

UNIwersytet  
Technologiczno-Przyrodniczy  
Im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich  
w Bydgoszczy



Wydział Rolnictwa  
i Biotechnologii



## ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Marek Różniak

OCENA MOŻLIWOŚCI UPRAWY PSZENICY OZIMEJ  
W TECHNOLOGII STRIP-TILL

**PROMOTOR**

DR HAB. INŻ. IWONA JASKULSKA, PROF. NADZW. UTP

BYDGOSZCZ  
2016



*Niniejszą pracę dedykuję Żonie i Dzieciom,  
bez których zrozumienia i wsparcia  
nie byłoby możliwe jej powstanie.*



## Spis treści

<b>1. WSTĘP</b> .....	7
<b>2. HIPOTEZA I CEL BADAŃ</b> .....	8
2.1. Hipoteza robocza.....	8
2.2. Cel główny i cele szczegółowe .....	8
<b>3. PRZEGLĄD LITERATURY</b> .....	9
<b>4. METODYKA BADAŃ</b> .....	23
4.1. Doświadczenie polowe .....	23
4.1.1. Lokalizacja i układ doświadczenia .....	23
4.1.2. Warunki siedliskowe.....	24
4.1.3. Warunki agrotechniczne .....	25
4.1.4. Obserwacje, pomiary i oznaczenia.....	27
4.2. Opracowanie wyników .....	28
<b>5. OMÓWIENIE WYNIKÓW</b> .....	30
5.1. Technologia uprawy roli, nawożenia i siewu a właściwości gleby .....	30
5.1.1. Gęstość objętościowa.....	30
5.1.1.1. Bezpośrednio po siewie .....	30
5.1.1.2. Wiosna – początek okresu wegetacji .....	31
5.1.1.3. Po zbiorze pszenicy ozimej.....	32
5.1.2. Wilgotność gleby .....	34
5.1.2.1. Łoże siewne .....	34
5.1.2.2. Okres wegetacji pszenicy ozimej.....	35
5.1.3. Zawartość azotu mineralnego .....	40
5.1.3.1. Jesień – koniec wegetacji pszenicy ozimej .....	40
5.1.3.2. Wiosna – wznowienie wegetacji pszenicy ozimej .....	42
5.1.3.3. Po zbiorze roślin .....	42
5.2. Cechy biometryczne i fizjologiczne roślin pszenicy ozimej .....	44
5.2.1. Obsada roślin .....	44
5.2.2. Równomierność obsady .....	45
5.2.3. Wskaźnik zieloności liścia flagowego .....	48
5.2.4. Obsada kłosów .....	49
5.2.5. Liczba ziaren w kłosie .....	50

5.2.6. Masa ziarna z kłosa .....	50
5.2.7. Plon ziarna .....	51
5.3. Jakość ziarna .....	52
5.3.1. Masa tysiąca ziaren .....	52
5.3.2. Gęstość ziarna w stanie zsypanym .....	52
5.3.3. Zawartość białka ogólnego .....	53
5.3.4. Zawartość glutenu mokrego .....	53
5.3.5. Wskaźnik sedimentacji .....	54
5.3.6. Liczba opadania .....	55
5.4. Efekt środowiskowy – właściwości gleby .....	55
5.4.1. Zawartość węgla organicznego .....	56
5.4.2. Zawartość azotu ogólnego .....	56
5.4.3. Stosunek C/N .....	57
5.4.4. pH gleby .....	58
5.4.5. Zawartość przyswajalnego fosforu .....	58
5.4.6. Zawartość przyswajalnego potasu .....	59
5.4.7. Zawartość przyswajalnego magnezu .....	60
5.4.8. Liczba bakterii .....	60
5.4.9. Liczba grzybów .....	61
5.4.10. Liczebność dżdżownic .....	62
5.4.11. Aktywność dehydrogenaz .....	62
5.4.12. Aktywność fosfataz .....	63
5.5. Nakłady .....	64
5.5.1. Zużycie paliwa .....	64
5.5.2. Czas pracy .....	67
<b>6. Dyskusja wyników .....</b>	<b>70</b>
<b>7. Wnioski .....</b>	<b>77</b>
<b>8. Literatura .....</b>	<b>78</b>
<b>Spis rycin .....</b>	<b>91</b>
<b>Spis tabel .....</b>	<b>93</b>
<b>Streszczenie .....</b>	<b>94</b>
<b>Summary .....</b>	<b>96</b>

## 1. WSTĘP

Współczesne rolnictwo, w tym polowa produkcja roślinna, powinno realizować cele produkcyjno-ekonomiczne oraz środowiskowe. Konieczna jest duża produkcja o dobrej jakości, wysoka efektywność nakładów, a jednocześnie ograniczanie niekorzystnego oddziaływania na środowisko. W agrotechnice należy preferować elementy, zabiegi i środki zwiększające wykorzystanie zasobów gleby i potencjału roślin, a ograniczać działania mało efektywne oraz zagrażające środowisku, co wpisuje się w ideę rolnictwa konserwującego i zrównoważonego rozwoju (Kassam i in. 2015, Kotecki 2015). Nowoczesne, proekologiczne technologie uprawy roślin powinny uwzględniać aktualne wyniki prac badawczych i rozwojowych, a zwłaszcza postęp biologiczny i techniczny. Jednocześnie ich elementy powinny efektywnie ten postęp wykorzystywać. Dużą rolę przywiązuje się do ograniczenia płużnej uprawy roli i zastępowania jej uprawą uproszczoną – bezorkową. Pozwala to zmniejszyć degradację gleby: erozję, przesuszenie, spadek zawartości materii organicznej, jak również ograniczyć emisję gazów cieplarnianych do atmosfery. Uprawa bezpłużna jest ponadto mniej energo- i czasochłonna (Święcicki i in. 2011).

Według Harasima (2009) jednym z podstawowych kierunków zmian w dotychczasowych technologiach uprawy roślin do 2020 roku będzie uproszczenie uprawy roli. Oznacza to m.in. zmniejszenie liczby uprawek w całokształcie uprawy, łączenie zabiegów uprawowych z siewem i nawożeniem, a przede wszystkim zastępowanie tradycyjnej uprawy - wykonywanej pługiem uprawą bezpłużną. Sposób i zakres uproszczeń zależy będzie od uwarunkowań środowiskowych, ekonomicznych i organizacyjnych, w których gospodarstwa rolne prowadzą polową produkcję roślinną oraz oczekiwanych korzyści i akceptacji ewentualnych skutków negatywnych. Uproszczenie uprawy roli może powodować obniżkę plonu i zwiększać presję agrofagów, ale jednocześnie zmniejsza nakłady paliwa, energii i pracy. Ograniczenie pracochłonności ułatwia organizację prac polowych i pozwala w wielu przypadkach dotrzymać optymalny termin siewu, zwłaszcza roślin ozimych po późno zbieranych przedplonach. Duże znaczenie produkcyjne i środowiskowe ma poprawa właściwości gleby, jak trwałość struktury gruzelkowej, zwiększenie zawartości materii organicznej oraz aktywności biologicznej, ograniczenie podatności na erozję wodną i wietrzną. Przejawy niekorzystnego oddziaływania klasycznej uprawy płużnej na środowisko oraz w wielu przypadkach na efekty produkcyjno-ekonomiczne czy organizacyjne polowej produkcji roślinnej są przesłankami do stosowania uprawy bezpłużnej i zerowej połączonej z siewem bezpośrednim. W niektórych krajach taka uprawa, choć także nie wolna od wad, stosowana jest na większości pól (Derpsch i in. 2011). Sposobem uprawy, który łączy w sobie zalety głębokiego spulchniania roli w miejscu wzrostu korzeni roślin i braku jakiegokolwiek mechanicznego oddziaływania narzędzi w międzyrzędziach, jest uprawa pasowa (ang. strip-till). Najczęściej jest ona stosowana w agrotechnice roślin wysiewanych w rzędach o szerokiej rozstawie, jak kukurydza czy okopowe (Zimny i in. 2015). Aktualnie konstrukcja niektórych nowoczesnych agregatów umożliwia wykorzystanie tej technologii również w uprawie zbóż.

## **2. HIPOTEZA I CEL BADAŃ**

### **2.1. Hipoteza robocza**

Założono, że głębokie spulchnienie pasa roli, w którym umieszczone zostają nawozy mineralne i materiał siewny oraz nieuprawione międzyrzędzia stwarzają nie mniej korzystne warunki do wzrostu i plonowania pszenicy ozimej niż klasyczna uprawa płuzna lub cało powierzchniowa uprawa bezpłuzna. W przypadku ewentualnego braku korzystnego wpływu technologii strip-till na plonowanie pszenicy ozimej nie mniej ważnym argumentem wskazującym na zasadność jej stosowania będzie korzystne oddziaływanie na niektóre właściwości gleby oraz redukcja nakładów paliwa i czasu pracy.

### **2.2. Cel główny i cele szczegółowe**

Celem głównym badań było określenie możliwości uprawy pszenicy ozimej w technologii strip-till poprzez porównanie jej efektów siedliskowych (właściwości gleby), produkcyjnych (plon ziarna i jego jakość) oraz ekonomiczno-organizacyjnych (nakłady paliwa i czasu pracy) z efektami klasycznej płuznej uprawy roli oraz uprawy bezorkowej uzupełnionych nawożeniem przedsiewnym i tradycyjnym siewem rzędowym.

Wobec tak sformułowanego celu głównego za cele szczegółowe przyjęto określenie wpływu sposobu uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu pszenicy ozimej na:

- właściwości fizyczne łoża siewnego i warstw niżej położonych (gęstość objętościowa, wilgotność) w okresie siewu i wegetacji pszenicy oraz po zbiorze roślin,
- zawartość azotu mineralnego w glebie,
- wschody roślin, elementy plonowania i plon ziarna,
- parametry jakości ziarna,
- zużycie paliwa i czasochłonność badanych elementów agrotechniki,
- zmiany środowiska glebowego w zakresie: pH, zasobności w makroskładniki, obecności mikroorganizmów i dżdżownic.



### 3. PRZEGLĄD LITERATURY

Zróżnicowanie technologii uprawy pszenicy ozimej stosowanych w Polsce i innych krajach wynika z wpływu wielu czynników – genetyczne, siedliskowe, agrotechniczne, ekonomiczne, polityczne – na jej efekty. Różne są także zakładane cele, które technologie te realizują. Oprócz maksymalizacji plonu i efektywności jego pozyskiwania oraz poprawy jakości ziarna, nie mniej ważne jest oddziaływanie na środowisko i aspekty społeczne (Korbas i Mrówczyński 2009, Kohansal i Aliabadi 2014, Schierhorn i in. 2014). Pszenica ozima uprawiana jest w Polsce w różnych systemach gospodarowania, od ekologicznego poprzez integrowany do konwencjonalnego. Różny jest zatem poziom nakładów oraz rodzaj, liczba i stopień intensywności stosowanych zabiegów agrotechnicznych (Kuś i in. 2007). W produkcji ekologicznej wyklucza się na ogół chemiczne środki produkcji – środki ochrony roślin i syntetyczne nawozy mineralne, tak charakterystyczne dla systemu intensywnego. Większe znaczenie mają natomiast takie elementy agrotechniki, jak: zmianowanie roślin, dobór odmiany i jakość materiału siewnego, uprawa roli, nawożenie organiczne, termin i gęstość siewu oraz niechemiczna ochrona roślin. W systemie integrowanym pszenica ozima uprawiana jest z użyciem przemysłowych środków produkcji, jak nawozy mineralne i chemiczne środki ochrony roślin, ale przy wykorzystaniu potencjału genetycznego roślin oraz beznakładowych i/lub niskonakładowych agrotechnicznych czynników produkcji, co zwiększa ich efektywność i ogranicza presję na środowisko (Jończyk i in. 2007). W literaturze przedmiotu znajduje się wiele innych określeń technologii uprawy pszenicy, które wskazują na różny poziom intensywności nakładów oraz zabiegów. Według Podolskiej i Sułek (2012) technologia oszczędna, to taka która wymaga mniejszych nakładów nawozów mineralnych i środków ochrony roślin, ale większej gęstości siewu niż technologia intensywna i integrowana. Oleksy i in. (2008) w zależności od wielkości nakładów nazywali technologie jako średnionakładową – niższy poziom agrotechniki oraz wysokonakładową – wyższy poziom agrotechniki. W technologii wysokonakładowej, w porównaniu z niższym poziomem agrotechniki, stosowano dwa zabiegi fungicydowe i jeden z użyciem regulatora wzrostu oraz większą o 40 kg ha<sup>-1</sup> dawką azotu. Zmniejszenie dawki azotu oraz rezygnację ze stosowania fungicydów, insektycydów i regulatorów wzrostu Rachoń i in. (2014) nazywają natomiast przeciętnym poziomem agrotechniki. Z kolei Buczek i Bobrecka-Jamro (2015) zróżnicowanie intensywności uprawy pszenicy ozimej określają jako technologie: ekstensywna, niskonakładowa, średnionakładowa i wysokonakładowa. Różniły się one dawkami nawozów mineralnych NPK oraz aplikacją: herbicydów, fungicydów, insektycydów i retardanta, przy czym w technologii ekstensywnej nie stosowano nawożenia mineralnego i środków ochrony roślin.

Każdy element agrotechniki wpływa na plonowanie pszenicy ozimej, jakość ziarna, efektywność ekonomiczną polowej produkcji roślinnej i środowisko, choć sposób i wielkość tego oddziaływania są różne. Według Oleksiaka (2011a, b) głównymi czynnikami kształtującymi plon ziarna w towarowych gospodarstwach rolnych są: odmiana i kwalifikowany materiał siewny, jakość gleby odpowiednia do wymagań gatunku,

nawożenie azotem, chemiczna ochrona roślin, a także wielkość gospodarstwa i jego położenie.

Najbardziej plonotwórczym elementem agrotechniki jest nawożenie, zwłaszcza azotem (Kocoń 2005). Azot wpływa nie tylko na plon, ale także jakość ziarna. Stankowski i Rutkowska (2006) stwierdzili, że wraz ze zwiększaniem dawki azotu od 0 do 160 kg ha<sup>-1</sup> oprócz plonu ziarna, wzrastały: masa tysiąca ziaren, gęstość ziarna w stanie zsypanym, zawartość białka i glutenu, wskaźnik sedymentacji. Zwiększała się także wartość cech farinograficznych ciasta: wodochłonność mąki, rezystencja ciasta i wartość walorymetryczna, a zmniejszało rozmiękczenie ciasta pszennego. W warunkach siedliskowych i agrotechnicznych polskiego rolnictwa największe plony pszenicy ozimej uzyskuje się po zastosowaniu nawet 200 kg N ha<sup>-1</sup> (Murawska i in. 2015). Dawka optymalna zależy jednak od wielu czynników, np. gleby, przebiegu pogody, przedplonu, odmiany, terminu i gęstości siewu (Bednarek i in. 2009, Kotwica i in. 2011). Tak duża dawka nie zawsze jest uzasadniona wielkością plonów i rachunkiem ekonomicznym. Podolska i in. (2005) dokonując ekonomicznej i jakościowej oceny uprawy pszenicy ozimej przy nawożeniu azotem w dawkach od 0 do 200 kg N ha<sup>-1</sup> stwierdzili, że maksymalny określony równaniem regresji plon wystąpił po zastosowaniu około 140 kg N ha<sup>-1</sup>. Wartość cech jakościowych ziarna, mąki i ciasta, jak: zawartość białka i glutenu, wskaźnik sedymentacji, wodochłonność mąki, rezystencja ciasta i wartość walorymetryczna zwiększała się natomiast liniowo wraz ze wzrostem dawki azotu do 200 kg N ha<sup>-1</sup>. Po przekroczeniu dawki 120 kg N ha<sup>-1</sup> niekorzystnie wypadła ocena ekonomiczna uprawy pszenicy ozimej. Zwiększyły się koszty bezpośrednie oraz nakłady pracy ludzkiej i mechanicznej.

Reakcja pszenicy ozimej na nawożenie fosforem i potasem jest słabsza niż azotem. Korzystne oddziaływanie tych składników na plon i niektóre cechy jakości ziarna, np. zawartość białka i glutenu, występuje głównie na glebach o niskiej zasobności w przyzwajalne ich formy (Klupeczyński i in. 2001, Mercik i Stępień 2001). Z badań Jaskulskiej i in. (2015) wynika, że długotrwały brak w nawożeniu pszenicy ozimej choćby jednego z podstawowych makroskładników powoduje pogorszenie fizycznych cech ziarna. Przy braku fosforu i potasu stwierdzono w plonie mniejszy udział ziarna największego, frakcji >2,8 mm, a większy ziarna małego, frakcji 2,2–2,5 mm. Z przeglądu badań dokonanego przez Kocoń (2005) wynika, że ważnymi składnikami w agrotechnice pszenicy ozimej, zwłaszcza wysokich jej plonów i dobrej jakości ziarna, są magnez i siarka oraz mikroelementy.

Równie ważnym jak dawka i rodzaj nawozu jest sposób jego stosowania, gdyż wpływa on nie tylko na plonowanie roślin, ale również na koszty i wartość produkcji (Sztuder i Kaus 2007). Dogłębowa aplikacja nawozów polega na ich rozrzuceniu na całej powierzchni pola, a następnie wymieszaniu lub nie z wierzchnią warstwą gleby. Innym sposobem jest nawożenie zlokalizowane, w którym nawozy umieszczane są rzędowo lub taśmowo w sąsiedztwie rzędów nasion lub roślin. Od wielu lat na całym świecie trwają badania nad najbardziej efektywnymi sposobami stosowania nawozów w zależności od warunków siedliskowych – glebowych i klimatycznych oraz agrotechnicznych, w tym systemu uprawy roli (Randall i Hoefl 1988, Radhika i in. 2013). Nawożenie zlokalizowane stosowane jest zwłaszcza w uprawie kukurydzy i innych roślin wysiewanych w rzędach o szerokiej rozstawie (Mallarino i Borges 2006, Michalski i Kowalik 2007).

Taki sposób nawożenia z wglębną lokalizacją nawozów jest szczególnie uzasadniony w zredukowanych systemach uprawy roli z siewem bezpośrednim, w których nie ma możliwości wymieszania nawozów z glebą (Stanisławska-Głubiak i Korzeniowska 2010). Cytowane autorki badając wpływ nawożenia zlokalizowanego PKMg na plonowanie kukurydzy i grochu, a także skład chemiczny biomasy tych roślin stwierdziły, że w zależności od roku badań plony ziarna kukurydzy w wyniku nawożenia wglębnego były podobne lub gorsze niż po nawożeniu rzutowym zarówno na glebie uprawianej tradycyjnie, jak i po siewie bezpośrednim. Plony grochu były natomiast podobne lub większe. Zmniejszenie dawek nawozów o 33% i 50% z ich aplikacją wglębną do gleby o średniej zasobności w przyswajalne formy fosforu, potasu i magnezu nie spowodowało zmniejszenia plonów kukurydzy po tradycyjnej uprawie roli i po siewie bezpośrednim. Zmianie nie uległy także zawartości tych składników w ziarnie. Redukcja dawek w uprawie grochu w niektórych latach spowodowała zmniejszenie plonu, ale nie wpłynęła istotnie na zawartość P, K i Mg w nasionach.

W literaturze przedmiotu znacznie mniej jest wyników badań dotyczących efektów nawożenia zlokalizowanego w agrotechnice zbóż uprawianych w rzędach o wąskiej rozstawie, zwłaszcza w zredukowanych systemach uprawy roli (Petersen 2007). W Polsce badania takie prowadzili m.in. Stanisławska-Głubiak i in. (2005) oraz Korzeniowska i Stanisławska-Głubiak (2006). Autorzy stosując siew bezpośredni zbóż w glebę o średniej zasobności w przyswajalny fosfor, potas i magnez nie stwierdzili przewagi nawożenia wglębnego PKMg nad rzutowym. Efekty takiej aplikacji nawozów zależały od przebiegu pogody i były lepsze w warunkach niedoboru opadów. Nawożenie zlokalizowane pozwoliło również zmniejszyć dawki o 33% bez negatywnego wpływu na plon i skład chemiczny ziarna jęczmienia jarego, owsa i w pewnym stopniu pszenicy ozimej. Mniejsze dawki nawozów oraz redukcja liczby zabiegów ich aplikacji pozwalają ograniczyć koszty, a także skrócić czas przygotowania roli do siewu (Michalski i Kowalik 2007). Ograniczenie czasu niezbędnego do wykonania zabiegów agrotechnicznych po zbiorze przedplonu pozwala w niektórych zmianowaniach dotrzymać optymalnego terminu siewu rośliny następczej.

