception of the ecological-economic performance of diversified farming. *Ecological Economics*, 220, 108174. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108174>
121. Różniak M. (2016). Ocena możliwości uprawy pszenicy ozimej w technologii strip-till. Praca doktorska, UTP Bydgoszcz.
122. Sarkar C.G., Srivastava P.S.L., Deshmukh P.S. (2001). Grain growth rate and heat susceptibility index: Traits for breeding genotypes tolerant to terminal high temperature stress in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 61(03), 209-212.
123. Sawińska Z., Radzikowska-Kujawska D., Bleharczyk A., Świtek S., Piechota T., Cieślak A., Lark R.M. (2024). How Tillage System Affects the Soil Carbon Dioxide Emission and Wheat Plants Physiological State. *Agronomy*, 14(10), 2220. <https://doi.org/10.3390/agronomy14102220>
124. Šekularac A., Torbica A., Živančev D., Tomić J., Knežević D. (2018). The influence of wheat genotype and environmental factors on gluten index and the possibility of its use as bread quality predictor. *Genetika*, 50, 85–93. <https://doi.org/10.2298/GENSR1801085S>.
125. Semenikhina Y., Kambulov S., Boyko A., Nadolinsky Y., Podlesniy D. (2021). Influence of the main tillage methods on the moisture temperature mode of the soil and the yield of winter wheat. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 723, No. 3, p. 032048). IOP Publishing.
126. Sharifnasab H., Soltani E., Karami H., Grądecka- Jakubowska K., Gancarz M. (2024). Meta-analysis of tillage methods and their influence on wheat productivity. *International Agrophysics*, 38(4), 345-351. <https://doi.org/10.31545/intagr/190044>
127. Šimić G., Horvat D., Jurković Z., Drezner G., Novoselović D., Dvojković K. (2006). The genotype effect on the ratio of wet gluten content to total wheat grain protein. *Journal of Central European Agriculture*, 7, 13–18. <https://hrcak.srce.hr/17337>
128. Singh S.P., Khan N., Singh A.K., Kumar S. (2025). Conservation Tillage and Soil Structure Maintenance. *Agronomy for the Future: Sustainable Techniques and Climate Resilience* ISBN: 978-93-91900-36-6 First Edition: Chapter – 3, Page: 28 – 38.

129. Šíp V., Vavera R., Chrpová J., Kusá H., Růžek P. (2013). Winter wheat yield and quality related to tillage practice, input level and environmental conditions. *Soil Tillage Research*, 132, 77–85. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.05.002>.
130. Skowera B., Kulig B., Ziernicka-Wojtaszek A., Grygierzec W., Ziółkowska E., Lepiarczyk A. (2024). The effect of meteorological conditions on the course of development stages and yield of winter wheat in southern Poland. *Journal of Water and Land Development*, 157-166. Doi: 10.24425/jwld.2024.149117 ; eISSN 2083-4535
131. Stępniewska S., Abramczyk D. (2013). The correlation between quality parameters of selected winter wheat grain. *Postępy nauki i Technologii Przemysłu Rolno-Spożywczego*, 1, 65–78.
132. Stępniewska S., Słowik E. (2016). Ocena wartości technologicznej wybranych odmian pszenicy ozimej i jarej. *Acta Agrophysica*, 23, 275–286.
133. Stošić M., Popović B., Ranogajec L. (2024). Environmental viability and economic sustainability of tillage for wheat: Evidence from Croatia. *Global Journal of Ecology*, 9(1), 011-019. DOI:10.17352/gje.000092
134. Subhani G.M., Chowdhry M.A. (2000). Correlation and path coefficient analysis in bread wheat under drought stress and normal conditions. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 3, 72–77.
135. Sun Y., Yang C., Liang H., Yang Y., Bu K., Dong Y., Hai J. (2023). The Border Effects of Dry Matter, Photosynthetic Characteristics, and Yield Components of Wheat under Hole Sowing Condition. *Agronomy*, 13, 3: 766. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030766>
136. Sun Y., Zhang S., Yan J. (2021). Contribution of green organs to grain weight in dryland wheat from the 1940s to the 2010s in Shaanxi Province, China. *Scientific Reports*, 11, 3377. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82718-y>
137. Taner A., Zafer R., Kaya Y., Gültekin İ., Partigöç F. (2015). The effects of various tillage systems on grain yield, quality parameters and energy indices in winter wheat production under the rainfed conditions. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24, 1463–1473.
138. Taser O., Metinoglu F. (2005). Physical and mechanical properties of a clay soil as affected by tillage systems for wheat growth. *Acta Agric. Scand. Sect. B: Soil Plant*, 55, 186-191. <https://doi.org/10.1080/09064710510008702>