Termin siewu jest beznakładowym elementem technologii wpływającym istotnie na plonowanie i jakość ziarna pszenicy ozimej. Zarówno termin zbyt wczesny, jak i opóźniony powoduje zmniejszenie plonu. Według Podolskiej i Wyzińskiej (2011) od terminu siewu pszenicy ozimej zależy długość całego okresu jej wegetacji oraz kolejnych faz rozwojowych. Opóźnienie siewu spowodowało wydłużenie okresu siew – wschody i wschody – krzewienie, a skrócenie fazy krzewienia oraz okresu od strzelania w źdźbło do kłoszenia. W zależności od roku badań opóźnienie terminu siewu o dwa tygodnie spowodowało zmniejszenie plonu ziarna o 15-16%, a czterotygodniowe skutkowało redukcją plonu o 26-36%. Przyczyną różnic plonów było zmniejszenie obsady kłosów oraz masy ziarna z kłosa i rośliny. Dubis i Budzyński (2006) wykazali natomiast, że siew pszenicy ozimej o 10-14 dni wcześniej niż w terminie przyjętym za optymalny wpłynął korzystnie na obsadę kłosów i liczbę ziaren w kłosie, spowodował natomiast zwiększone porażenie roślin przez *Septoria nodorum* i redukcję masy tysiąca ziaren, co zmniejszyło plon ziarna. Wyniki wcześniejszych badań krajowych nad wpływem terminu siewu pszenicy ozimej na jej plonowanie są zróżnicowane. Dmowski (1993) stwierdził, że pszenica wysiewana

wcześniej plonowała, w zależności od regionu Polski, o 18-24% gorzej niż wysiana w terminie optymalnym. Według Śniadego i Sobkowicza (1999) wcześniejszy termin siewu spowodował natomiast wzrost plonu ziarna o 16%. Także badania przeprowadzone w Anglii przez Sainis i in. (2006) oraz Theobald i in. (2006) wskazują, że w warunkach wczesnego siewu i jednocześnie małej jego gęstości można uzyskać duże plony ziarna.

Dotrzymanie optymalnego terminu siewu, a zwłaszcza siew roślin ozimych w terminach wczesnych po późno zbieranych przedplonach wymaga często ograniczenia innych zabiegów agrotechnicznych i elementów technologii lub ich łącznego, scalonego stosowania przy zachowaniu korzystnego oddziaływania na właściwości gleby. Dotyczy to głównie uprawy roli i nawożenia. Postępowanie takie jest możliwe dzięki postępowi technicznemu. Jego efektem są m.in. agregaty narzędzi i maszyn wykorzystywane we współczesnych technologiach polowej produkcji roślinnej. Zbytek i Talarczyk (2012) podkreślają, że prace w tym zakresie koncentrują się na jednoczesnym wykonywaniu wielu zabiegów, aby cele agrotechniczne realizować w trakcie jednego przejazdu agregatu. Nowe technologie rolnicze powinny być energooszczędne, wymagające małej liczby przejazdów agregatami z stosunkowo dużą prędkością roboczą. Według Golki i Ptaszyńskiego (2014) zastąpienie tradycyjnej płuźnej uprawy roli w zmianowaniu roślin o pięcioletniej rotacji uprawą bezorkową z wykorzystaniem agregatów umożliwiło ograniczenie liczby zabiegów agrotechnicznych z 19 wykonywanych przy użyciu 9 narzędzi do 8 z zaangażowaniem 3 narzędzi. Jednocześnie nakłady energii zmniejszyły się z  $1031 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$  do  $423 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Współcześnie konstruowane są również agregaty do pasowej uprawy roli. Talarczyk i in. (2015) zaprezentowali agregat do jednoczesnej uprawy wąskiego pasa roli, umieszczania w nim nawozu mineralnego oraz siewu nasion kukurydzy.

Uprawa roli we współczesnym rolnictwie realizowana jest na wiele różnych sposobów. W literaturze krajowej i światowej nomenklatura w tym zakresie jest niejednoznaczna (Dzienia i in. 2003). Powszechnie wyróżnia się systemy uprawy płuźnej, bezpłuźnej i zerowej z siewem bezpośrednim. Uprawa płuźna, nazywana też orkową, klasyczną, tradycyjną, definiowana jest przez Radeckiego i in. (2002) jako sposób uprawy realizowany głównie przy użyciu pługa. Orka jest więc podstawową uprawką, która odwraca rolę, ale wymaga zastosowania uprawek uzupełniających: wyrównujących, spulchniających, ugniatających, kruszących. Uprawa ta jest praco-, energo- i czasochłonna. Uprawa bezpłuźna wykonywana jest natomiast bez użycia pługa. Gleba nie jest odwracana, tylko spulchniana i mieszana, a na jej powierzchni pozostaje duża ilość resztek roślinnych. W tym celu wykorzystywane są narzędzia bierne i aktywne. Taki sposób uprawy pozwala ograniczać nakłady czasu i paliwa, a gdy ponad 30% resztek poźniwnych znajduje się na powierzchni gleby nazywany jest uprawą konserwującą. Zadania te najlepiej spełnia jednak uprawa zerowa i siew bezpośredni. Według powyższych autorów uprawa ta polega na braku jakichkolwiek zabiegów mechanicznych od momentu zbioru przedplonu. Chwasty i samosiewy niszczone są herbicydami, a siew rośliny następczej odbywa się za pomocą siewników wyposażonych w redlice umieszczające nasiona w glebie nieuprawionej, np. talerzowe lub kultywatorowe. Townsend i in. (2016) opisują liczne sposoby uprawy roli wyróżniając przede wszystkim te, które odwracają glebę i nieodwra-

cające. Do pierwszej grupy należy uprawa konwencjonalna, płużna. Jej istotą jest wykonywanie orki, która odwraca rolę, silnie ją spulchnia, przykrywa resztki poźniwne i chwasty. Po orce wykonywana jest na ogół uprawa uzupełniająca narzędziami biernymi lub aktywnymi. Czasem do uprawy klasycznej zalicza się również głęboką uprawę bezpłużną. Drugą grupę obejmują różne sposoby uprawy nieodwracającej gleby nazywane też uprawą zredukowaną lub minimalną. Uprawa ta może być stosunkowo głęboka, ponad 10 – 15 cm lub płytka – do 10 cm. Po jej wykonaniu ponad 30% resztek poźniwnych pozostaje na powierzchni gleby. W przypadku, gdy uprawiane są tylko pasy gleby, w których wysiewa się nasiona, o łącznej szerokości do 1/3 powierzchni pola, a resztki roślinne umieszczane między nimi, uprawa nazywana jest pasową (ang. strip-till). Według autorów uprawa zerowa (ang. zero-tillage/no-till/direct drilling) obejmuje zabieg umieszczenia nasion rośliny następczej bezpośrednio w ściernisko przedplonu przy minimalnej ingerencji w glebę.

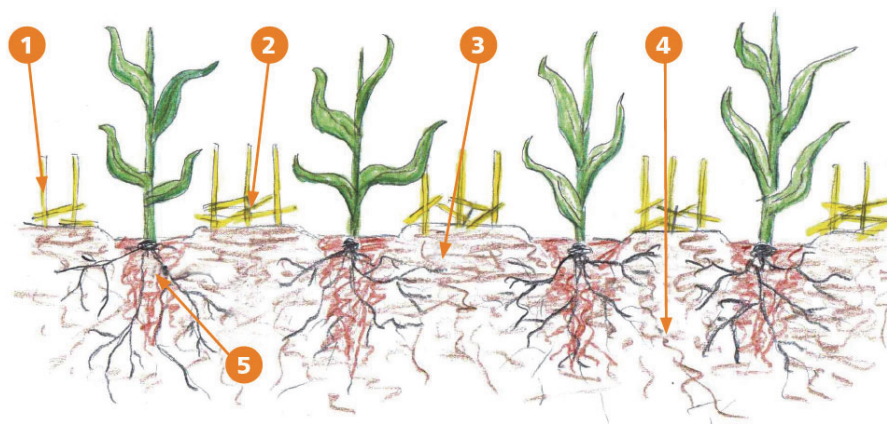
We współczesnej polowej produkcji roślinnej, zwłaszcza w większości krajów europejskich, dominuje system uprawy klasycznej, płużnej. Z opracowania Kertesza i Madarasz (2014) wynika, że w Polsce, Irlandii i Chorwacji ponad 90% powierzchni użytków rolnych uprawianych jest klasycznie. Uprawa ta dominuje również w: Danii, Norwegii, Holandii, Belgii, Włoszech, Litwie, Łotwie, Rumunii i na Węgrzech. W krajach tych ponad 80% powierzchni gruntów ornych uprawia się płużnie. Klasyczna uprawa płużna mimo ugruntowanej pozycji w światowym i polskim rolnictwie ma również wady, co przejawia się w niekorzystnym wpływie na właściwości gleby i inne elementy środowiska. Według Zimnego (2002) do mankamentów orki należą: destrukcja wierzchniej, ochronnej warstwy gleby pokrytej resztkami roślinnymi; spulchnienie i ograniczenie nośności gleby; niszczenie agregatów glebowych; nasilanie procesu erozyjnego; silne napowietrzenie i przesuszanie gleby; szybka mineralizacja substancji organicznej; głębokie umieszczanie materiału organicznego, w tym nasion chwastów i roślin uprawnych po ich osypaniu się przed zbiorem; wyorywanie kamieni, gleby mało żyznej i nasion chwastów; ograniczanie rozwoju organizmów glebowych; zagęszczanie warstw podornych, powstawanie podszwy płużnej i skorupy glebowej na powierzchni; wąski zakres optymalnej wilgotności do wykonania orki i uprawek doprawiających łożę siewne; konieczność zagęszczenia silnie spulchnionej gleby lub naturalnego odleżenia; duża czasochłonność i energochłonność orki oraz całokształtu uprawy. Mankamenty rolnicze i środowiskowe płużnego systemu uprawy roli były i są inspiracją do poszukiwania oraz doskonalenia innych, bezorkowych systemów i sposobów przygotowania gleby do uprawy roślin.

Minimalna ingerencja mechaniczna w glebę, zwłaszcza uprawa zerowa, także strip-till jeżeli szerokość spulchnianych pasów nie obejmuje więcej niż 25% powierzchni, a ponadto duża ilość resztek roślinnych okrywających jej powierzchnię są podstawowymi elementami rolnictwa konserwującego (ang. conservation agriculture). Konserwująca uprawa roli ma istotny, często bardzo korzystny wpływ na rolnicze właściwości gleby: fizyczne, chemiczne i biologiczne, wzrost i plonowanie roślin oraz elementy środowiska, jak gleba, woda, powietrze (Busari i in. 2015). Z opracowania Friedricha i in. (2012) wynika, że koncepcja rolnictwa konserwującego powstała w latach 40. XX wieku w USA, zwłaszcza po rozwoju konstrukcji maszyn do siewu bez uprawy

roli. W latach 70. uprawę zerową rozpoczęto adaptować do warunków Ameryki Południowej – Brazylii i Afryki Zachodniej, a następnie w innych krajach i różnych kontynentach. Obecnie praktyka ta jest stosowana przez rolników od koła podbiegunowego – Finlandia przez tropik (Uganda, Kenia) do 50° szerokości południowej, od poziomu morza do 3000 m wysokości (Kolumbia, Boliwia). Jest ona realizowana zarówno w warunkach posusznych (250 mm opadów rocznie) do rejonów obfitujących w opady (2000-3000 mm), na glebach lekkich piaszczystych i ciężkich gliniastych oraz w gospodarstwach małych, o powierzchni nawet poniżej 0,5 ha (Zambia, Chiny), jak i tych liczących tysiące hektarów (np. Brazylia, Argentyna, Kazachstan). W pierwszej dekadzie XXI wieku areal rolnictwa konserwującego w świecie wynosi około 125 mln ha, czyli blisko 10% gruntów ornych. Największa część tego obszaru – 45% znajduje się w Ameryce Południowej, a reszta w: Ameryce Północnej – 32%, Australii i Nowej Zelandii – 14%, Azji – 4%, Rosji i Ukrainie – 3%, Europie – 1%, Afryce – 1%. Trzy kraje o największej powierzchni rolnictwa konserwującego to Stany Zjednoczone, Argentyna i Brazylia. W każdym z nich areal gleb o zredukowanej uprawie wynosi ponad 25 mln ha. Od 15 lat powierzchnia uprawy zerowej zwiększa się przeciętnie o 6 mln ha rocznie. W 1999 wynosiła około 45 mln ha, w 2003 – 72 mln ha, a w 2009 ponad 110 mln ha (Derpsch i in. 2010).

Jednym z istotnych sposobów zredukowanej uprawy roli, w trakcie której nie następuje jej odwracanie jest strip-till. Morris i in. (2010) w opracowaniu przeglądowym dotyczącym aktualnej wiedzy na temat uprawy roli i zawierającym poglądy różnych autorów klasyfikują strip-till jako modyfikację uprawy zerowej, siewu bezpośredniego, gdzie spulchniany pas gleby jest mniejszy niż jedna trzecia powierzchni pola. W Stanach Zjednoczonych pasy te mają najczęściej 10 - 30 cm szerokości. Resztki roślinne, około 60-75%, usuwane są ze spulchnianego pasa i umieszczane w międzyrzędziach. Gleba w wąskim pasie jest spulchniana najczęściej przy użyciu zęba-noża, którego konstrukcja zależy od zadań jakie musi spełnić i warunków w jakich pracuje. Nasiona w uprawianej glebie wysiewa się jesienią lub wiosną. Uprawa pasowa zabezpiecza glebę przed erozją wodną i wietrzną oraz nadmiernym parowaniem wody.

Jeden z producentów maszyn do pasowej uprawy roli oraz jednoczesnej aplikacji nawozów mineralnych i siewu nasion przedstawia istotę uprawy strip-till, jak na rysunku 1.



1. Długie ściernisko chroniące powierzchnię gleby przed erozją.
2. Rozdrobniona słoma ograniczająca parowanie wody i zwiększająca aktywność dżdżownic.
3. Niespulchniona gleba zapewniająca obecność wody kapilarnej
4. Gleba nieuprawiona, bogata w składniki pokarmowe, tlen i wodę niezbędne do wzrostu korzeni.
5. Pas spulchniony, zapewniający bardzo dobre warunki do kiełkowania nasion i wzrostu roślin.

Rys. 1. Schemat istoty pasowej uprawy roli

Źródło: <http://www.mzuri.eu/about-us/strip-tillage.php> (Mzuri 2016)

Walory gospodarcze i środowiskowe uprawy pasowej powodują, że areal gleb uprawianych tym sposobem zwiększa się dynamicznie. Raport firmy Monsanto zawiera dane wskazujące, że w przeciągu pierwszej dekady XXI wieku powierzchnia uprawy strip-till w trzech stanach USA zwiększyła się 12-13-krotnie (Raport Monsanto 2011). Uprawa ta znajduje zastosowanie głównie w agrotechnice roślin wysiewanych w rzędach o szerokiej rozstawie. W wielu krajach świata prowadzone są badania nad efektywnością rolniczą i środowiskową strip-till, np. w uprawie: kukurydzy (Trevini i in. 2013), ryżu (Islam i in. 2014), buraka cukrowego (Morris i in. 2007), orzeszków arachidowych (Jackson i in. 2011), tytoniu (Gooden i in. 2008), warzyw (Übelhör i in. 2014) i innych (Wiatrak i in. 2005). W polskiej literaturze naukowej brakuje szerokich opracowań dotyczących pasowej uprawy roli, a nieliczne z nich dotyczą agrotechniki kukurydzy (Piechota i in. 2014). Pojawiają się również doniesienia naukowe i popularno-naukowe o stosowaniu technologii strip-till w agrotechnice roślin sianych w węższej niż kukurydza rozstawie rzędów, np. rzepak ozimy (Zych i Zimny 2014, Jaskulska i in. 2015, Jaskulski i in. 2016).

Uprawa roli jest elementem agrotechniki silnie wpływającym na nasilenie erozji wodnej oraz wietrznej gleb. Proces ten powoduje, zwłaszcza w warunkach fizjograficznych i topograficznych sprzyjających jego występowaniu, duże straty nie tylko samej gleby, ale również składników pokarmowych czy środków ochrony roślin. W wielu krajach Europy strata gleby erodowanej wynosi nawet 10-15 ton rocznie z powierzchni jednego hektara (Cerdan i in. 2010). Ulen i in. (2012) na podstawie wyników badań prowadzonych w krajach Europy północnej wskazują, że w Norwegii w ciągu roku z powierzchni 1 ha zmywane jest od 0,01 do 3,67 t gleby, a strata fosforu wynosi 0,03-4,69 kg P·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>. W Szwecji wielkości te były podobne i wyniosły odpowiednio

0,01-3,35 t ha<sup>-1</sup>rok<sup>-1</sup> i 0,05-3,13 kg P ha<sup>-1</sup>rok<sup>-1</sup>. Duży wpływ na nasilenie erozji miał sposób i termin uprawy roli. Wykonanie uprawy płużnej wiosną zamiast jesienią spowodowało 2-8-krotne zmniejszenie nasilenia erozji, a zastąpienie tradycyjnej uprawy płużnej przez siew bezpośredni zredukowało straty gleby 3-7-krotnie.

Uprawa strip-till pozwala ograniczyć ryzyko erozji gleby. Laufer i in. (2016) porównując uprawę pasową, uprawę uproszczoną cało powierzchniową i intensywną z obecnością orki w agrotechnice buraka cukrowego stwierdzili dużą efektywność upraw uproszczonych w ochronie powierzchni gleby. Po uprawie strip-till zmyw powierzchniowy był o 92% mniejszy niż po uprawie intensywnej, co wynikało ze zwiększonej infiltracji w wyniku aktywności dżdżownic i mniejszego oporu penetracji. Ponadto zredukowana intensywność uprawy spowodowała pozostawanie na powierzchni gleby większej ilości resztek roślinnych. Zarówno strip-till, jak i uprawa uproszczona zmniejszyły również straty erozyjne gleby, odpowiednio o 98% i 85% w porównaniu z uprawą intensywną. Było to spowodowane mniejszym spływem powierzchniowym i większą trwałością agregatów glebowych. Uprawa konserwująca pozostawiająca duże ilości resztek poźniwnych, głównie słomy, wpływa korzystnie na trwałość agregatów glebowych. Podkreśla to wielu autorów, zwłaszcza prowadzących badania wieloletnie (Hernanz i in. 2002, Li i in. 2007). Al-Kaisi i in. (2014) porównując wpływ pięciu systemów uprawy roli, m.in.: uprawy zerowej, strip-till i uprawy płużnej na strukturę gleby stwierdzili, że stabilność mikroagregatów (0,053-0,25 mm) pod wpływem uwodnienia była znacznie większa niż makroagregatów (0,5-2 mm). Najkorzystniej na stabilność zarówno agregatów małych, jak i dużych oddziaływała uprawa uproszczona, tj. zerowa i strip-till, choć różnica w stosunku do systemów bardziej intensywnych, w tym uprawy płużnej nie była duża. Autorzy stwierdzili natomiast istotną dodatnią korelację między zawartością węgla organicznego w glebie a wodoodpornością mikro- i makroagregatów. Fernández i in. (2015) prowadząc badania wpływu uprawy zerowej i pasowej na wiele właściwości fizycznych gleby, mimo korzystnego oddziaływania strip-till na gromadzenie materii organicznej, gęstość gleby, opór penetracji, nie stwierdzili większej trwałości agregatów glebowych i lepszej infiltracji wody.

Erozja oraz zmyw powierzchniowy gleby są także problemem rolniczym i środowiskowym w Polsce. Według badań IUNG-PIB około 20% użytków rolnych narażone jest na erozję wodną. Ograniczenie jej skutków możliwe jest przez ograniczenie intensywności uprawy roli. Zastąpienie uprawy płużnej przez uproszczoną uprawę spulchniającą, a zwłaszcza siew bezpośredni powoduje: nawet 6-krotne zmniejszenie strat gleby i materii organicznej, ograniczenie spływu powierzchniowego o około 60-66%, zmniejszenie utraty związków biogennych nawet o 75% i innych składników mineralnych, jak potas, wapń, magnez. W symulowanych warunkach opadowych, 27,5 mm w czasie 20 min., straty próchnicy na obiekcie z konserwującą uprawą roli były około 2,5-3,5-krotnie mniejsze niż po orce. Podobne relacje obserwowano w stracie fosforu, potasu, magnezu i azotu mineralnego (Jadczyżyn i in. 2010, Smagacz 2011).

Resztki roślinne, w tym słoma, biomasa międzyplonów są podstawowym źródłem glebowej materii organicznej. Szybkość i kierunek przemian biomasy roślinnej wnoszonej do gleby zależy jednak w dużym stopniu od innych elementów agrotechniki, jak zmiana



nowanie roślin i uprawa roli. Według Powlson i in. (2012) w wyniku zastąpienia intensywnej uprawy roli uprawą uproszczoną w warunkach Wielkiej Brytanii można zwiększyć zawartość węgla organicznego w glebie o  $310 \pm 180 \text{ kg C ha}^{-1}$  rocznie. Podobnie na zawartość materii organicznej w glebie wpływa stosowanie różnych nawozów i materiałów pochodzenia organicznego, w tym słomy zbóż –  $50 \pm 15 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ . Zhu i in. (2014) badali wpływ płuznej i aktywnie spulchniającej uprawy roli, stosowania słomy oraz interakcji tych zabiegów agrotechnicznych na zawartość ogólną węgla organicznego i frakcji ruchomych w trzech warstwach gleby: 0-7, 7-14, 14-21 cm. Słoma pszenicy i ryżu wpłynęła na zawartość węgla ogółem oraz frakcji ruchomych: szybko utleniającej się, rozpuszczalnej i węgla mikroorganizmów. Na głębokości 0-7 cm węgiel mikroorganizmów gromadził się głównie w wyniku uprawy płuznej, a szybko utleniający się po uprawie spulchniającej. Uprawa spulchniająca sprzyjała również ogólnej zawartości węgla organicznego w warstwie gleby 7-14 cm. Natomiast w warstwie 14-21 cm więcej węgla ogółem, rozpuszczalnego i mikroorganizmów, ale nie szybko utleniającego się, występowało po uprawie płuznej. Według Lenarta i Perzanowskiej (2013) sposób wieloletniej uprawy roli wpływa nie tylko na zawartość węgla organicznego ogółem, ale również jego lekkich frakcji o wielkości cząstek 2-0,05 mm oraz frakcji zhumifikowanej o średnicy cząstek  $<0,05 \text{ mm}$  i związanych z iłem i pyłem. Siew bezpośredni stosowany od 1975 roku spowodował, w porównaniu z uprawą płuzną, wzrost zawartości węgla organicznego ogółem w warstwie gleby 0-10 cm o 33%. W warstwie głębszej zawartość węgla ogółem nie zależała od systemu uprawy roli. Pod jego wpływem większym zmianom ulegała zawartość frakcji lekkiej i zhumifikowanej. Na powierzchni gleby nagromadzenie frakcji lekkiej węgla w wyniku wieloletniego siewu bezpośredniego było o około 70% większe niż po uprawie płuznej, natomiast w warstwie 10-20 cm tej frakcji węgla było o blisko 50% więcej w glebie oranej niż po siewie bezpośrednim. Pod jego wpływem, w porównaniu z uprawą płuzną, stwierdzono również większą zawartość węgla zhumifikowanego w warstwie powierzchniowej 0-10 cm. System uprawy roli nie wpłynął natomiast na zawartość tej frakcji węgla w warstwie niżej położonej, 10-20 cm.

Strickland i in. (2015) wskazują, że po 5 latach agrotechniki roślin jarych według zasad rolnictwa konserwującego, z zimowym okryciem gleby żytem i grochem, a następnie uprawą strip-till, poprawie uległy właściwości gleby. Zawartość węgla zwiększyła się o  $20 \text{ t ha}^{-1}$ , a azotu o  $2 \text{ t ha}^{-1}$ . Większość węgla organicznego, tj. 72% do 80% odłożyła się w warstwie powierzchniowej 0-35 cm. Spiegel i in. (2007) po blisko 20 latach badań wpływu różnych systemów uprawy roli na właściwości gleby stwierdzili wyraźny trend wzrostu zawartości węgla organicznego w wierzchniej 10 cm warstwie gleby uprawianej płytko, na głębokość 5-8 cm. W glebie spulchnianej głęboko i uprawianej płuznie wystąpił natomiast trend spadku zawartości węgla w warstwie powierzchniowej. Sposób uprawy roli nie wpłynął natomiast na koncentrację węgla organicznego w warstwie głębszej, tj. 20-30 cm. Wpływ systemu uprawy roli na zawartość azotu ogólnego był podobny jak na węgiel organiczny, zwłaszcza w wierzchniej warstwie gleby. Uprawa spulchniająca, zwłaszcza płytko, spowodowała, że na głębokości 0-10 cm występowało kilkakrotnie więcej azotu ulegającego mineralizacji niż w warstwie 20-30 cm. Różnica taka nie występowała natomiast w glebie uprawianej płuznie.

Autorzy cytowani powyżej stwierdzili nie tylko wpływ uprawy roli na zawartość materii organicznej w glebie, ale również na inne właściwości chemiczne. Po 19 latach trwania doświadczenia polowego wskazują na gromadzenie się składników pokarmowych, jak azot, fosfor i potas, w górnej warstwie gleby, co przy minimalnej spulchniającej uprawie roli pozwala na redukcję nawożenia. Na obiekcie z uprawą minimalną zawartość przyswajalnego fosforu w warstwie gleby 0-10 cm zwiększyła się prawie dwukrotnie, a potasu 2,5-krotnie. Zawartość tych składników w glebie uprawianej płuznie pozostawała natomiast na niezmiennym poziomie. Nie stwierdzono również istotnych zmian pH gleby w badanym okresie. Zaznaczyła się tylko niewielka tendencja obniżenia pH gleby warstwy powierzchniowej pod wpływem uprawy minimalnej. Wiele badań nad skutkami uproszczeń uprawy roli dotyczy zmian zasobności gleby i jej pionowego zróżnicowania. Ich wyniki najczęściej, choć nie zawsze, wskazują, że po zaprzestaniu uprawy płuznej i wprowadzeniu uprawy uproszczonej, w tym strip-till (Islam i in. 2015), następuje nagromadzenie się składników pokarmowych w wierzchniej warstwie gleby (Costa i in. 2010, Gadermaier i 2012). Dotyczy to zwłaszcza różnych form fosforu. Wang i in. (2011) już po trzech latach badań stwierdzili istotny wpływ sposobu uprawy roli i wnoszonych do gleby resztek roślinnych na zawartość różnych form fosforu i aktywność fosfatazy. Uprawa zerowa, w porównaniu z płuzną, spowodowała wzrost zawartości fosforu ogólnego i organicznego, nie miała natomiast wpływu na ilość przyswajalnej formy tego makroskładnika. Na obiekcie tym większa była również aktywność fosfomonoesterazy zasadowej i nieorganicznej pirofosfatazy. Uprawa płuzna sprzyjała natomiast aktywności fosfodiesterazy.

Wyniki badań wskazują, że pod wpływem uprawy uproszczonej i siewu bezpośredniego następuje na ogół kumulacja w wierzchniej warstwie gleby także innych makro- i mikroskładników oraz często obniża się pH. Bravo i in. (2007) wskazują, że po 22 latach siewu bezpośredniego w warstwie 0-10 cm występowało więcej wymiennego potasu niż po uprawie płuznej. Zależności takiej nie stwierdzono jednak w odniesieniu do wapnia. Podobnie w badaniach Neugschwandtner i in. (2014) pH gleby oraz zawartość  $\text{CaCO}_3$  nie zależały od wieloletniego sposobu uprawy roli, choć pod wpływem uproszczonej uprawy zwiększyła się zawartość azotu ulegającego mineralizacji oraz przyswajalnych form fosforu i potasu w wierzchniej warstwie. Murillo i in. (2004) wskazują natomiast, że uprawa konserwująca w stosunku do klasycznej, zmniejszyła straty węglanu wapnia i jednocześnie przyczyniła się do zwiększenia zasobności wierzchnich warstw gleby (0-5 cm i 5-10 cm) w przyswajalny fosfor i potas. Z kolei De Santiago i in. (2008) stwierdzili większą koncentrację mikroelementów: manganu, cynku i miedzi w 0-5 cm warstwie gleby uprawianej płytko powierzchniowo w porównaniu z uprawianą klasycznie.

W warunkach środowiskowych Polski zmiany właściwości chemicznych gleby pod wpływem uproszczeń uprawy są podobne. Z opracowania Wróbla i Nowak-Winiarskiej (2007) wynika, że zastąpienie uprawy tradycyjnej uproszczoną lub zerową spowodowało spadek wartości pH oraz zwiększenie zawartości przyswajalnych form makro- i mikroelementów: fosforu, potasu, magnezu, boru, miedzi, żelaza, manganu, cynku, molibdenu w warstwie 0-5 cm, przy braku większych zmian zasobności gleby na głębokości 10-15 cm.

Uprawa roli silnie oddziałuje na właściwości fizyczne gleby. W zależności od jego sposobu czy systemu zmianie ulegają: gęstość, zwięzłość, porowatość, wilgotność, temperatura. Zmiany te zachodzą na różnych głębokościach. Chociaż wyniki nie zawsze są jednoznaczne, to najczęściej wskazują, że pod wpływem uprawy uproszczonej, nieodwracającej gleby i spłyconej oraz uprawy zerowej i siewu bezpośredniego następuje poprawa właściwości gleby. Struktura gruzelkowata staje się stabilna, zmniejsza się zwięzłość gleby, poprawia wilgotność. Peigne i in. (2007) podkreślają, że zmiany właściwości fizycznych gleby zachodzą w czasie i początkowo, po zmianie systemu z płuznego na bezpłuzny, mogą być nawet mniej korzystne dla roślin. Zwiększeniu może ulec zwięzłość gleby czy gęstość objętościowa, zwłaszcza warstw powierzchniowych. Autorzy w cytowanej pracy przeglądowej przytaczają wyniki wskazujące, że uprawa konserwująca w porównaniu z klasyczną może m.in.: stabilizować agregaty glebowe w wierzchniej warstwie, zwiększać lub nie mieć wpływu na ogólną porowatość warstwy 0-5 cm, zmniejszać lub nie zmieniać gęstości gleby w warstwie powierzchniowej, zwiększać ilość mikro- i mezoporów oraz bioporów o średnicy 100-500  $\mu\text{m}$ . Wyniki licznych badań dotyczących uprawy płuznej, bezpłuznej i siewu bezpośredniego (Alvarez i Steinbach 2009) wskazują, że brak uprawy spowodował niewielki-4% wzrost gęstości gleby w warstwie 0-20 cm i znacznie większy-nawet o 50% wzrost oporu penetracji w porównaniu z uprawą płuzną. Sposoby uprawy bezpłuznej wpłynęły również korzystnie na zawartość wody w glebie, szczególnie w okresach krytycznych dla roślin, tj. siewu i kwitnienia.

Licht i Al-Kaisi (2005) przedstawili szersze studium dotyczące wpływu uprawy strip-till na wilgotność i temperaturę oraz opór penetracji gleby. Według autorów uprawa pasowa w porównaniu z zerową spowodowała wzrost temperatury gleby w wierzchniej, 5 cm warstwie, o 1,2-1,4°C, ale nie zmieniła temperatury w stosunku do uprawy głęboko spulchniającej przy użyciu kultywatora. Podobna była również wilgotność gleby, chociaż technologia strip-till powodowała niewielki wzrost zawartości wody w porównaniu do gleby kultywatorowanej na całej powierzchni. Brak uprawy spowodował natomiast, że wilgotność gleby do głębokości 30 i 120 cm była bardziej wyrównana po wschodach roślin. Brak uprawy i uprawa strip-till nie wpływały znacząco na opór penetracji gleby, choć często był on na tych obiektach nieco większy niż po uprawie głęboko spulchniającej. Uprawa strefowa gleby, tzn. pasowa, redlinowa, uważana jest za sprzyjającą gospodarce wodnej i zalecana zwłaszcza w rejonach posusznych. Różnicuje ona warunki glebowe w spulchnianych rzędach i nieuprawianych międzyrzędziach. W Polsce Piechota i in. (2013) badając wpływ uprawy strip-till na właściwości fizyczne gleby stwierdzili, że głęboka uprawa pasowa pozwala uzyskać podobne warunki fizyczne w rzędzie roślin jak po uprawie płuznej. Wielkość porowatości ogólnej, gęstości objętościowej oraz pojemności kapilarnej po uprawie strip-till i orce nie różniły się istotnie.

Zmiana właściwości fizycznych i chemicznych gleby spowodowana uprawą roli wpływa również na jej właściwości biologiczne. Uprawa roli kształtuje zawartość materii organicznej i składników pokarmowych oraz ich formę, wilgotność i temperaturę, zawartość powietrza, przestrzenne zróżnicowanie środowiska glebowego. W tych warunkach rozwijają się różnorodne organizmy glebowe. W zależności od interakcyjnego oddziaływania czynników siedliskowych i elementów agrotechniki, głównie uprawy roli stwierdza się różną ilość geobiontów, ich strukturę oraz aktywność. Na ogół więcej różnych

organizmów występuje w glebach uprawianych minimalnie, bez odwracania, niż konwencjonalnie, płuźnie. Duże organizmy są przy tym bardziej wrażliwe na zmianę warunków siedliskowych powodowanych przez uprawę roli niż organizmy małe (Kladivko 2001, Holland 2004). Sengupta i Dick (2015) po 52 latach trwania doświadczenia stwierdzili w glebie po uprawie no-till większą liczbę *Proteobacteria* i *Acidobacteria* oraz większą różnorodność tych organizmów niż w glebie uprawianej płuźnie z zabiegami doprawiającymi, które ujednolicały, homogenizowały warunki glebowe i zmniejszały bioróżnorodność. Z wieloletnich badań Kaurin i in. (2015) wynika, że masa mikroorganizmów w glebie uprawianej minimalnie była w warstwie 0-10 cm większa niż po orce i dodatnio skorelowana z zawartością węgla organicznego. Sposób uprawy roli wpłynął w okresie badań najbardziej na skład zbiorowiska bakterii w głębszej warstwie, tj. 10-20 cm, w mniejszym na grzyby w warstwie 0-10 cm, a nie miał wpływu na pierwotniaki. Również w badaniach krótkotrwałych, mimo braku wpływu uprawy roli na zawartość materii organicznej, stwierdzono większą o około 20% biomasę mikroorganizmów po uprawie minimalnej niż płuźnej (Guo i in. 2015). Uprawa strip-till przy braku intensywnego oddziaływania spulchniającego na całej powierzchni i braku odwracania gleby powoduje na ogół zwiększenie liczby i biomasy organizmów w glebie użytków rolnych (Balota i Auler 2011). Altikat i in. (2012) stwierdzili jednak większą populację bakterii w okresie wegetacji kukurydzy w glebie uprawianej płuźnie niż po strip-till. Intensyfikacja uprawy ograniczała natomiast populację grzybów. Korzystny wpływ minimalnej uprawy roli na ilość i aktywność mikroorganizmów glebowych potwierdzają wyniki wielu badań, ale jednocześnie wskazują na potrzebę dalszych prac w tym zakresie (Huang i in. 2013).

Ważnym wskaźnikiem żyzności gleby i jej aktywności jest obecność dżdżownic. Ich ilość i masa zależy w dużym stopniu od sposobu uprawy roli, jego wpływu na resztki roślinne oraz inne właściwości fizyczne i chemiczne. Występowaniu tych organizmów sprzyja uprawa nieodwracająca z dużą ilością resztek na powierzchni lub w wierzchniej warstwie. W takich warunkach Crittenden i in. (2015) stwierdzili większą o 15% liczbę i 33% masę dżdżownic niż w glebie uprawianej płuźnie. Według Curry i in. (2002) intensywna uprawa (orka, uprawki doprawiające łożę siewne) silnie ogranicza występowanie dżdżownic w glebie. Poziome zmiany właściwości gleby w wyniku różnych sposobów uprawy wpływają nie tylko na ilość i masę tych organizmów, ale także ich różnorodność gatunkową, na co wskazują Ernst i Emmerling (2009). W doświadczeniach polowych stwierdzili oni, że uprawa płuźna sprzyjała występowaniu *Aporrectodea caliginosa*, gruberowanie *Aporrectodea longa*, *Lumbricus castaneus* i *Satchellius mammalis*, a siew bezpośredni *Allolobophora chlorotica*.

Efektom oddziaływania uprawy roli na właściwości biologiczne gleby jest występowanie agrofagów, w tym nasion chwastów w glebie (Zawieja i Kordas 2003). Uprawa odwracająca powoduje równomierne rozmieszczenie nasion chwastów w glebie nawet do głębokości 20-30 cm. Uprawy uproszczone, nieodwracające gleby i siew bezpośredni powodują, że większość diaspor zalega w wierzchniej warstwie i w ich zbiorowisku pojawiają się gatunki nie występujące w glebie uprawianej płuźnie (Wrześcińska i in. 2003, Piskier i Sekutowski 2013). W wyniku uproszczenia uprawy klasycznej następuje często

większe zachwaszczenie, a zwłaszcza presja chwastów jednoliściennych, co w jęczmieniu jarym stwierdzili Orzech i in. (2011). Natomiast Blecharczyk i in. (2011) wskazują, że po wieloletnim siewie bezpośrednim zachwaszczenie może być mniejsze niż po uprawie uproszczonej i płużnej. Światowe badania (Nichols i in. 2015) także nie dają jednoznacznej odpowiedzi na pytanie, który system uprawy roli ogranicza w największym stopniu zachwaszczenie. W warunkach uprawy minimalnej i siewu bezpośredniego zachwaszczenie, zwłaszcza w pierwszych latach po zaprzestaniu uprawy płużnej, jest większe i dominują w nim gatunki jednoliścienne oraz wieloletnie. W późniejszym okresie zachwaszczenie pod wpływem uprawy uproszczonej może być nawet mniejsze niż przy tradycyjnej, zwłaszcza gdy na powierzchni gleby pozostaje dużo resztek poźniwnych. Konieczność dalszego poznania interakcji środowiskowych i agrotechnicznych oraz doskonalenia technologii uprawy roślin ograniczających zachwaszczenie dotyczy także uprawy strip-till (Brainard i in. 2013). Podobny problem dotyczy wpływu uproszczonej uprawy roli, w tym strip-till, na zdrowotność roślin (Cantonwine i in. 2007). Wiele jest jednak wyników badań wskazujących, że uprawa minimalna, a zwłaszcza siew bezpośredni przyczyniają się do większego porażenia zbóż przez patogeny, zwłaszcza powodujące choroby korzeni i podstawy źdźbła (Parylak 2006, Małecka i in. 2014).

Korzystnym efektem ograniczenia intensywności uprawy roli jest zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych. Abdalla i in. (2013) cytując wyniki licznych badań wykonanych w XXI wieku w różnych rejonach świata i strefach klimatycznych wskazują, że emisja CO<sub>2</sub> z gleby może wynosić 0,01 – 15,2 t CO<sub>2</sub>-C·ha<sup>-1</sup> w okresie od 3 miesięcy do 1 sezonu wegetacji, tlenków azotu 0,01 – 9,2 kg N<sub>2</sub>O-N·ha<sup>-1</sup> i metanu 0,001 – 7,7 kg CH<sub>4</sub>-C·ha<sup>-1</sup>. Istotna redukcja CO<sub>2</sub> z gleby jest możliwa po zmianie klasycznej uprawy płużnej na: uprawę spulchniającą przy użyciu kultywatora lub uprawę no-till (Chatskikh i Olesen 2007); uprawę spulchniającą, w tym głęboką, strip-till (Al-Kaisi i Yin 2005); uprawę zredukowaną (La Scala i in. 2006). Ograniczone wydzielanie CO<sub>2</sub> z gleby uprawianej pasowo – strip-till podkreśla Bilen i in. (2010). Uprawa konserwująca może ograniczyć również emisję tlenków azotu, co stwierdzili po wprowadzeniu uprawy no-till Liu i in. (2006) oraz Oorts i in. (2007). Redukcja uprawy, która prowadzi do akumulacji węgla w glebie, może natomiast zwiększać mineralizację substancji organicznej w wyniku czego następuje zwiększenie emisji tlenków azotu. Na powyższą zależność, po zastąpieniu uprawy płużnej uprawą uproszczoną, wskazują wyniki badań Baggs i in. (2003), Escobar i in. (2010).