139. Tatar O., Cakalogullari U., Aykut F., Istipliler D., Karakoc R. (2020). Effect of Drought Stress on Yield and Quality Traits of Common Wheat During Grain Filling Stage. *Turkish Journal of Field Crops*, 25, 236–244. <https://doi.org/10.17557/tjfc.834392>
140. Tazhibayeva T., Abugalieva A., Morgunov A., Kozhakhmetov K. (2016). Introgressive forms-approach for biotechnology advance of winter wheat on environmental adaptability. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 1, 607-614.
141. Tian Z., Jing Q., Dai T., Jiang D., Cao W. (2011). Effects of genetic improvements on grain yield and agronomic traits of winter wheat in the Yangtze River Basin of China. *Field Crops Research*, 124(3), 417-425. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.07.012>
142. Tumebo L.A. (2021). Action and reaction of plants to high temperature: improving response of wheat to heat stress. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 40(10), 62-70. <https://doi.org/10.9734/CJAST/2021/v40i1031359>.
143. van Hateren T.C., Chini M., Matgen P., Teuling A.J. (2021). Ambiguous agricultural drought: characterising soil moisture and vegetation droughts in europe from earth observation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13, 1990, <https://doi.org/10.3390/rs13101990>
144. Vinyukov O., Chuhrii H., Gyrka A., Vyskub R., Bondareva O. (2022). Ways to improve the adaptability of winter wheat in the eastern part of the Northern Steppe of Ukraine. *Universal Journal of Agricultural Research*, 10(3), 228-239. Doi:10.13189/ujar.2022.100305
145. Wang F., Yang M., Ma L., Zhang T., Qin W., Li W., Zhang Y., Sun Z., Wang Z., Li F., Yu K. (2022),.. Estimation of Above-Ground Biomass of Winter Wheat Based on Consumer-Grade Multi-Spectral UAV. *Remote Sensing*, 14(5), 1251. <https://doi.org/10.3390/rs14051251>
146. Wang K., Liu H., Zhou X., Tang X. (2025). Comprehensive Mega-Data Analysis of Water Use Efficiency in Winter Wheat and Its Influencing Factors. *Water*, 17(4), 564. <https://doi.org/10.3390/w17040564>
147. Wang X., Wang L., Shangguan Z. (2016). Leaf gas exchange and fluorescence, of two winter wheat varieties in response to drought stress and nitrogen supply. *PLoS One* 11(11), e0165733. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165733>

148. Wang Y., Hu W., Zhang X., Li L., Kang G., Feng W., Zhu Y., Wang C., Guo T. (2014). Effects of cultivation patterns on winter wheat root growth parameters and grain yield. *Field Crops Research*, 156, 208-218. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.11.017>
149. Weber R. (2013). Influence of tillage system and stubble height on grain properties of selected winter wheat cultivars. *Nauka Przyroda Technologia*, 7, 18–23.
150. Weber R., Podolska G. (2008). Wpływ sposobu uprawy roli, terminu i gęstości siewu na plonowanie odmian pszenicy ozimej. *Inżynieria Rolnicza*, 12, 395–400.
151. Wesołowski M., Cierpiąła R. (2011). Yield of winter wheat depending on pre-sowing tillage method. *Fragmenta Agronomica*, 28(2): 106-118.
152. Węgrzyn A., Klimek-Kopyra A., Dacewicz E., Skowera B., Grygierzec W., Kulig B., Flis-Olszewska E. (2022). Effect of Selected Meteorological Factors on the Growth Rate and Seed Yield of Winter Wheat—A Case Study. *Agronomy*, 12(12), 2924. <https://doi.org/10.3390/agronomy12122924>
153. Wilczewski E., Jug I., Lipiec J., Gałęzewski L., Đurđević B., Kocira A., Brozović B., Marković M., Jug D. (2023). Tillage system regulates the soil moisture tension, penetration resistance and temperature responses to the temporal variability of precipitation during the growing season. *International Agrophysics*, 37(4), 391-399. doi: 10.31545/intagr/171478
154. Wilhelm E.P., Boulton M.I., Al-Kaff N., Balfourier F., Bordes J., Greenland A.J., Powell W., Mackay I.J. (2013). Rht-1 and Ppd-D1 associations with height, GA sensitivity, and days to heading in a worldwide bread wheat collection. *Theoretical and Applied Genetics*, 126, 2233–2243. <https://doi.org/10.1007/s00122-013-2130-9>
155. Woźniak A., Gos M. (2014). Yield and quality of spring wheat and soil properties as affected by tillage system. *Plant, Soil Environ.* 60(4), 141–145. DOI:10.17221/7330-PSE
156. Woźniak A., Rachoń L. (2020). Effect of tillage systems on the yield and quality of winter wheat grain and soil properties. *Agriculture* 10(9), 405. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090405>
157. Wu B., Ma D., Shi Y., Zuo G., Chang F., Sun M., Yin L., Wang S. (2024). Optimizing tillage practice based on water supply during the growing season in wheat and maize production in northern China. *Agricultural Water Management*, 300, 108923. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108923>