Jednym z najważniejszych walorów uproszczonej uprawy roli, również uprawy pasowej strip-till, jest poprawa efektów ekonomicznych polowej produkcji roślinnej. Jest on możliwy dzięki redukcji nakładów paliwa i pracy, przy często podobnym plonie roślin (Sarec i in. 2008, Husti i in. 2016). Efekty takie są wykazywane przez wielu autorów prowadzących badania w różnych warunkach siedliskowych, gospodarczych i organizacyjnych (Archer i Reicosky 2009, Mileusnić i in. 2010, Johansen i in. 2012, Vach i in. 2016), również w Polsce (Kordas 2005). Zmniejszenie zużycia paliwa na uprawę roli ogranicza jednocześnie emisję CO<sub>2</sub> do atmosfery (Stajnko i in. 2009). Może ono jednak wiązać się z redukcją plonów roślin, jak wskazują Akbarnia i Farhani (2014). Według autorów zastąpienie uprawy płużnej uprawą zredukowaną lub siewem bezpośrednim spowodowało zmniejszenie plonu z 8,07 t·ha<sup>-1</sup> do odpowiednio 7,90 i 6,33 t·ha<sup>-1</sup>. W badaniach

Filipović i in. (2004) zużycie paliwa poniesione na uprawę zredukowaną, konserwującą i zerową było mniejsze niż na tradycyjną odpowiednio o 6,8; 12,1-27,4 82,7%. Redukcja nakładów pracy wyniosła natomiast 7,6; 21,8-38,6 i 81,7%. W pierwszym roku badań największy plon kukurydzy wystąpił po uprawie tradycyjnej, a w dalszych latach kukurydza i pszenica najlepiej plonowała po uprawie konserwującej. Uprawa zredukowana, ale z użyciem pługa, powodowała zmniejszenie nakładów, ale również plonów roślin. Sessiz i in. (2008) wskazują natomiast, że zastąpienie uprawy płużnej siewem bezpośrednim słonecznika zmniejszyło zużycie paliwa z 33,5 do 6,6 t ha<sup>-1</sup>, nie miało natomiast wpływu na plon i cechy jakości niełupek, jak: zawartość białka, tłuszczu i popiołu. Uprawa pasowa strip-till w porównaniu z tradycyjną uprawą płużną pozwala również ograniczać nakłady przy zachowaniu dużych plonów. W agrotechnice ryżu potwierdzili to Islam i in. (2013). Według Cociu (2010) uprawa konserwująca, w tym strip-till, pozwala zmniejszyć nakłady paliwa i pracy w produkcji kukurydzy, soi i pszenicy o ponad 50%, a także ograniczyć koszty przy utrzymaniu podobnych plonów.

Wpływ uproszczonej uprawy roli i siewu bezpośredniego na plonowanie pszenicy ozimej w warunkach Polski nie jest jednoznaczny. Małecka i in. (2012a) wskazują, że te sposoby uprawy powodują istotne zmniejszenie plonu. Weber i Podolska (2008) podkreślają, że reakcja pszenicy ozimej na uproszczenie uprawy roli zależy od jego sposobu, odmiany oraz terminu i gęstości siewu. Gawęda (2004) zwraca natomiast uwagę na zmienność tej reakcji w różnych latach. Według Jaskulskiej i in. (2013) ważnym elementem agrotechniki w warunkach stosowania uproszczonej uprawy roli jest stanowisko w zmianowaniu. W stanowisku po rzepaku ozimym ograniczenie uprawy do talerzowania ścierniska oraz głęboka uprawa spulchniająca przy pominięciu orki nie miały negatywnego wpływu na plonowanie pszenicy ozimej i cechy jakości jej ziarna. Po kukurydzy jako przedplonie oba sposoby uproszczenia spowodowały natomiast zmniejszenie plonu i pogorszenie jego jakości. Parylak i Pytlarz (2013) wskazują, że w monokulturze pszenicy większy negatywny wpływ na plon ma uproszczenie uprawy przedsięwnej niż późniejszej, a największy spadek plonu wystąpił przy pominięciu uprawek pozbiorowych i ograniczeniu uprawy przedsięwnej do spulchniania powierzchniowego agregatem uprawowym. Jakość ziarna w systemie uprawy płużnej i bezpłużnej może być podobna, co potwierdzają wyniki badań Woźniaka i Gontarza (2011).

## 4. METODYKA BADAŃ

W celu weryfikacji przyjętej hipotezy badawczej wykonano trzyletnie statyczne doświadczenie polowe. Badano w nim wpływ zróżnicowanych technologii obejmujących zabiegi uprawy roli, przedsiewnego stosowania nawozów mineralnych oraz siewu na wzrost i plonowanie pszenicy ozimej, ze szczególnym uwzględnieniem technologii strip-till. Poznaniu przyczyn reakcji roślin lub ich braku na stosowane technologie służyły pomiary i analizy materiału roślinnego w kolejnych latach badań. Analizie poddano również właściwości gleby w okresie wegetacji roślin i po ich zbiorze.

### 4.1. Doświadczenie polowe

#### 4.1.1. Lokalizacja i układ doświadczenia

W latach 2013-2016 wykonano dwuczynnikowe doświadczenie polowe w układzie losowanych podbloków. Eksperyment zlokalizowano w miejscowości Śmielin (53°09'04"N; 17°29'11"E), gmina Sadki, powiat nakielski, województwo kujawsko-pomorskie. W 2013 roku po zbiorze przedplonu – rzepaku ozimego wyznaczono trzy podbloki, stanowiące poziomy pierwszego czynnika, na których stosowano zróżnicowane technologie podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu pszenicy ozimej, odpowiednio:

- **pluźna** (orka siewna średnio głęboka, przedsiewne nawożenie mineralne, przygotowanie łoża siewnego, siew siewnikiem rzędowym),
- **bezpluźna** (cało powierzchniowa, bezpluźna, spulchniająca, średnio głęboka uprawa roli; przedsiewne nawożenie mineralne; siew rzędowy agregatem uprawowo-siewnym),
- **strip-till** (pasowa uprawa roli, przedsiewne nawożenie mineralne i siew pasowy jednym przejazdem agregatu).

Drugi czynnik stanowił sposób późniejszej uprawy roli wykonywanej przed uprawą podstawową (bezpośrednio po zbiorze przedplonu), tj.:

- **plytka uprawa** roli z rozdrobnioną słomą na powierzchni przy użyciu brony talerzowej,
- **brak uprawy** późniejszej (mulcz z rozdrobnionej słomy przedplonu).

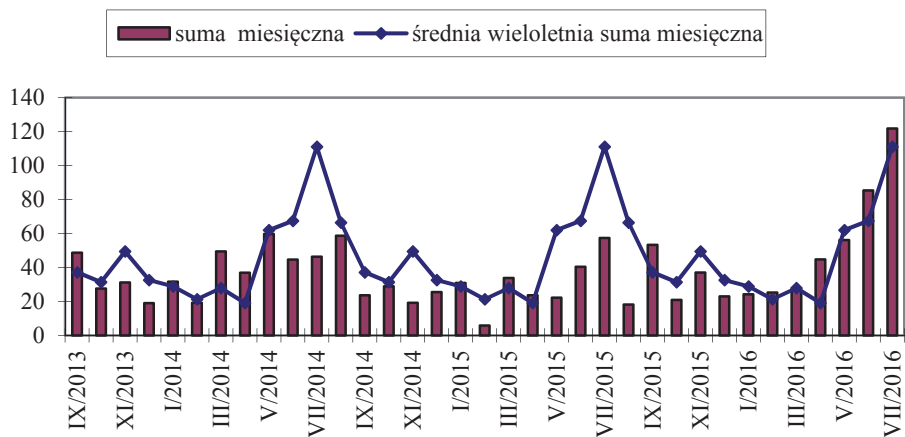
Długość każdego podbloku czynnika pierwszego, powtórzonego dwukrotnie w obrębie pola doświadczalnego, wynosiła 520 m, a szerokość 24 m. Na długości tych podbloków rozmieszczono losowo w dwóch powtórzeniach każdy z obiektów drugiego czynnika. Obiekty te miały długość po 250 m i szerokość 12 m, a między nimi występowała ścieżka międzyobiektowa – 20 m. Zatem każdy obiekt doświadczalny utworzony przez kombinację poziomów obu czynników występował w czterech powtórzeniach.

#### 4.1.2. Warunki siedliskowe

Doświadczenie polowe zlokalizowano na glebie brunatnej właściwej, należącej do kompleksów pszennego bardzo dobrego i dobrego, klas bonitacyjnych II oraz IIIa. Pod względem uziarnienia w warstwie uprawnej 0-20 cm jest to glina piaszczysta i pył gliniasty. Średnia procentowa zawartość frakcji piaskowej, pyłowej oraz ilowej wynosiła odpowiednio: 41,4%, 52,3%, 6,3%. Gleba przed założeniem doświadczenia zawierała (przyswajalne formy makroskładników): 105 mg P $\cdot$ kg $^{-1}$  gleby, 308 mg K $\cdot$ kg $^{-1}$  gleby, 103 mg Mg $\cdot$ kg $^{-1}$  gleby, a jej pH $_{KCl}$  wynosiło 6,1. Przed rozpoczęciem badań zastosowano nawóz wapniowo-magnezowy węglanowy (minimum 45% CaO + MgO, w tym minimum 15% MgO) w dawce 1,5 t $\cdot$ ha $^{-1}$ .

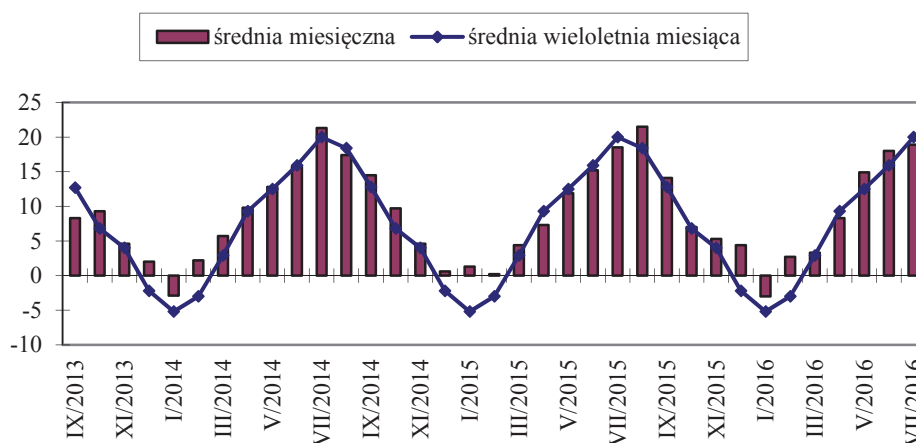
Warunki meteorologiczne w rejonie badań (SOO Chrzastowo) w okresie trwania doświadczenia polowego przedstawiają rysunki 2 i 3. W miesiącu siewu pszenicy ozimej (wrześniu) w 2013 i 2015 roku suma opadów była o około 10 mm większa od przeciętnej w latach, chociaż w 2015 roku następny miesiąc – październik był już niedoborowym pod względem ilości opadów. W wielu miesiącach wiosennych, bardzo istotnych dla wegetacji i plonowania zbóż ozimych, sumy miesięczne były również mniejsze niż przeciętnie w wieloleciu (rys. 2). Największe niedobory opadów w tym okresie wystąpiły w 2015 roku po miesiącach jesiennych i zimowych 2014/2015 o małej sumie opadów. W lipcu – miesiącu dojrzewania i zbioru pszenicy ozimej, suma opadów w 2014 i 2015 roku była znacznie mniejsza niż przeciętna, natomiast w 2016 roku większa.

Temperatura powietrza w poszczególnych miesiącach trwania badań była bardziej zbliżona do średniej wieloletniej niż sumy opadów (rys. 3). Tylko w niektórych miesiącach wegetacji pszenicy ozimej mniejszym niż średnio w wieloleciu sumom opadów towarzyszyły wyższe temperatury powietrza. Zimy w latach badań były cieplejsze niż przeciętnie. Najzimniejszym miesiącem był styczeń, zwłaszcza w 2014 i 2016 roku. W ostatnim roku badań bardzo niska temperatura minimalna, poniżej -20°C, utrzymująca się przez kilka nocy przy braku okrywy śnieżnej, spowodowała straty roślin pszenicy ozimej.



Rys. 2. Opady atmosferyczne (mm) w okresie badań





Rys. 3. Temperatura powietrza (°C) w okresie badań

#### 4.1.3. Warunki agrotechniczne

Rośliną przedplonową w stanowisku, gdzie zlokalizowano doświadczenie polowe był rzepak ozimy. Uprawę roli, przedsięwzięciem aplikacją nawozów mineralnych oraz siew pszenicy ozimej, w zależności od technologii będących istotą badań, wykonywano przy użyciu maszyn i narzędzi stosowanych w praktyce rolniczej (tab. 1).

W badaniach występowała pszenica ozima 'Opal', wysiewana w zależności od roku badań: 16 września 2013 r., 15 września 2014 r. i 12 września 2015 r. W każdym roku używano kwalifikowany materiał siewny (C 1) o zdolności kiełkowania 95-98% i czystości 99%, zaprawiony preparatem Jockey New 113 FS. Na wszystkich obiektach stosowano jednakową gęstość siewu – 250 ziaren na m<sup>2</sup>. Rozstawa rzędów na obiektach z płuzną i bezpłuzną podstawową uprawą roli wynosiła 14,3 cm, a w technologii strip-till 12 cm pomiędzy rzędami w pasie i 36,4 cm pomiędzy sąsiednimi pasami.

Nawożenie przedsięwzięcie stosowano w formie nawozu wieloskładnikowego Opti-complex 8 (NPKS 8:20:30:5) w dawce 150 kg·ha<sup>-1</sup>. W technologii płuznej i bezpłuznej był on stosowany na całej powierzchni pola, a w technologii strip-till tylko w spulchnianych pasach roli. Nawożenie pogłówne azotem w postaci saletry amonowej stosowano wiosną w trzech dawkach: faza BBCH 25-28 – w momencie wznawiania wegetacji (70 kg N·ha<sup>-1</sup>), BBCH 32-33 (60 kg N·ha<sup>-1</sup>) i BBCH 53-55 (40 kg N·ha<sup>-1</sup>). W okresie wegetacji rośliny chroniono przed agrofagami i pielęgnowano jednakowo na wszystkich obiektach przy użyciu zalecanych w okresie badań preparatów (tab. 2).

Pszenicę ozimą zbierano w pełnej dojrzałości roślin, przy wilgotności ziarna 13-15% z powierzchni całych jednostek doświadczalnych. Zbioru dokonywano, w zależności od roku badań, pomiędzy 22 lipca a 8 sierpnia.

Tabela 1. Maszyny i narzędzia do uprawy roli, nawożenia przedsiewnego oraz siewu w zależności od zastosowanej technologii

Technologia	Uprawa poźniwna		Głębokość zabiegu (cm)
	uprawa	brak	
		brona talerzowa – Joker 3CT	-
Pluźna	plug Maschio Gaspardo s4, agregat uprawowy Horsch Tiger 6 AS, rozsiewacz nawozów Amazone ZG-TS 8200, agregat uprawowo-siewny Horsch Pronto 4DC		20-22 8-10 powierzchnia 5-8
Bezpluźna	agregat uprawowy Horsch Tiger 4 AS, rozsiewacz nawozów Amazone ZG-TS 8200, agregat uprawowo-siewny Horsch Pronto 4DC		18-20 powierzchnia 8-10
Strip-till	agregat Mzuri Pro-Til 4T		18-20

Tabela 2. Pielęgnacja pszenicy ozimej w latach badań

Faza rozwojowa	2013/2014	2014/2015	2015/2016
Herbicydy			
BBCH 12	Legato Plus 600 SC 1,25 l·ha <sup>-1</sup>	Legato Plus 600 SC 1,25 l·ha <sup>-1</sup>	Bizon 1,0 l·ha <sup>-1</sup>
BBCH 12	Expert Met 56 WG 0,35 kg·ha <sup>-1</sup>	Expert Met 56 WG 0,35 kg·ha <sup>-1</sup>	-
BBCH 35	Puma Uniwersal 069 EW 1,0 l·ha <sup>-1</sup> + Granstar 75 WG 20 g·ha <sup>-1</sup>	Foxtrot 069 EW 1,0 l·ha <sup>-1</sup> + Granstar 75 WG 20 g·ha <sup>-1</sup>	Foxtrot 069 EW 1,0 l·ha <sup>-1</sup> + Granstar 75 WG 20 g·ha <sup>-1</sup>
Fungicydy			
BBCH 30	Capalo 337,5 SE 1,5 l·ha <sup>-1</sup>	Boogie X Pro 400 EC 1,2 l·ha <sup>-1</sup>	Boogie X Pro 400 EC 1,2 l·ha <sup>-1</sup>
BBCH 46	Input 460 EC 0,75 l·ha <sup>-1</sup>	Seguris 215 SC 1,0 l·ha <sup>-1</sup>	Input 460 EC 1,0 l·ha <sup>-1</sup>
BBCH 59	Fandango 200 EC 1,0 l·ha <sup>-1</sup>	Prosaro 250 EC 1,0 l·ha <sup>-1</sup>	Osiris 65 EC 1,5 l·ha <sup>-1</sup>
Insektycydy			
BBCH 46	Decis 2,5 EC 0,25 l·ha <sup>-1</sup>	Decis 2,5 EC 0,25 l·ha <sup>-1</sup>	Fastac 100 EC 0,12 l·ha <sup>-1</sup>
BBCH 59	Danadim Progress 400 EC 0,5 l·ha <sup>-1</sup>	Danadim Progress 400 EC 0,5 l·ha <sup>-1</sup>	Danadim Progress 400 EC 0,5 l·ha <sup>-1</sup>
Regulatory wzrostu			
BBCH 31	Medax Top 350 SC 0,6 l·ha <sup>-1</sup> + CCC 720 SL 1,0 l·ha <sup>-1</sup>	Medax Top 350 SC 0,6 l·ha <sup>-1</sup> + CCC 720 SL 1,0 l·ha <sup>-1</sup>	Medax Top 350 SC 0,6 l·ha <sup>-1</sup> + Stabilan 750 SL 1,0 l·ha <sup>-1</sup>
BBCH 39	Moddus 250 EC 0,4 l·ha <sup>-1</sup>	Moddus 250 EC 0,3 l·ha <sup>-1</sup>	Moddus 250 EC 0,3 l·ha <sup>-1</sup>

#### 4.1.4. Obserwacje, pomiary i oznaczenia

Corocznie w okresie przygotowania roli do siewu, a następnie w trakcie wegetacji pszenicy ozimej na każdej jednostce eksperymentalnej wykonano oceny i analizy właściwości gleby wykorzystując w tym celu właściwe metody i aparaturę.

- Gęstość objętościowa gleby – określano ją w strefie rzędów roślin oraz w środku międzyrzędzi. Użyto cylindereków f-my Eijkelkamp o pojemności 100 cm<sup>3</sup>, a ocenę wykonywano w następujących terminach i warstwach gleby:
  - bezpośrednio po siewie: 0-5 cm (łóże siewne), 10-15 cm (głębokość oddziaływania narzędzi uprawowych każdej z technologii, 25-30 cm (poniżej oddziaływania narzędzi uprawowych – bez podziału na rzędy i międzyrzędzia),
  - wiosną bezpośrednio po wznowieniu wegetacji pszenicy ozimej w warstwie 10-15 cm,
  - bezpośrednio po zbiorze: warstwy 10-15 cm i 25-30 cm (bez podziału na rzędy i międzyrzędzia).
- Wilgotność wagowa gleby łóża siewnego (0-5 cm) określona została metodą suszarkową bezpośrednio przed siewem pszenicy ozimej.
- Wilgotność objętościowa mierzona była przez cały okres wegetacji pszenicy ozimej, z wyłączeniem miesięcy zimowych, w czterech warstwach: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm za pomocą rur cienkościennych ATS1, sondy PR2/4 i czytnika HH2 (obiekty z podstawową uprawą roli bez uprawy poźniwej). Pomiary wykonywano dwa razy w miesiącu, średnio co dwa tygodnie (w technologii strip-till zarówno w rzędach roślin, jak i międzyrzędziach).
- Zawartość azotu mineralnego w glebie (suma NH<sub>4</sub><sup>+</sup> i NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) określono spektrofotometrycznie po ekstrakcji w roztworze 0,01 mol CaCl<sub>2</sub>dm<sup>-3</sup>. Próbki glebowe pobierano z rzędów i międzyrzędzi warstwy 0-15 cm: jesienią po zakończeniu wegetacji, wiosną po wznowieniu wegetacji, bezpośrednio po zbiorze pszenicy ozimej.

Oceny, pomiary i analizy roślin:

- obsada roślin w fazie BBCH 12-13, metodą ramkową na powierzchni 1 m<sup>2</sup> co 50 m wzdłuż każdej jednostki eksperymentalnej w celu jednoczesnej oceny równomierności wschodów i obsady roślin,
  - wskaźnik zieloności liści – BBCH 41-43 (Miernik chlorofilu SPAD-502 Konica Minolta),
  - obsada kłosów – BBCH 89,
  - liczba ziaren w kłosie,
  - masa ziarna z kłosa,
  - plon ziarna w t ha<sup>-1</sup> przy zawartości wody 15%.
- Ponadto wykonano ocenę cech jakości ziarna:
- masa 1000 ziaren według PN-68/R-74017,
  - gęstość ziarna w stanie zsypanym, zawartość białka ogólnego, zawartość glutenu mokrego, wskaźnik sedimentacji metodą pomiaru w bliskiej podczerwieni przy użyciu analizatora Infratec 1241,
  - liczba opadania zgodnie z PN-ISO 3093 – aparat typ SWD.

Po zakończeniu doświadczenia polowego w trzecim roku badań określono w warstwie gleby 0-15 cm zawartość:

- węgla organicznego i azotu ogólnego przy zastosowaniu makroanalizatora elementarnego Vario Max CN firmy Elementar,
- fosforu przyswajalnego – metoda Egnera-Riehma, PN-R-04023:1996,
- potasu przyswajalnego – metoda Egnera-Riehma, PN-R-04022:1996 + Az1:2002,
- magnezu przyswajalnego – metoda Schachtschabela, PN-R-04020:1994 + Az1:2004,
- wskaźnik pH w 1 mol·dm<sup>-3</sup> roztworze KCl – potencjometrycznie, PN-ISO 10390: 1997.

W trzecim roku badań polowych oceniono również właściwości biologiczne gleby w warstwie 0 – 15 cm kształtujące się pod wpływem każdej technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu pszenicy ozimej:

- liczbę dżdżownic na powierzchni 1 m<sup>2</sup> – liczba osobników w przestrzeni glebowej,
- liczbę bakterii ogółem (10<sup>7</sup> jtk·g<sup>-1</sup>s.m. gleby) – metoda Wallace i Lockhead (1950),
- liczbę grzybów ogółem (10<sup>4</sup> jtk·g<sup>-1</sup>s.m. gleby) – metoda Martin (1950),
- aktywność dehydrogenaz – według Casida i in. (1964)
- aktywność fosfatazy kwaśnej i zasadowej – zgodnie z Tabatabai i Bremner (1969).

W każdym roku badań mierzono zużycie paliwa i czas wykonywania każdego zabiegu agrotechnicznego z zakresu uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu, właściwych dla danej technologii. Zużycie paliwa określono metodą objętościową „pełnego zbiornika” (Rychlik 2006), a nakład czasu pracy jako rzeczywisty czas wykonywania poszczególnych zabiegów na danym obiekcie doświadczenia.

## 4.2. Opracowanie wyników

Wyniki pomiarów i analiz cech posiadających rozkład normalny podano analizie statystycznej wykonując analizę wariancji i ocenę istotności różnic pomiędzy średnimi dla obiektów. Zgodnie z rodzajem i układem doświadczenia wykorzystano model analizy wariancji właściwy dla doświadczeń dwuczynnikowych o czynnikach występujących w układzie losowanych podbloków, a dla oceny różnic międzyobektowych użyto test Tukeya na poziomie istotności  $p = 0,05$ . Ponieważ ocenę gęstości gleby oraz zawartości azotu mineralnego w glebie spulchnianej przez narzędzia każdej technologii podstawowej uprawy roli wykonywano w strefie rzędów pszenicy ozimej i w międzyrzędziach, miejsce pobierania próbek glebowych przyjęto jako trzeci czynnik doświadczalny. W analizie wyników oceny właściwości biologicznych gleby wykorzystano natomiast model jednoczynnikowej ANOVA.

Cechy, których wyniki pomiarów nie miały rozkładu normalnego, np. pH gleby lub były monitorowane w układzie nieortogonalnym – objętościowa wilgotność gleby w okresie wegetacji pszenicy ozimej, nie poddano analizie wariancji, wyliczono natomiast ich średnie arytmetyczne.

Na podstawie zbioru wyników obsady roślin określono jej równomierność na każdym obiekcie. Jako miarę przyjęto odchylenie standardowe oraz wartość wyników odstających i ekstremalnych. Wyniki analizy przedstawiono na wykresach pudełkowych, typu ramka-wąsy.

Wyniki opracowano dla każdego roku badań, a następnie ich syntezę dla całego okresu. W prezentacji syntetycznego opracowania wyników przyjęto ogólną zasadę, że w przypadku braku istotnej interakcji lata x czynnik i/lub lata x interakcja czynników (tab. 3) w opracowaniu zamieszczono tylko średnie z lat badań.

Do opracowania wyników wykorzystano pakiety programów komputerowych: ANALWAR-5.2-FR, Statistica 7.0, Microsoft Office. Wyniki opracowano z dokładnością 0,0001, a przed prezentacją w tabelach lub na wykresach zaokrąglono je, w zależności od cechy, do 0,01; 0,1 lub 1,0 za pomocą arkusza kalkulacyjnego Excel.

Tabela 3. Istotność interakcyjnego wpływu lat badań i czynników głównych oraz interakcji lat z współdziałaniem czynników na cechy gleby i roślin pszenicy ozimej

Cecha	Lata x czynnik			Lata x interakcja czynników		
	I	II	III	I/II	I/III	II/III
Gęstość gleby łoża siewnego po siewie (0-5 cm)	-	-	-	-	-	-
Gęstość gleby po siewie (10-15 cm)	-	-	-	-	-	-
Gęstość gleby po siewie (25-30 cm)	-	-	-	-	-	-
Gęstość gleby wiosną po wznowieniu wegetacji (10-15 cm)	-	-	-	-	-	-
Gęstość gleby po zbiorze (10-15 cm)	-	-	-	-	-	-
Gęstość gleby po zbiorze (25-30 cm)	*	-	-	-	-	-
Wilgotność gleby łoża siewnego (0-5 cm)	*	*	-	-	-	-
Zawartość azotu mineralnego w glebie jesienią (0-15 cm)	*	-	*	-	*	-
Zawartość azotu mineralnego w glebie wiosną (0-15 cm)	-	-	-	-	-	-
Zawartość azotu mineralnego w glebie po zbiorze (0-15 cm)	*	-	-	-	-	-
Obsada roślin po wschodach	*	-	-	-	-	-
Wskaźnik zieloności liści SPAD	*	-	-	-	-	-
Obsada kłosów	*	-	-	-	-	-
Liczba ziaren w kłosie	-	-	-	-	-	-
Masa ziarna z kłosa	-	-	-	-	-	-
Plon ziarna	*	-	-	-	-	-
Masa tysiąca ziaren	-	-	-	-	-	-
Gęstość ziarna w stanie zsypanym	-	-	-	-	-	-
Zawartość białka w ziarnie	*	-	-	-	-	-
Zawartość glutenu mokrego w ziarnie	*	-	-	-	-	-
Wskaźnik sedimentacji ziarna	*	-	-	-	-	-
Liczba opadania	-	-	-	-	-	-

\* – oddziaływanie istotne; - - oddziaływanie nieistotne;  – nie dotyczy

## 5. OMÓWIENIE WYNIKÓW

### 5.1. Technologia uprawy roli, nawożenia i siewu a właściwości gleby

#### 5.1.1. Gęstość objętościowa

##### 5.1.1.1. Bezpośrednio po siewie

Wpływ elementów technologii uprawy roli – uprawa poźniwna, uprawa podstawowa – na gęstość objętościową wierzchniej warstwy gleby był podobny w kolejnych trzech latach badań (tab. 3). Średnio w latach 2013/2014 – 2015/2016 gęstość gleby łoża siewnego po uprawie pasowej była większa niż silnie spulchnionej gleby uprawianej płuźnie, a zwłaszcza bezpłuźnie (tab. 4). Bardziej zagęszczona gleba w warstwie siewu nasion występowała również po rezygnacji z uprawy poźniwnej oraz w międzyrzędziach pszenicy ozimej niż w jej rzędach. Większe zagęszczenie gleby łoża siewnego w międzyrzędziach występowało tylko w technologii strip-till. Ten sposób podstawowej uprawy roli powodował zwiększenie gęstości wierzchniej warstwy roli w międzyrzędziach zwłaszcza, gdy nie był poprzedzony uprawą poźniwną.

Tabela 4. Gęstość gleby łoża siewnego 0-5 cm ( $\text{g cm}^{-3}$ )

Uprawa poźniwna - II	Miejsce - III	Uprawa podstawowa - I			średnia
		Płuźna	Bezpłuźna	Strip-till	
2013/2014 – 2015/2016					
uprawa	rząd	1,22	1,20	1,26	1,23
	międzyrzędzie	1,22	1,20	1,32	1,25
średnia		1,22	1,20	1,29	1,24
brak	rząd	1,24	1,21	1,30	1,25
	międzyrzędzie	1,22	1,20	1,54	1,32
średnia		1,23	1,21	1,42	1,29
średnia	rząd	1,23	1,21	1,28	1,24
	międzyrzędzie	1,22	1,20	1,43	1,28
średnia		1,23	1,20	1,36	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = 0,027 II = 0,016 III = 0,015 II/I = 0,028 I/II = 0,033 III/I = 0,027 I/III = 0,032 III/II = 0,022 II/III = 0,022					

Badane technologie, niezależnie od lat, wpływały również na gęstość gleby warstwy niżej położonej. Na głębokości 10-15 cm, średnio w okresie badań, najmniej zagęszczona była gleba uprawiana płuźnie (tab. 5). Jednak bezwzględnie najmniejszą gęstość objętościową stwierdzano w rzędach technologii strip-till. Była ona przy tym istotnie mniejsza niż w nieuprawianych międzyrzędziach, niezależnie od tego czy stosowano płytka uprawę poźniwną, czy też jej nie wykonywano.

Tabela 5. Gęstość gleby jesienią w warstwie 10-15 cm ( $\text{g cm}^{-3}$ )

Uprawa poźniwna - II	Miejsce - III	Uprawa podstawowa - I			średnia
		Płużna	Bezplężna	Strip-till	
2013/2014 – 2015/2016					
uprawa	rząd	1,58	1,61	1,52	1,57
	międzyrzędzie	1,57	1,62	1,65	1,61
średnia		1,57	1,61	1,59	1,59
brak	rząd	1,58	1,61	1,52	1,57
	międzyrzędzie	1,57	1,61	1,68	1,62
średnia		1,57	1,61	1,60	1,59
średnia	rząd	1,58	1,61	1,52	1,57
	międzyrzędzie	1,57	1,61	1,66	1,62
średnia		1,57	1,61	1,59	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = 0,024 II = n.i. III = 0,019 II/I = n.i. I/II = n.i. III/I = 0,034 I/III = 0,033 III/II = n.i. II/III = n.i.					

Gęstość objętościowa gleby w warstwie 25-30 cm, poniżej najgłębiej działających narzędzi, była największa spośród ocenianych warstw, choć niezależna od technologii uprawy oraz roku badań. Jednak w trzecim kolejnym roku stosowania uprawy pasowej, tj. 2015/2016, stwierdzono już istotne zmniejszenie gęstości gleby w warstwie podornej w porównaniu z uprawą bezplężną i plężną (tab. 6).

Tabela 6. Gęstość gleby jesienią w warstwie 25-30 cm ( $\text{g cm}^{-3}$ )

Uprawa poźniwna - II	Uprawa podstawowa - I			średnia
	Płużna	Bezplężna	Strip-till	
2015/2016				
uprawa	1,70	1,70	1,65	1,68
brak	1,71	1,70	1,66	1,69
średnia	1,71	1,70	1,66	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = 0,030 II = n.i. II/I = n.i. I/II = n.i.				
2013/2014 – 2015/2016				
uprawa	1,70	1,68	1,68	1,69
brak	1,69	1,69	1,67	1,68
średnia	1,70	1,69	1,68	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = n.i. II = n.i. II/I = n.i. I/II = n.i.				

### 5.1.1.2. Wiosna – początek okresu wegetacji

Wpływ poźniwnej i podstawowej uprawy roli na gęstość objętościową gleby wiosną, jak również zróżnicowanie tej cechy w rzędach roślin i międzyrzędziach pszenicy ozimej w poszczególnych latach były podobne (tab. 3).

Po zimie, po wznowieniu wegetacji przez pszenicę ozimą, gęstość objętościowa gleby w warstwie 10-15 cm zależała od uprawy podstawowej, umiejscowienia przestrzeni względem rzędów roślin i współdziałania tych czynników (tab. 7). Zagęszczenie gleby uprawianej pasowo (strip-till) było istotnie mniejsze niż uprawianej bezplężnie i nieco

mniejsze niż po orce z uprawkami spulchniającymi. Różnica ta wynikała ze znacznie mniejszej gęstości objętościowej gleby w rzędach niż międzyrzędziach na obiekcie uprawianym pasowo. Na obiektach uprawianych płuznie i bezpłuznie gęstość gleby w rzędach i międzyrzędziach była natomiast taka sama. Po około 6-7 miesiącach od uprawy podstawowej gęstość gleby w międzyrzędziach uprawianych płuznie i bezpłuznie nie różniła się już istotnie od niespulchnianych międzyrzędzi w technologii strip-till.

Tabela 7. Gęstość gleby wiosną w warstwie 10-15 cm ( $\text{g cm}^{-3}$ )

Uprawa poźniwna - II	Miejsce - III	Uprawa podstawowa - I			średnia
		Płuzna	Bezpłuzna	Strip-till	
2013/2014 – 2015/2016					
uprawa	rząd	1,64	1,65	1,59	1,63
	międzyrzędzie	1,63	1,65	1,63	1,64
średnia		1,64	1,65	1,61	1,63
brak	rząd	1,64	1,66	1,60	1,63
	międzyrzędzie	1,64	1,64	1,69	1,66
średnia		1,64	1,65	1,64	1,65
średnia	rząd	1,64	1,65	1,59	1,63
	międzyrzędzie	1,64	1,65	1,66	1,65
średnia		1,64	1,65	1,63	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = 0,019 II = n.i. III = 0,012 II/I = n.i. I/II = n.i. III/I = 0,021 I/III = 0,024 III/II = n.i. II/III = n.i.					

### 5.1.1.3. Po zbiorze pszenicy ozimej

Brak interakcji oddziaływania czynników doświadczenia z latami badań na gęstość gleby dotyczył warstwy 10-15 cm, ale nie odnosił się do warstwy 25-30 cm (tab. 3). W warstwie płytszej, uprawianej przez narzędzia każdej z badanych technologii i intensywnego wzrostu systemu korzeniowego pszenicy ozimej, gęstość objętościowa gleby w rzędach i międzyrzędziach pod wpływem uprawy strip-till była podobna jak wiosną po wznowieniu wegetacji. Mniejsze zagęszczenie gleby pod wpływem uprawy pasowej występowało przede wszystkim w spulchnianych rzędach, chociaż gęstość objętościowa gleby w niespulchnianych międzyrzędziach była taka sama jak na obiektach uprawianych płuznie i bezpłuznie (tab. 8).

W warstwie najniższej położonej (25-30 cm), na którą nie oddziaływały narzędzia uprawowe żadnej z badanych technologii, zróżnicowanie gęstości objętościowej gleby ujawniło się w trzecim roku eksperymentu polowego (tab. 9). Technologia strip-till spowodowała istotne zmniejszenie zagęszczenia gleby. Oddziaływanie to oraz tendencja spadku gęstości objętościowej gleby w warstwie podornej pod wpływem uprawy pasowej we wcześniejszych latach przyczyniły się do istotnie mniejszego zagęszczenia gleby uprawianej pasowo średnio w trzyletnim okresie badań.



Tabela 8. Gęstość gleby po zbiorze pszenicy ozimej w warstwie 10-15 cm ( $\text{g cm}^{-3}$ )

Uprawa poźniwna - II	Miejsce - III	Uprawa podstawowa - I			średnia
		Płużna	Bezplężna	Strip-till	
2013/2014 – 2015/2016					
uprawa	rząd	1,66	1,67	1,62	1,65
	międzyrzędzie	1,66	1,67	1,64	1,66
średnia		1,66	1,67	1,63	1,65
brak	rząd	1,67	1,68	1,61	1,65
	międzyrzędzie	1,67	1,67	1,69	1,68
średnia		1,67	1,67	1,65	1,67
średnia	rząd	1,67	1,68	1,61	1,65
	międzyrzędzie	1,66	1,67	1,67	1,67
średnia		1,67	1,67	1,64	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = 0,018 II = 0,011 III = 0,010 II/I = n.i. I/II = n.i. III/I = 0,018 I/III = 0,021 III/II = n.i. II/III = n.i.					

Tabela 9. Gęstość gleby po zbiorze pszenicy ozimej w warstwie 25-30 cm ( $\text{g cm}^{-3}$ )

Uprawa poźniwna - II	Uprawa podstawowa - I			średnia
	Płużna	Bezplężna	Strip-till	
2013/2014				
uprawa	1,72	1,72	1,71	1,71
brak	1,73	1,72	1,70	1,71
średnia	1,72	1,72	1,70	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = n.i. II = n.i. II/I = n.i. I/II = n.i.				
2014/2015				
uprawa	1,70	1,71	1,70	1,70
brak	1,72	1,71	1,69	1,70
średnia	1,71	1,71	1,69	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = n.i. II = n.i. II/I = n.i. I/II = n.i.				
2015/2016				
uprawa	1,72	1,71	1,62	1,68
brak	1,71	1,71	1,61	1,68
średnia	1,71	1,71	1,62	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = 0,063 II = n.i. II/I = n.i. I/II = n.i.				
2013/2014 – 2015/2016				
uprawa	1,71	1,71	1,67	1,70
brak	1,72	1,71	1,67	1,70
średnia	1,71	1,71	1,67	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = 0,037 II = n.i. II/I = n.i. I/II = n.i.				

## 5.1.2. Wilgotność gleby

### 5.1.2.1. Łoże siewne

Wpływ poźniwej i podstawowej uprawy roli na wilgotność wierzchniej warstwy gleby bezpośrednio przed siewem był zróżnicowany w kolejnych latach badań. W każdym roku wilgotność gleby na głębokości 0-5 cm płytko uprawionej po zbiorze przedplonu lub zmulczowanej jego słomą i oczekującej na uprawę pasową z jednoczesnym nawożeniem i siewem była istotnie większa niż gleby uprawionej płuznie i bezpłuznie przygotowanej do siewu pszenicy ozimej (tab. 10). W drugim roku badań większej wilgotności gleby łoża siewnego sprzyjał brak płytkiej uprawy poźniwej zwłaszcza na obiekcie uprawianym następnie płuznie, a także przeznaczonym pod technologię strip-till. Korzystniejsze oddziaływanie rozdrobnionej słomy pozostającej na powierzchni gleby do momentu uprawy podstawowej niż jej mieszanie z wierzchnią warstwą przy użyciu brony talerzowej na wilgotność gleby na obiekcie uprawianym pasowo jednocześnie z siewem wystąpiło również w roku 2015/2016.