158. Würschum T., Langer S.M., Longin C.F.H. (2015). Genetic control of plant height in European winter wheat cultivars. *Theoretical and Applied Genetics*, 128, 865-874. <https://doi.org/10.1007/s00122-015-2476-2>
159. Xiao Y., Luo W., Yang K., Fu J., Wang P. (2025). Plow tillage with buried straw increases maize yield by regulating soil properties, root growth, photosynthetic capacity, and bacterial community assembly in semi-arid black soil farmlands. *European Journal of Agronomy*, 164, 127532. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127532>
160. Yang D., Liu Y., Cheng H., Chang L., Chen J., Chai S., Li M. (2016). Genetic dissection of flag leaf morphology in wheat (*Triticum aestivum* L.) under diverse water regimes. *Genetic*, 17, 94. <https://doi.org/10.1186/s12863-016-0399-9>.
161. Yang H., Wu G., Mo P., Chen S., Wang S., Xiao Y., Ma H., Wen T., Guo X., Fan G. (2020a). The combined effects of maize straw mulch and no-tillage on grain yield and water and nitrogen use efficiency of dry-land winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Soil and Tillage Research*, 197, 104485. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104485>
162. Yang Y., Wan H., Yang F., Xiao C., Li J., Ye M., Chen C., Deng G., Wang Q., Li A., Mao L., Yang W., Zhou Y. (2020b). Mapping QTLs for enhancing early biomass derived from *Aegilops tauschii* in synthetic hexaploid wheat. *PLoS ONE*, 15, e0234882. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234882>.
163. Yu L., Shi H., Wu H., Hu X., Ge Y., Yu L., Cao W. (2024). The Role of Climate Change Perceptions in Sustainable Agricultural Development: Evidence from Conservation Tillage Technology Adoption in Northern China. *Land*, 13(5), 705. <https://doi.org/10.3390/land13050705>
164. Zecevic V., Knezevic D., Boskovic J., Madic M. (2009). Effect of Genotype and Environment on Wheat Quality. *Genetika*, 41, 247–253.
165. Zhang X., Chen S., Sun H., Wang Y., Shao L. (2010). Water use efficiency and associated traits in winter wheat cultivars in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 97(8), 1117-1125. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.06.003>
166. Zhang Y., Wang R., Wang S., Wang H., Xu Z., Jia G., Li J. (2017). Effects of different sub-soiling frequencies incorporated into no-tillage systems on soil properties and crop yield in dryland wheat-maize rotation system. *Field Crops Research*, 209, 151-158. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.05.002>
167. Zhao J., Lu Y., Guo M., Fu J., Wang Y. (2021). Design and experiment of bionic stubble breaking-deep loosening combined tillage machine. *International Journal of*

- Agricultural and Biological Engineering, 14(4), 123-134,
<https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211404.6473>
168. Zhou X., Yang X., Feng S., Zhang J., Wu J., Liu J., Xu X., Yu Z., Bian W., Sun D., Hu X., Zhang S., Xie J., Shen T. (2023). Optimization of controlled-release urea application based on the winter wheat yield. *European Journal of Agronomy*, 151, 126987.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126987>
 169. Zhuo W., Fang S., Gao X., Wang L., Wu D., Fu S., Wu Q., Huang J. (2022). Crop yield prediction using MODIS LAI, TIGGE weatherforecasts and WOFOST model: A case study for winter wheat in Hebei, China during 2009-2013. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 106, 102668.
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102668>

10. STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ W JĘZYKU POLSKIM

Wpływ zakresu uprawy późniejszej na wzrost, rozwój i plonowanie wybranych odmian pszenicy ozimej wysianej metodą strip-till

Słowa kluczowe: pszenica ozima, odmiana, strip-till, uprawa pasowa, plon ziarna, jakość ziarna, biomasa, wzrost, liść flagowy