Średnio, niezależnie od zróżnicowania w latach 2013/2014 – 2015/2016, stwierdzono, że większa wilgotność gleby łoża siewnego występowała pod mulczem w technologii strip-till niż po uprawie płuznej i bezpłuznej oraz w przypadku gleby bez uprawy poźniwej w porównaniu z talerzowaniem ścierniska. Korzystny wpływ mulczowania bez uprawy poźniwej wystąpił tylko na obiekcie z późniejszą uprawą pasową, a nie ujawnił się po wykonaniu podstawowej uprawy płuznej i bezpłuznej.

Tabela 10. Wilgotność gleby łoża siewnego 0-5 cm (% wag.)

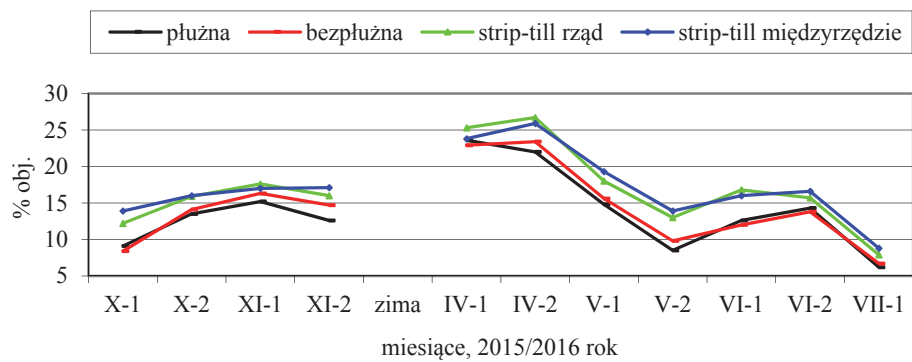
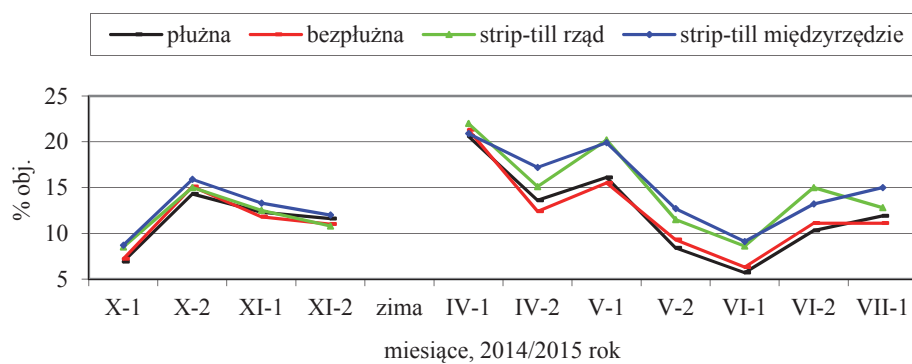
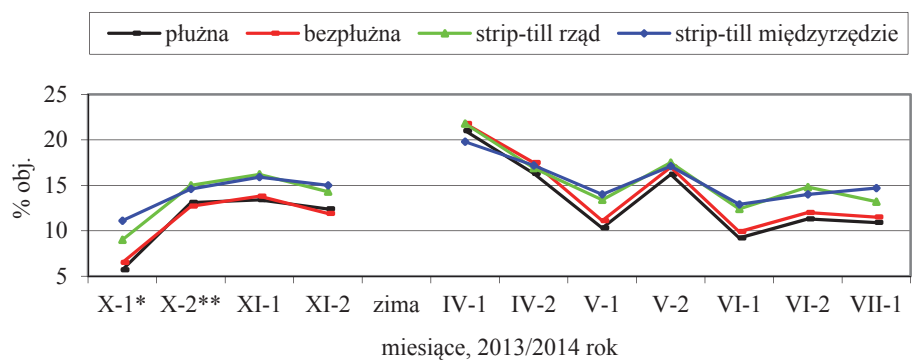
Uprawa poźniwna - II	Uprawa podstawowa - I			średnia
	Płuzna	Bezpłuzna	Strip-till	
2013/2014				
uprawa	11,6	10,7	15,2	12,5
brak	11,4	11,7	16,3	13,1
średnia	11,5	11,2	15,8	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = 0,92 II = n.i. II/I = n.i. I/II = n.i.				
2014/2015				
uprawa	5,4	5,2	9,6	6,7
brak	6,5	5,5	11,3	7,8
średnia	6,0	5,4	10,5	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = 0,56 II = 0,31 II/I = 0,53 I/II = 0,73				
2015/2016				
uprawa	8,5	9,0	14,6	10,7
brak	8,7	8,3	15,8	10,9
średnia	8,6	8,7	15,2	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = 0,96 II = n.i. II/I = 0,41 I/II = 1,03				
2013/2014 – 2015/2016				
uprawa	8,5	8,3	13,1	10,0
brak	8,9	8,5	14,5	10,6
średnia	8,7	8,4	13,8	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = 0,75 II = 0,39 II/I = 0,67 I/II = 0,95				

### 5.1.2.2. *Okres wegetacji pszenicy ozimej*

Jesienią każdego roku badań wilgotność wierzchniej warstwy gleby była najmniejsza w początkowym okresie wzrostu pszenicy ozimej, tj. w pierwszej połowie października i wynosiła od kilku do kilkunastu procent objętościowych, a następnie zwiększała się do pierwszej, drugiej połowy listopada. Gleba w technologii strip-till miała wilgotność o kilka punktów procentowych większą niż na obiektach uprawianych płuźnie i bezpłuźnie. Tylko w 2014/2015 roku gleba maksymalną wilgotność w warstwie 0-10 cm osiągnęła w drugiej połowie października, a jej różnica pomiędzy obiektami uprawianymi w różny sposób była najmniejsza (rys. 4). W okresie wiosenno-letniej wegetacji pszenicy ozimej wilgotność gleby, bezpośrednio po zimie podobna na poszczególnych obiektach, następnie zmniejszała się wraz z upływem czasu, w większym stopniu po uprawie płuźnej i bezpłuźnej, a w mniejszym po uprawie pasowej. Jedynie w drugiej połowie maja, w pierwszym roku badań wilgotność na wszystkich obiektach miała podobną wartość.

Wpływ badanych technologii uprawy roli, nawożenia i siewu na wilgotność gleby warstwy niżej położonej, tzn. 10-20 cm był podobny jak warstwy powierzchniowej, choć zawartość wody w niej była średnio o 5-10 punktów procentowych większa (rys. 5). Zarówno w okresie jesiennej, jak i wiosenno-letniej wegetacji pszenicy ozimej najbardziej wilgotna była gleba uprawiana pasowo. Tylko w krótkich okresach, np.: drugiej połowie maja 2014 roku, listopadzie 2014 i 2015 roku, czy bezpośrednio po zimie 2015 roku wilgotność gleby na wszystkich obiektach była podobna lub nawet nieco większa po uprawie bezorkowej niż strip-till. Natomiast przez cały okres jesiennej wegetacji w 2014 roku wilgotność gleby uprawianej płuźnie była o około 10 punktów procentowych mniejsza niż na pozostałych obiektach.

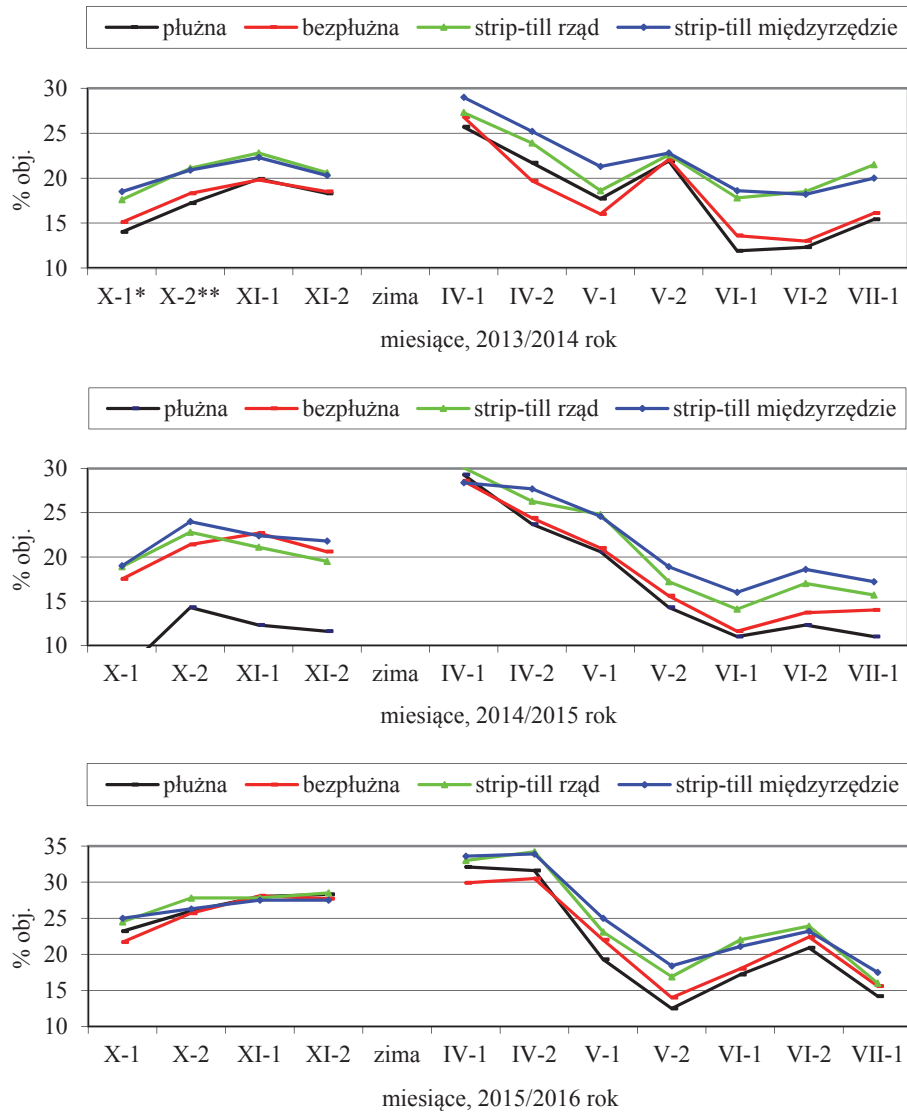
Wilgotność gleby na głębokości 20-30 cm w okresie wegetacji pszenicy ozimej była na ogół większa niż w warstwach wyżej położonych, a jej różnice powodowane przez poszczególne technologie uprawy mniejsze. Jednak w większości miesięcy jesiennej oraz wiosenno-letniej wegetacji gleba uprawiana pasowo zachowywała większą wilgotność zarówno w strefie rzędów roślin, jak i międzyrzędziach niż uprawiana bezpłuźnie, a zwłaszcza płuźnie (rys. 6). Podobna wilgotność występowała natomiast w okresach silnego uwilgotnienia gleby, np. bezpośrednio po zimie oraz po okresie niedoboru opadów, jak w pierwszej połowie lipca 2016 roku.



\* 1 – pierwsza połowa danego miesiąca

\*\* 2 – druga połowa danego miesiąca

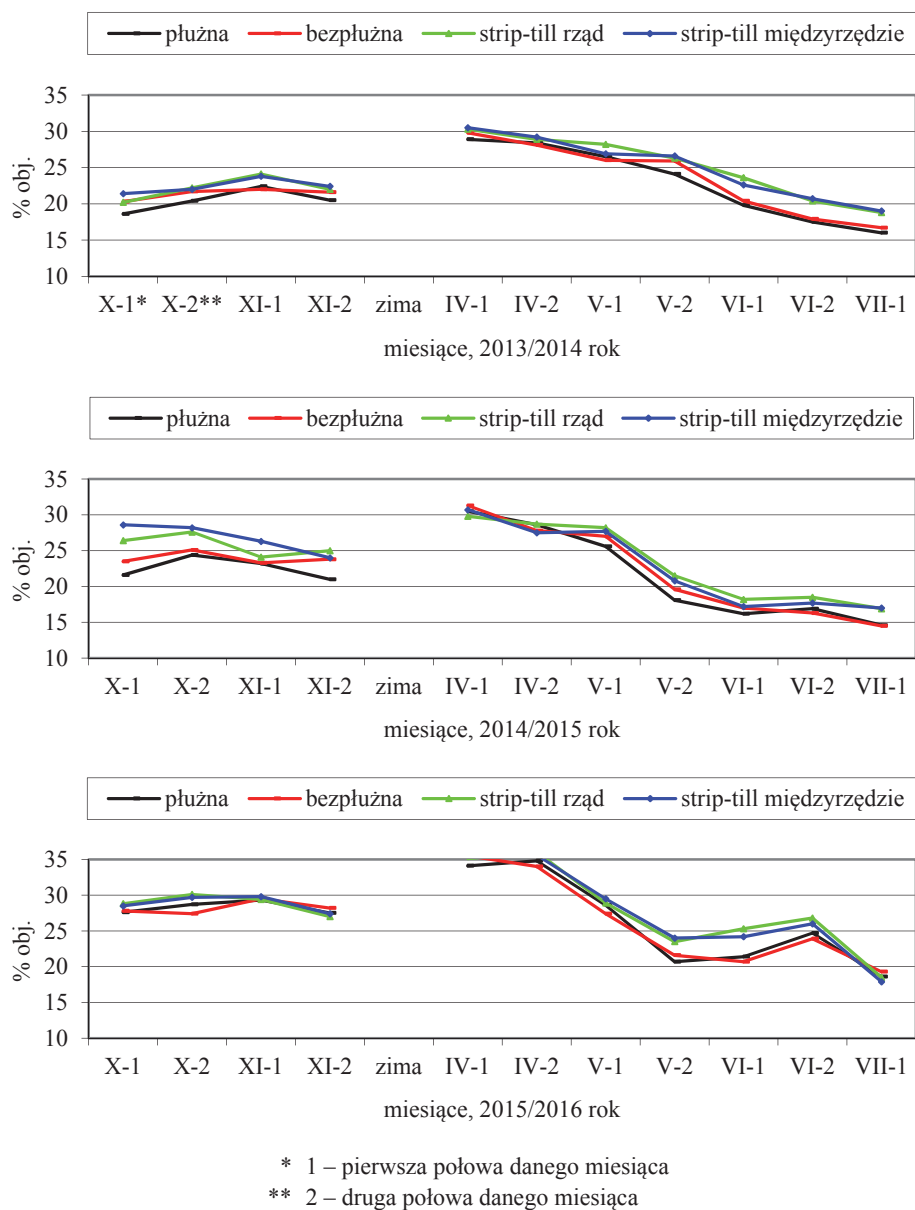
Rys. 4. Przebieg wilgotności gleby w warstwie 0-10 cm w latach badań



\* 1 – pierwsza połowa danego miesiąca

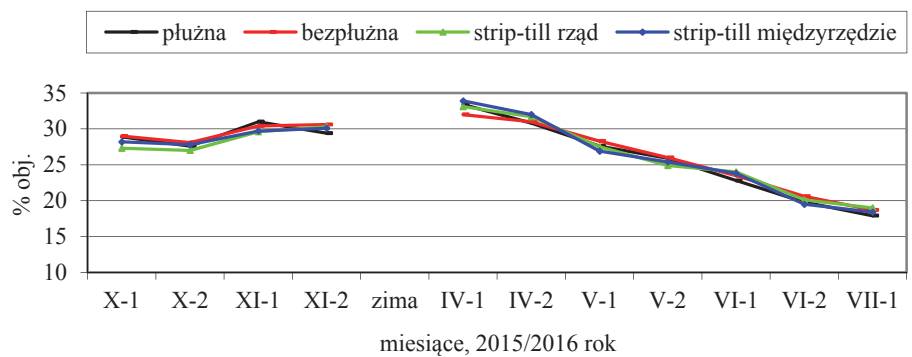
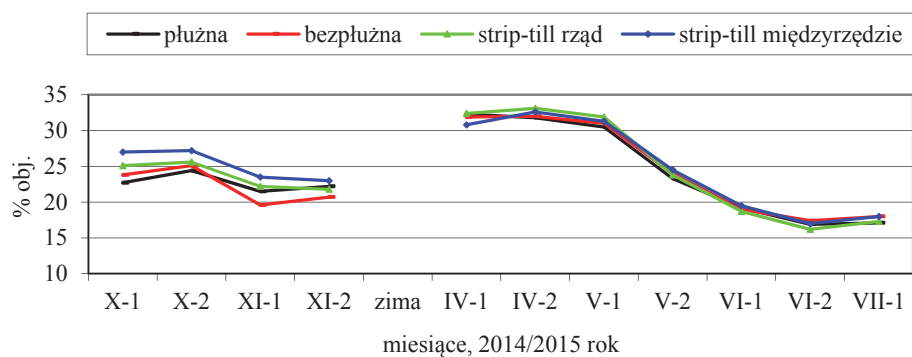
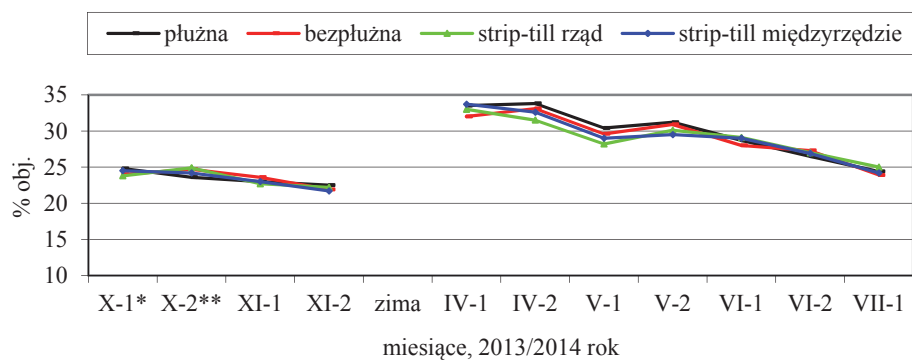
\*\* 2 – druga połowa danego miesiąca

Rys. 5. Przebieg wilgotności gleby w warstwie 10-20 cm w latach badań



Rys. 6. Przebieg wilgotności gleby w warstwie 20-30 cm w latach badań

Najbardziej wyrównana wilgotność gleby zarówno w latach badań, kolejnych miesiącach wegetacji pszenicy ozimej, jak i na obiektach o zróżnicowanej technologii uprawy roli, nawożenia i siewu była w warstwie najniższej położonej, na głębokości 30-40 cm (rys. 7). Tylko w drugim roku badań – jesienią wilgotność gleby po uprawie pasowej, zwłaszcza w strefie międzyrzędzi, miała większą wartość niż na pozostałych obiektach.



\* 1 – pierwsza połowa danego miesiąca

\*\* 2 – druga połowa danego miesiąca

Rys. 7. Przebieg wilgotności gleby w warstwie 30-40 cm w latach badań

### 5.1.3. Zawartość azotu mineralnego

#### 5.1.3.1. Jesień – koniec wegetacji pszenicy ozimej

W pierwszym i trzecim roku badań stwierdzono istotne zróżnicowanie zawartości azotu mineralnego w glebie jesienią w rzędach pszenicy ozimej i międzyrzędziach oraz pod wpływem stosowanych technologii uprawy roli, nawożenia i siewu (tab. 11). W 2013 roku po zakończeniu wegetacji więcej azotu mineralnego pozostawało w rzędach niż międzyrzędziach, a w 2015 roku w międzyrzędziach. W pierwszym roku badań najwięcej azotu było po uprawie pasowej, natomiast w trzecim na obiekcie uprawianym bezpluźnie zawartość azotu mineralnego w glebie była większa niż po technologii strip-till.

Tabela 11. Zawartość azotu mineralnego jesienią w latach badań ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. gleby)

Uprawa poźniwna - II	Miejsce - III	Uprawa podstawowa - I			średnia
		Pluźna	Bezpluźna	Strip-till	
2013/2014					
uprawa	rząd	13,0	13,3	25,3	17,2
	międzyrzędzie	17,8	17,3	13,7	16,2
średnia		15,4	15,3	19,5	16,7
brak	rząd	13,2	13,5	25,5	17,4
	międzyrzędzie	17,5	17,3	13,3	16,0
średnia		15,4	15,4	19,4	16,7
średnia	rząd	13,1	13,4	25,4	17,3
	międzyrzędzie	17,7	17,3	13,5	16,1
średnia		15,4	15,3	19,4	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = 1,02 II = n.i. III = 0,72 II/I = n.i. I/II = n.i. III/I = 1,25 I/III = 1,32 III/II = n.i. II/III = n.i.					
2014/2015					
uprawa	rząd	8,1	7,9	11,0	9,0
	międzyrzędzie	10,2	10,2	7,2	9,2
średnia		9,2	9,1	9,1	9,1
brak	rząd	7,7	8,0	11,2	9,0
	międzyrzędzie	10,0	10,2	7,1	9,1
średnia		8,9	9,1	9,2	9,0
średnia	rząd	7,9	8,0	11,1	9,0
	międzyrzędzie	10,1	10,2	7,1	9,2
średnia		9,0	9,1	9,1	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = n.i. II = n.i. III = n.i. II/I = n.i. I/II = n.i. III/I = 1,12 I/III = 1,37 III/II = n.i. II/III = n.i.					



cd. tabeli 11

2015/2016					
uprawa	rząd	10,4	10,3	14,3	11,6
	międzyrzędzie	14,5	15,3	10,1	13,3
średnia		12,4	12,8	12,2	12,5
brak	rząd	10,1	10,5	14,5	11,7
	międzyrzędzie	15,1	15,0	9,9	13,3
średnia		12,6	12,8	12,2	12,5
średnia	rząd	10,2	10,4	14,4	11,7
	międzyrzędzie	14,8	15,2	10,0	13,3
średnia		12,5	12,8	12,2	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = 0,47 II = n.i. III = 0,75 II/I = n.i. I/II = n.i. III/I = 1,30 I/III = 1,02 III/II = n.i. II/III = n.i.				

W każdym roku zróżnicowanie zawartości azotu w glebie w strefie rzędów roślin i międzyrzędziach zależało od sposobu uprawy roli i nawożenia. Po uprawie płuznej i bezpłuznej w międzyrzędziach pozostawało więcej azotu niż w rzędach roślin, natomiast po uprawie pasowej było odwrotnie. Taką samą zależność, tzn. większą zawartość azotu mineralnego w glebie po zakończeniu jesiennej wegetacji pszenicy ozimej uprawianej w technologii strip-till w jej rzędach niż międzyrzędziach stwierdzono średnio w całym okresie badań (tab. 12). Natomiast uprawa płuzna i bezpłuzna oraz stosowanie nawożenia przedsiewnego na całej powierzchni pola powodowało, że po okresie jesiennej wegetacji pszenicy ozimej zawartość azotu mineralnego w międzyrzędziach była większa niż w strefie rzędów roślin.

Tabela 12. Zawartość azotu mineralnego jesienią średnio w okresie badań (mg·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby)

Uprawa poźniwna - II	Miejsce - III	Uprawa podstawowa - I			średnia
		Płuzna	Bezpłuzna	Strip-till	
2013/2014 – 2015/2016					
uprawa	rząd	10,5	10,5	16,8	12,6
	międzyrzędzie	14,2	14,3	10,3	12,9
średnia		12,3	12,4	13,6	12,8
brak	rząd	10,3	10,7	17,1	12,7
	międzyrzędzie	14,2	14,2	10,1	12,8
średnia		12,3	12,4	13,6	12,8
średnia	rząd	10,4	10,6	17,0	12,6
	międzyrzędzie	14,2	14,2	10,2	12,9
średnia		12,3	12,4	13,6	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = n.i. II = n.i. III = n.i. II/I = n.i. I/II = n.i. III/I = 1,18 I/III = 1,62 III/II = n.i. II/III = n.i.				

### 5.1.3.2. Wiosna – wznowienie wegetacji pszenicy ozimej

Zawartość azotu mineralnego w glebie wiosną po nawożeniu pogłównym i wznowieniu wegetacji przez pszenicę ozimą w zależności od późniejszej i podstawowej uprawy roli oraz miejsca, czyli rzędów roślin i międzyrzędzi, kształtowała się podobnie we wszystkich latach badań (tab. 3). Średnio w całym okresie, podobnie jak jesienią, technologia strip-till powodowała, że zawartość azotu w glebie w strefie rzędów roślin była większa niż w ich międzyrzędziach oraz większa niż w rzędach roślin po uprawie płuznej i bezpłuznej. Natomiast w glebie międzyrzędzi uprawianej bezpłuznie występowało istotnie więcej azotu niż w rzędach (tab. 13).

Tabela 13. Zawartość azotu mineralnego wiosną średnio w okresie badań ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. gleby)

Uprawa późniejsza - II	Miejsce - III	Uprawa podstawowa - I			średnia
		Płuzna	Bezpłuzna	Strip-till	
2013/2014 – 2015/2016					
uprawa	rząd	39,1	38,8	44,7	40,9
	międzyrzędzie	40,2	41,8	37,4	39,8
średnia		39,7	40,3	41,0	40,3
brak	rząd	38,5	39,7	44,7	41,0
	międzyrzędzie	41,1	42,4	38,0	40,5
średnia		39,8	41,1	41,3	40,7
średnia	rząd	38,8	39,3	44,7	40,9
	międzyrzędzie	40,6	42,1	37,7	40,1
średnia		39,7	40,7	41,2	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = n.i.    II = n.i.    III = n.i.    II/I = n.i.    I/II = n.i.    III/I = 2,02    I/III = 2,76 III/II = n.i.    II/III = n.i.				

### 5.1.3.3. Po zbiorze roślin

Niewielkie, ale istotne w pierwszym i trzecim roku badań, zmniejszenie zawartości azotu mineralnego w glebie po zbiorze pszenicy ozimej stwierdzono w strefie rzędów roślin w stosunku do międzyrzędzi (tab. 14). W obu przypadkach tylko technologia strip-till spowodowała, że w glebie w strefie rzędów roślin pozostało mniej azotu mineralnego niż pomiędzy nimi. Jego zawartość w glebie po technologii płuznej i bezpłuznej zarówno w rzędach, jak i międzyrzędziach była natomiast podobna.

W 2014/2015 roku stwierdzono niezależny od innych czynników wpływ tylko technologii uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu na pozostałość azotu mineralnego po zbiorze pszenicy ozimej. Jego zawartość w glebie zwiększała się wraz ze stopniem uproszczenia klasycznej uprawy roli. Najmniejsza była na obiekcie uprawianym płuznie, istotnie większa po uprawie bezpłuznej, a największa po strip-till.

Średnio w trzech latach badań zawartość azotu mineralnego w glebie w strefie występowania rzędów zebranej pszenicy ozimej była istotnie mniejsza niż w jej międzyrzędziach, zwłaszcza po uprawie pasowej, a na obiekcie po uprawie płuznej mniejsza niż po strip-till (tab. 15). Pozostałość większej ilości azotu w technologii strip-till niż po uprawie płuznej i bezpłuznej dotyczyła tylko międzyrzędzi. W strefie rzędów jego zawartość w glebie nie zależała natomiast od technologii uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu pszenicy ozimej.

Tabela 14. Zawartość azotu mineralnego po zbiorze w latach badań ( $\text{mg kg}^{-1}$  s.m. gleby)

Uprawa poźniwna - II	Miejsce - III	Uprawa podstawowa - I			średnia
		Płużna	Bezplężna	Strip-till	
2013/2014					
uprawa	rząd	6,4	6,8	5,8	6,4
	międzyrzędzie	6,2	7,5	8,9	7,5
średnia		6,3	7,2	7,4	6,9
brak	rząd	6,0	6,7	5,4	6,0
	międzyrzędzie	6,4	7,5	8,5	7,4
średnia		6,2	7,1	6,9	6,7
średnia	rząd	6,2	6,7	5,6	6,2
	międzyrzędzie	6,3	7,5	8,7	7,5
średnia		6,2	7,1	7,1	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = n.i. II = n.i. III = 0,59 II/I = n.i. I/II = n.i. III/I = 1,02 I/III = 1,46 III/II = n.i. II/III = n.i.					
2014/2015					
uprawa	rząd	10,6	12,0	15,0	12,5
	międzyrzędzie	9,4	11,7	17,0	12,7
średnia		10,0	11,8	16,0	12,6
brak	rząd	10,7	10,7	15,3	12,2
	międzyrzędzie	9,9	11,3	16,4	12,5
średnia		10,3	11,0	15,8	12,4
średnia	rząd	10,6	11,3	15,1	12,3
	międzyrzędzie	9,6	11,5	16,7	12,6
średnia		10,1	11,4	15,9	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = 1,02 II = n.i. III = n.i. II/I = n.i. I/II = n.i. III/I = n.i. I/III = n.i. III/II = n.i. II/III = n.i.					
2015/2016					
uprawa	rząd	17,6	17,9	16,4	17,3
	międzyrzędzie	16,6	18,6	20,6	18,6
średnia		17,1	18,3	18,5	17,9
brak	rząd	17,5	18,0	16,3	17,3
	międzyrzędzie	16,2	19,2	20,5	18,6
średnia		16,8	18,6	18,4	17,9
średnia	rząd	17,5	18,0	16,3	17,3
	międzyrzędzie	16,4	18,9	20,5	18,6
średnia		17,0	18,4	18,4	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = 1,45 II = n.i. III = 0,73 II/I = n.i. I/II = n.i. III/I = 1,26 I/III = 1,67 III/II = n.i. II/III = n.i.					

Tabela 15. Zawartość azotu mineralnego po zbiorze średnio w okresie badań ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. gleby)

Uprawa poźniwna - II	Miejsce - III	Uprawa podstawowa - I			średnia
		Płużna	Bezpłużna	Strip-till	
2013/2014 – 2015/2016					
uprawa	rząd	11,5	12,2	12,4	12,0
	międzyrzędzie	10,7	12,6	15,5	12,9
średnia		11,1	12,4	13,9	12,5
brak	rząd	11,4	11,8	12,3	11,8
	międzyrzędzie	10,8	12,7	15,1	12,9
średnia		11,1	12,2	13,7	12,3
średnia	rząd	11,4	12,0	12,4	11,9
	międzyrzędzie	10,8	12,6	15,3	12,9
średnia		11,1	12,3	13,8	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = 1,55 II = n.i. III = 0,42 II/I = n.i. I/II = n.i. III/I = 0,72 I/III = 1,62 III/II = n.i. II/III = n.i.					

## 5.2. Cechy biometryczne i fizjologiczne roślin pszenicy ozimej

Przeprowadzone badania wykazały istotny wpływ zmiennych warunków w latach na oddziaływanie technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu pszenicy ozimej na obsadę roślin po wschodach i obsadę kłosów, wskaźnik zieloności liści flagowych oraz plon ziarna (tab. 3). Dlatego wyniki analizy tych cech biometrycznych przedstawiono z każdego roku oraz średnio z lat badań. Podobnie zaprezentowano wyniki wpływu czynników doświadczalnych na masę ziarna z kłosa, gdyż w jednym roku wystąpiło istotne oddziaływanie technologii uprawy roli, nawożenia i siewu na tę cechę, mimo braku istotnej interakcji lata x czynniki lub ich współdziałanie. Natomiast wobec braku takiej interakcji w kształtowaniu liczby ziaren w kłosie, wyniki przedstawiono jako średnie z całego okresu badań.

### 5.2.1. Obsada roślin

Mimo istotnego wpływu technologii uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu na obsadę roślin pszenicy ozimej po wschodach w każdym roku, nie stwierdzono zróżnicowania wielkości tej cechy średnio w trzech latach badań (tab. 16). W pierwszym roku obsada roślin w technologii strip-till była mniejsza niż na obiekcie uprawianym bezpłużnie, ale w kolejnym roku liczba roślin na jednostce powierzchni gleby uprawianej pasowo była większa niż po uprawie bezpłużnej i płużnej. W 2015/2016 roku obsada roślin psze-

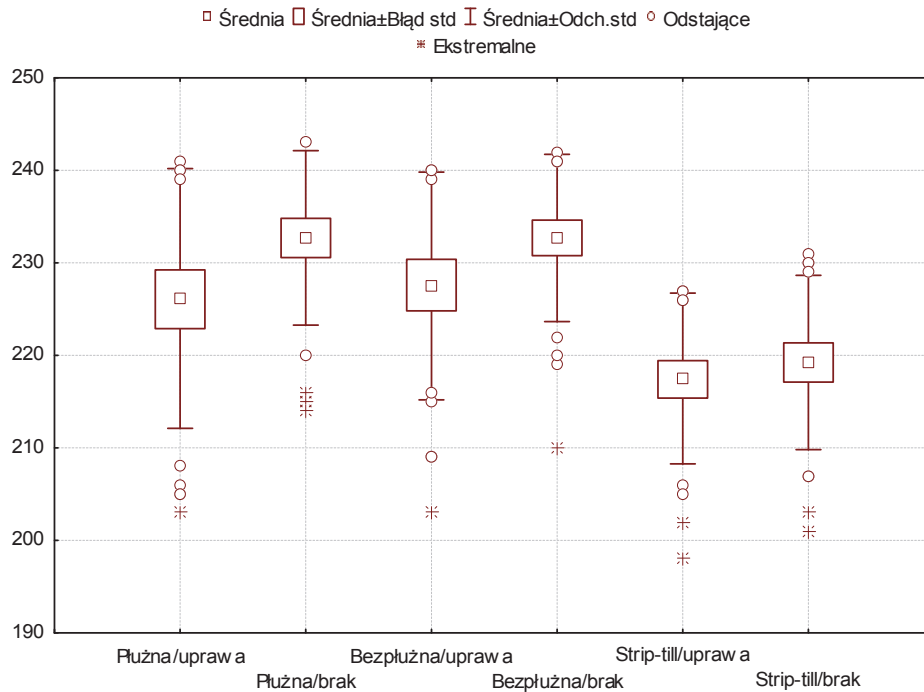
nicy ozimej zasianej w technologii strip-till była natomiast istotnie większa niż na obiekcie z bezpłużną uprawą roli oraz o 20 roślin na m<sup>2</sup> przewyższała obsadę występującą po uprawie płużnej.

Tabela 16. Obsada roślin po wschodach (szt·m<sup>-2</sup>)

Uprawa poźniwna II	Uprawa podstawowa - I			średnia
	Płużna	Bezpłużna	Strip-till	
2013/2014				
uprawa	226	228	218	224
brak	233	233	219	228
średnia	229	230	218	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = 11,2    II = n.i.    II/I = n.i.    I/II = n.i.				
2014/2015				
uprawa	189	195	212	199
brak	193	201	209	201
średnia	191	198	210	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = 5,9    II = n.i.    II/I = n.i.    I/II = n.i.				
2015/2016				
uprawa	195	174	215	194
brak	191	173	211	192
średnia	193	173	213	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = 21,3    II = n.i.    II/I = n.i.    I/II = n.i.				
2013/2014 – 2015/2016				
uprawa	203	199	215	206
brak	205	202	213	207
średnia	204	201	214	
NIR <sub>p=0,05</sub> I = n.i.    II = n.i.    II/I = n.i.    I/II = n.i.				

### 5.2.2. Równomierność obsady

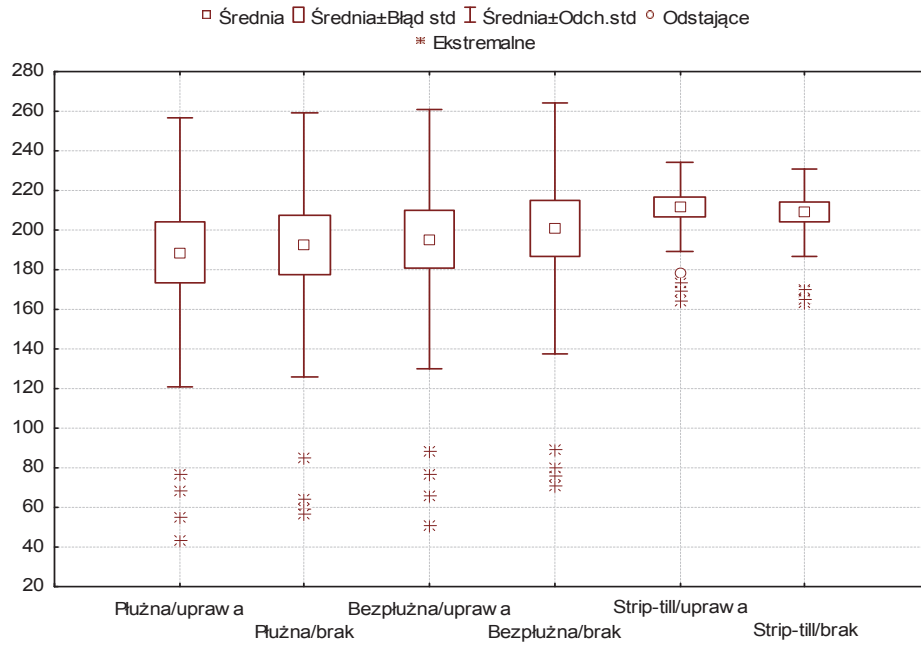
W pierwszym roku badań, najbardziej korzystnym dla wschodów pszenicy ozimej, wielkość odchylenia standardowego obsady roślin była podobna na wszystkich obiektach doświadczalnych – tylko trochę większa po uprawie poźniwnej i podstawowej uprawie płużnej (rys. 8). Zbliżona była również wielkość obsad ekstremalnych. Brak uprawy poźniwnej, a następnie podstawowa uprawa płużna i bezpłużna powodowały, że wielkość odchylenia standardowego obsady roślin na tych obiektach była nieco mniejsza niż po uprawie poźniwnej, a minimalna obsada ekstremalna wynosiła 210- 213 szt. m<sup>-2</sup>. Najbardziej odbiegające *in minus* wyniki od średniej obsady wynosiły około 200 roślin na m<sup>2</sup> – w technologii strip-till.



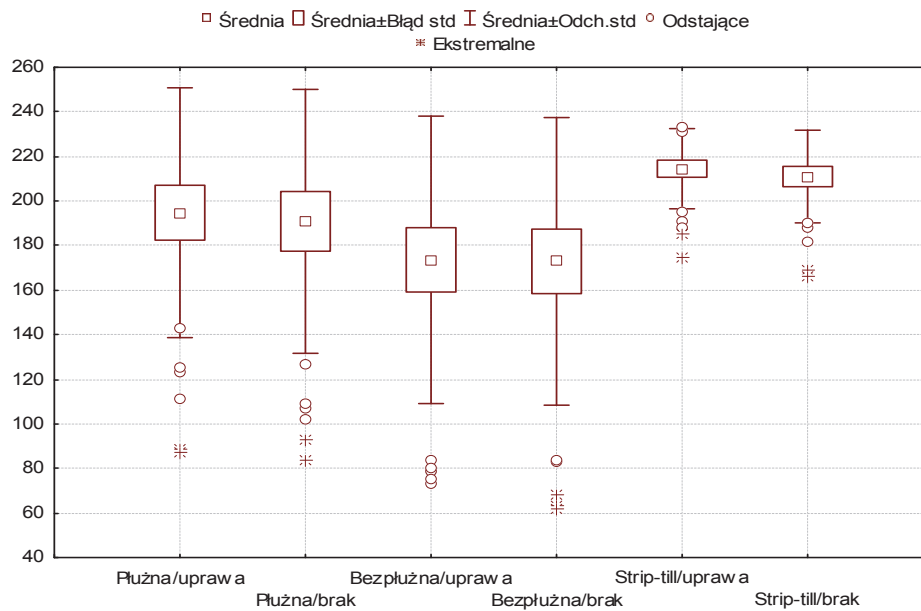
Rys. 8. Równomierność obsady roślin w pierwszym roku badań w zależności od technologii uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu

Równomierność obsady roślin w drugim roku badań była znacznie mniejsza niż w pierwszym. Świadczy o tym większa wartość odchylenia standardowego oraz minimalne wartości ekstremalne obsady wynoszące 40-50 roślin·m<sup>-2</sup> (rys. 9). Najmniej wyrównana obsada występowała na obiektach uprawianych płużnie oraz bezpłużnie. Znacznie bardziej wyrównana obsada była na obiektach, na których stosowano technologię strip-till zarówno z wcześniejszą uprawą późniwą, jak i przy jej braku. Na tych obiektach najmniejsza stwierdzona obsada wynosiła około 160 szt.·m<sup>-2</sup>, a odchylenie standardowe tej cechy było około 3-krotnie mniejsze niż na obiektach uprawianych płużnie i bezpłużnie.