Celem badań było określenie wpływu zakresu uprawy późniejszej na wzrost, rozwój i plonowanie wybranych odmian pszenicy ozimej uprawianej metodą strip-till. Podstawę do badań wiodących do osiągnięcia tego celu stanowiły eksperymenty polowe zakładane w trzech sezonach wegetacyjnych: 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021 w RZD IUNG-PIB Kępa-Osiny, na czarnej ziemi właściwej, zaliczanej do kompleksu pszennego dobrego. Przedplonem była pszenica ozima. Doświadczenie założono w układzie split-block z odbiciem lustrzanym, w 4 powtórzeniach. Pierwszym czynnikiem doświadczenia były różne zakresy uprawy roli przed wykonaniem siewu: płużny (orka siewna średnio głęboka, uprawa pasowa połączona z siewem pszenicy), uproszczony (zruszenie ścierni agregatem talerzowym, uprawa pasowa połączona z siewem pszenicy), zerowy (uprawa pasowa zmulczowanej ścierni, połączona z siewem pszenicy). Czynnikiem drugim były odmiany pszenicy różniące się znacznie pochodzeniem (różne hodowle): Formacja, Metronom, Desamo. Uzyskane wyniki opracowano statystycznie. Wpływ sposobu uprawy roli na plon masy nadziemnej roślin pszenicy był w kolejnych fazach wzrostu niejednakowy. W początkowym okresie wzrostu (krzewienie) najniższą wartość tej cechy łanu stwierdzono w obiekcie z orką. W późniejszych fazach wzrostu był to obiekt z największą masą nadziemną. Istotny wpływ na tempo wzrostu roślin miał czynnik genetyczny. W każdej fazie wzrostu największym plonem biomasy nadziemnej charakteryzowała się odmiana Metronom. Nie stwierdzono interakcji pomiędzy odmianą, a sposobem uprawy w kształtowaniu parametrów wzrostu i rozwoju roślin pszenicy.

Powierzchnia liścia flagowego i wysokość roślin nie zależała od sposobu uprawy roli i odmiany. Zakres stosowanej uprawy i odmiana nie wpłynęły na rozkrzewienie roślin pszenicy, oraz liczbę roślin i kłosów na jednostce powierzchni. Istotnie wyższy plon ziarna uzyskano z obiektu z orką. Odmiany reagowały niejednakowo na zakres stosowanej uprawy.

Więszym spadkiem plonu, wskutek zmniejszenia intensywności uprawy, charakteryzowały się odmiany Formacja i Desamo. O zmienności plonów w zależności od czynników doświadczenia i zmiennych w latach warunków pogody decydował przede wszystkim plon ziarna z kłosa. Zakres uprawy późniejszej istotnie wpływał na wielkość wskaźnika sedymentacji, natomiast nie miał wpływu na ilość glutenu, indeks glutenu oraz liczbę opadania.

11. STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

W JĘZYKU ANGIELSKIM

Influence of post-harvest tillage extent on growth, development and yield of selected winter wheat cultivars sown by strip-till method

Keywords: winter wheat, variety, strip-till, strip tillage, grain yield, grain quality, biomass, growth, flag leaf

The aim of the research was to determine the effect of the extent of post-harvest tillage on the growth, development and yield of selected winter wheat cultivars grown using the striptill method. Field experiments set up in three growing seasons formed the basis for the research leading to this objective: 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021 at IUNG-PIB Kepa-Osiny Agricultural Experimental Stations, on black soil proper, classified as good wheat complex. The forecrop was winter wheat. The experiment was set up in a split-block arrangement with mirror image, in 4 repetitions. The first factor of the experiment were different ranges of tillage before sowing: ploughing (medium deep sowing ploughing, strip tillage combined with sowing wheat), simplified tillage (pulverised stubble with a disc aggregate, strip tillage combined with sowing wheat), zero-tillage (strip tillage of mulched stubble, combined with sowing wheat). The second factor were wheat cultivars differing considerably in origin (different breedings): Formacja, Metronom, Desamo. The results obtained were processed statistically. The effect of tillage method on the yield of the aboveground weight of wheat plants was unequal in the successive growth phases. In the initial growth period (tillering), the lowest value of this canopy trait was found in the treatment with ploughing. In later growth phases, it was the treatment with the highest aboveground weight. The genetic factor had a significant influence on plant growth rate. In each growth phase, the cultivar Metronom had the highest aboveground biomass yield. There was no interaction between cultivar and cultivation method in shaping the growth and development parameters of wheat plants. Flag leaf area and plant height did not depend on tillage and cultivar. The extent of tillage used and the cultivar did not affect the tillering of wheat plants, and the number of plants and ears per area unit. Significantly higher grain yield was obtained from the ploughed treatment. The cultivars responded unevenly to the extent of tillage applied. The Formacja and Desamo cultivars had a greater yield decrease due to reduced tillage intensity. The variability in yield depending on the experimental factors and weather conditions varying over the years was mainly determined by grain yield per ear. The extent of

post-harvest tillage significantly influenced the sedimentation index, while it had no effect on gluten amount, gluten index, or falling number.