W trzecim roku badań wpływ technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i sposobu siewu pszenicy ozimej w połączeniu z wcześniejszą uprawą późniwą po zbiorze przedplonu na równomierność obsady roślin na powierzchni całego obiektu doświadczalnego był podobny jak w drugim roku. Uprawa płużna, a zwłaszcza bezpłużna spowodowały, że obsada w różnych miejscach tych obiektów była silnie zróżnicowana, a minimalna obsada wynosiła około 80 szt.·m<sup>-2</sup> – uprawa płużna i 60 szt.·m<sup>-2</sup> – uprawa bezpłużna (rys. 10). Bardziej wyrównana obsada pszenicy ozimej wystąpiła w wyniku zastosowania technologii strip-till. Odchylenie standardowe tej cechy w tym przypadku było kilkakrotnie mniejsze, a najmniejsza stwierdzona obsada roślin na tym obiekcie wynosiła nie mniej niż 160 roślin·m<sup>-2</sup>.



Rys. 9. Równomierność obsady roślin w drugim roku badań w zależności od technologii uprawy roli, nawożenia przedsięwzięcia i siewu



Rys. 10. Równomierność obsady roślin w trzecim roku badań w zależności od technologii uprawy roli, nawożenia przedsięwzięcia i siewu

### 5.2.3. Wskaźnik zieloności liścia flagowego

Wskaźnik zieloności liści flagowych pszenicy ozimej, pośrednio wskazujący na stan odżywienia roślin, zwłaszcza azotem, zależał od technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu. Nie był natomiast kształtowany przez późniejszą uprawę roli i współdziałanie czynników (tab. 17). Średnio w okresie badań, podobnie jak w pierwszym roku, liście flagowe pszenicy ozimej uprawianej w technologii strip-till były bardziej zielone niż na obiekcie po uprawie bezpłużnej, a w trzecim roku także od liści roślin z obiektu, gdzie glebę uprawiano płużnie. W 2014/2015 roku największą wartością wskaźnika zieloności odznaczały się liście z obiektu uprawianego płużnie, choć nie była ona istotnie większa niż u roślin uprawianych pasowo.

Tabela 17. Wskaźnik zieloności liścia flagowego (SPAD)

Uprawa późniejsza II	Uprawa podstawowa - I			średnia
	Płużna	Bezpłużna	Strip-till	
2013/2014				
uprawa	700	694	717	704
brak	702	704	716	707
średnia	701	699	716	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = 16,5	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.
2014/2015				
uprawa	744	731	740	738
brak	741	735	734	737
średnia	743	733	737	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = 8,4	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.
2015/2016				
uprawa	754	753	770	759
brak	750	746	762	753
średnia	752	750	766	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = 13,1	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.
2013/2014 – 2015/2016				
uprawa	733	726	742	734
brak	731	728	737	732
średnia	732	727	740	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = 8,2	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.



#### 5.2.4. Obsada kłosów

Technologia podstawowej uprawy roli, nawożenia i siewu, z wyjątkiem pierwszego roku, wpłynęła istotnie na obsadę kłosów pszenicy ozimej. Wpływu takiego nie miała natomiast późniejsza uprawa roli oraz współdziałanie obu czynników (tab. 18). W wyniku zastosowania technologii strip-till obsada kłosów w drugim i trzecim roku, jak również średnio w latach badań była istotnie większa niż pszenicy ozimej wysiewanej po wykonaniu bezpłużnej uprawy roli. W tych latach obsada kłosów na obiekcie z płużną uprawą roli, powierzchniowym stosowaniem nawozów przedsięwziętych i tradycyjnym rzędowym siewem była również mniejsza niż po uprawie strip-till, chociaż różnice nie zostały udowodnione statystycznie.

Tabela 18. Obsada kłosów (szt. m<sup>-2</sup>)

Uprawa późniejsza II	Uprawa podstawowa - I			średnia
	Płużna	Bezpłużna	Strip-till	
2013/2014				
uprawa	688	685	678	684
brak	682	683	674	680
średnia	685	684	676	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = n.i.	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.
2014/2015				
uprawa	641	636	664	647
brak	642	624	662	643
średnia	641	630	663	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = 24,7	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.
2015/2016				
uprawa	476	452	483	470
brak	469	450	479	466
średnia	472	451	481	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = 20,7	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.
2013/2014 – 2015/2016				
uprawa	602	591	608	600
brak	597	586	605	596
średnia	600	588	606	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = 17,0	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.

### 5.2.5. Liczba ziaren w kłosie

Liczba ziaren w kłosie pszenicy ozimej była cechą nie zróżnicowaną przez czynniki doświadczalne ani ich interakcyjne oddziaływanie (tab. 19). Maksymalna różnica jej wartości u roślin z obiektów doświadczalnych wyniosła 1,4 sztuki i nie była statystycznie istotna.

Tabela 19. Liczba ziaren w kłosie (szt.)

Uprawa późniwna II	Uprawa podstawowa - I			średnia
	Płużna	Bezpłużna	Strip-till	
2013/2014 – 2015/2016				
uprawa	37,4	36,5	37,4	37,1
brak	37,5	36,2	37,6	37,1
średnia	37,4	36,4	37,5	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = n.i.	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.

### 5.2.6. Masa ziarna z kłosa

Istotny wpływ technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu na masę ziarna z kłosa pszenicy ozimej wystąpił tylko w trzecim roku badań (tab. 20). Kłosa roślin z obiektów uprawianego płużnie oraz w technologii strip-till były wypełnione ziarnem o masie większej niż na obiekcie uprawianym bezpłużnie. Różnica istotna w trzecim roku badań oraz tendencja mniejszej masy ziarna z kłosa pszenicy ozimej z obiektu z bezpłużną uprawą roli niż uprawianej w technologii strip-till w dwóch pierwszych latach spowodowały, że średnio w latach badań masa ziarna z kłosa pszenicy w uprawie pasowej była istotnie większa niż po uprawie bezpłużnej.

Tabela 20. Masa ziarna z kłosa (g)

Uprawa późniwna II	Uprawa podstawowa - I			średnia
	Płużna	Bezpłużna	Strip-till	
2013/2014				
uprawa	1,61	1,55	1,60	1,58
brak	1,61	1,59	1,61	1,60
średnia	1,61	1,57	1,60	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = n.i.	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.
2014/2015				
uprawa	1,49	1,50	1,52	1,50
brak	1,48	1,49	1,51	1,49
średnia	1,49	1,49	1,52	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = n.i.	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.
2015/2016				
uprawa	1,66	1,59	1,66	1,63
brak	1,64	1,57	1,65	1,62
średnia	1,65	1,58	1,65	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = 0,046	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.

cd. tabeli 20

2013/2014 – 2015/2016				
uprawa	1,58	1,54	1,59	1,57
brak	1,58	1,55	1,59	1,57
średnia	1,58	1,55	1,59	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = 0,034	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.

### 5.2.7. Plon ziarna

Technologia uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu wpłynęła na plon ziarna w drugim i trzecim roku uprawy pszenicy ozimej. W pierwszym roku, w stanowisku po rzepaku ozimym i przy korzystnym przebiegu pogody, plon ziarna był największy, ale niezależny od technologii podstawowej oraz późniejszej uprawy roli (tab. 21). Plon pszenicy ozimej uprawianej w technologii strip-till w 2014/2015 roku był istotnie większy w porównaniu zarówno do uprawy płuznej, jak i bezpłuznej. W 2015/2016 roku pszenica po płuznej uprawie roli i w technologii strip-till plonowała podobnie i jednocześnie istotnie lepiej niż po uprawie bezpłuznej.

Mimo różnic w latach badań, średnio w całym okresie stwierdzono, że plon ziarna pszenicy ozimej wysiewanej po tradycyjnej płuznej podstawowej uprawie roli i w technologii strip-till był podobny, ale istotnie większy niż po uprawie bezpłuznej.

Tabela 21. Plon ziarna (t·ha<sup>-1</sup>)

Uprawa późniejsza II	Uprawa podstawowa - I			średnia
	Płuzna	Bezpłuzna	Strip-till	
2013/2014				
uprawa	10,34	10,31	10,13	10,26
brak	10,37	10,26	10,11	10,24
średnia	10,35	10,29	10,12	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = n.i.	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.
2014/2015				
uprawa	9,23	9,04	9,58	9,28
brak	9,21	8,97	9,54	9,24
średnia	9,22	9,01	9,56	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = 0,317	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.
2015/2016				
uprawa	7,59	6,70	7,50	7,26
brak	7,54	6,70	7,30	7,18
średnia	7,56	6,70	7,40	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = 0,409	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.
2013/2014 – 2015/2016				
uprawa	9,05	8,68	9,07	8,93
brak	9,04	8,64	8,98	8,89
średnia	9,04	8,66	9,02	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = 0,333	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.

### 5.3. Jakość ziarna

Wpływ technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu na niektóre cechy jakości ziarna pszenicy ozimej zależał od warunków siedliskowych związanych z latami badań (tab. 3). Stwierdzono istotną interakcję tego czynnika z latami w kształtowaniu zawartości białka ogólnego i glutenu mokrego oraz wskaźnika sedymentacji. Z tego względu dla dokładnej interpretacji wyników omówiono nie tylko ich średnie wartości, ale również rezultaty badań w każdym roku. Wpływ badanych technologii na właściwości fizyczne ziarna, jak masa tysiąca ziaren i ich gęstość w stanie zsypanym, a także na wielkość liczby opadania nie zależał natomiast od roku, dlatego przedstawiono wyniki uśrednione dla całego okresu badań.

#### 5.3.1. Masa tysiąca ziaren

Podstawowa uprawa roli wraz ze sposobem nawożenia przedsiewnego i siewu, jak również uprawa późniejsza nie miały wpływu na masę tysiąca ziaren pszenicy ozimej. Pod wpływem tych czynników średnio w trzech latach badań różnica wielkości masy tysiąca ziaren wyniosła odpowiednio 0,5 g i 0,1 g (tab. 22).

Tabela 22. Masa tysiąca ziaren (g)

Uprawa późniejsza - II	Uprawa podstawowa - I			średnia
	Płużna	Bezpłużna	Strip-till	
2013/2014 – 2015/2016				
uprawa	43,7	43,5	43,8	43,7
brak	43,7	43,6	44,2	43,8
średnia	43,7	43,5	44,0	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = n.i.	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.

#### 5.3.2. Gęstość ziarna w stanie zsypanym

Jednakowo w latach i niewielki średnio w całym okresie badań był również wpływ czynników doświadczenia, zwłaszcza późniejszej uprawy roli, na gęstość ziarna w stanie zsypanym (tab. 23). Gęstość ziarna pszenicy ozimej uprawianej w technologii z tradycyjną płużną uprawą roli, przedsiewną rzutową aplikacją nawozów na całej powierzchni pola i siewem rzędowym była o 0,8 i 1,3 kg·hl<sup>-1</sup> większa od ziarna z obiektów odpowiednio z technologią uprawy bezpłużnej i pasowej.

Tabela 23. Gęstość ziarna w stanie zsypanym (kg·hl<sup>-1</sup>)

Uprawa późniejsza - II	Uprawa podstawowa - I			średnia
	Płużna	Bezpłużna	Strip-till	
2013/2014 – 2015/2016				
uprawa	79,8	78,9	78,5	79,1
brak	79,4	78,8	78,2	78,8
średnia	79,6	78,8	78,3	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = 0,89	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.

### 5.3.3. Zawartość białka ogólnego

Zawartość białka ogólnego w dwóch pierwszych latach badań nie zależała ani od technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia i siewu, ani od późniejszej uprawy roli. W trzecim roku wielkość tej cechy jakości ziarna różnicował natomiast pierwszy z czynników doświadczenia (tab. 24). Ziarno z obiektu, na którym stosowano technologię strip-till zawierało istotnie więcej białka niż ziarno po uprawie płuźnej. Zawartość ta była także większa niż w ziarnie z obiektu uprawianego bezpłuźnie, chociaż różnica 0,2 punktu procentowego nie była istotna statystycznie.

Zależność zawartości białka w ziarnie od czynników doświadczenia średnio w okresie badań wyglądała podobnie jak w trzecim roku. Późniejsza uprawa roli nie miała wpływu na tę cechę, a ziarno z obiektu uprawianego w technologii strip-till zawierało istotnie więcej białka od ziarna pszenicy wysiewanej po podstawowej płuźnej uprawie roli, rzutowym nawożeniu przedsięwziętym i siewie rzędowym.

Tabela 24. Zawartość białka ogólnego (%)

Uprawa poźniwna - II	Uprawa podstawowa - I			średnia
	Płuźna	Bezpłuźna	Strip-till	
2013/2014				
uprawa	13,5	13,6	13,6	13,5
brak	13,4	13,6	13,4	13,5
średnia	13,5	13,6	13,5	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = n.i.	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.
2014/2015				
uprawa	14,2	14,0	14,4	14,2
brak	14,1	14,1	14,2	14,1
średnia	14,1	14,1	14,3	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = n.i.	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.
2015/2016				
uprawa	14,0	14,3	14,6	14,3
brak	14,0	14,3	14,5	14,2
średnia	14,0	14,3	14,5	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = 0,27	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.
2013/2014 – 2015/2016				
uprawa	13,8	14,0	14,2	14,0
brak	13,8	14,0	14,0	13,9
średnia	13,8	14,0	14,1	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = 0,22	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.

### 5.3.4. Zawartość glutenu mokrego

Najmniej glutenu mokrego zawierało ziarno pszenicy ozimej w pierwszym roku badań. Jednocześnie jego zawartość nie zależała od czynników doświadczenia (tab. 25). W kolejnych latach stwierdzono istotny wpływ technologii podstawowej uprawy roli w połączeniu z nawożeniem przedsięwziętym i siewem na koncentrację glutenu w ziarnie.

W drugim roku technologia strip-till spowodowała, że jego zawartość w ziarnie była istotnie większa niż u pszenicy z obiektu z płużną podstawową uprawą roli, a w trzecim roku zarówno z uprawą płużną, jak i bezpłużną. Różnice zawartości glutenu mokrego w ziarnie z tych obiektów były na tyle duże, że spowodowały podobne zróżnicowanie tej cechy jakości ziarna średnio w trzech latach badań. Najwięcej glutenu zawierało ziarno pszenicy uprawianej w technologii strip-till, a istotnie mniej w technologii z tradycyjną płużną podstawową uprawą roli oraz uprawą bezpłużną.

Tabela 25. Zawartość glutenu mokrego (%)

Uprawa późniwna II	Uprawa podstawowa - I			średnia
	Płużna	Bezpłużna	Strip-till	
2013/2014				
uprawa	27,0	26,8	26,8	26,8
brak	27,3	25,8	26,8	26,6
średnia	27,1	26,3	26,8	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = n.i.	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.
2014/2015				
uprawa	29,0	29,5	30,3	29,6
brak	29,0	28,8	31,8	29,8
średnia	29,0	29,1	31,0	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = 1,97	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.
2015/2016				
uprawa	30,8	32,0	34,0	32,3
brak	31,3	32,3	35,0	32,8
średnia	31,0	32,1	34,5	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = 1,94	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.
2013/2014 – 2015/2016				
uprawa	28,9	29,4	30,3	29,6
brak	29,2	28,9	31,2	29,8
średnia	29,0	29,2	30,8	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = 1,44	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.

### 5.3.5. Wskaźnik sedymentacji

Wpływ podstawowej uprawy roli wraz ze sposobem nawożenia przedsiewnego i siewu, a zwłaszcza późniwniej uprawy roli na wskaźnik sedymentacji ziarna pszenicy ozimej nie był duży (tab. 26). Tylko w trzecim roku wskaźnik sedymentacji ziarna pszenicy ozimej uprawianej w technologii strip-till był istotnie większy niż pszenicy z obiektów z płużną i bezpłużną podstawową uprawą roli. Również średnio w trzyletnim okresie badań nie stwierdzono istotnego wpływu czynników doświadczenia na tę cechę jakości ziarna.

Tabela 26. Wskaźnik sedymentacji (ml)

Uprawa późniwna II	Uprawa podstawowa - I			średnia
	Płużna	Bezpłużna	Strip-till	
2013/2014				
uprawa	47,5	46,5	47,3	47,1
brak	47,5	46,2	47,1	46,9
średnia	47,5	46,3	47,2	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = n.i.	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.
2014/2015				
uprawa	54,6	54,5	54,8	54,6
brak	55,4	55,0	56,0	55,5
średnia	55,0	54,7	55,4	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = n.i.	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.
2015/2016				
uprawa	54,3	55,5	57,3	55,7
brak	54,6	55,3	57,8	55,9
średnia	54,4	55,4	57,5	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = 1,83	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.
2013/2014 – 2015/2016				
uprawa	52,1	52,1	53,1	52,5
brak	52,5	52,2	53,6	52,8
średnia	52,3	52,2	53,4	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = n.i.	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.

### 5.3.6. Liczba opadania

Liczba opadania jako cecha jakości ziarna pszenicy w żadnym roku, ani średnio w trzech latach badań nie zależała w stopniu istotnym od technologii podstawowej uprawy roli nawożenia przedsiewnego i sposobu siewu, a także od późniwnej uprawy roli (tab. 27).

Tabela 27. Liczba opadania (s)

Uprawa późniwna - II	Uprawa podstawowa - I			średnia
	Płużna	Bezpłużna	Strip-till	
2013/2014 – 2015/2016				
uprawa	365	355	361	360
brak	361	352	361	358
średnia	363	354	361	
NIR <sub>p=0,05</sub>	I = n.i.	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.

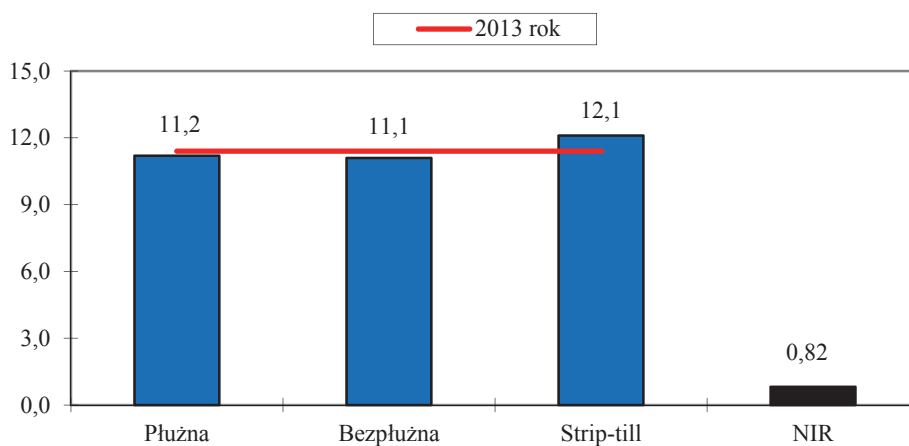
### 5.4. Efekt środowiskowy – właściwości gleby

Analiza gleby po zakończeniu doświadczenia polowego i tym samym trzykrotnym stosowaniu tych samych zabiegów agrotechnicznych wykazała różny stopień zmian niektórych jej właściwości na poszczególnych obiektach. Brak istotnego wpływu późniwnej

uprawy roli oraz jej interakcyjnego oddziaływania z technologią podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu pszenicy ozimej na właściwości gleby pozwala na przedstawienie zależności ocenianych właściwości chemicznych tylko od pierwszego czynnika doświadczenia.

#### 5.4.1. Zawartość węgla organicznego

Zawartość węgla organicznego w powierzchniowej warstwie gleby 0-15 cm na obiekcie, na którym stosowano technologię strip-till wynosiła 12,1 g·kg<sup>-1</sup> gleby. Była ona istotnie większa niż na obiektach uprawianych płuznie i bezpłuznie oraz jednocześnie większa w porównaniu ze średnią zawartością węgla organicznego w warstwie 0-20 cm przed założeniem doświadczenia – 11,4 g·kg<sup>-1</sup> gleby (rys. 11).

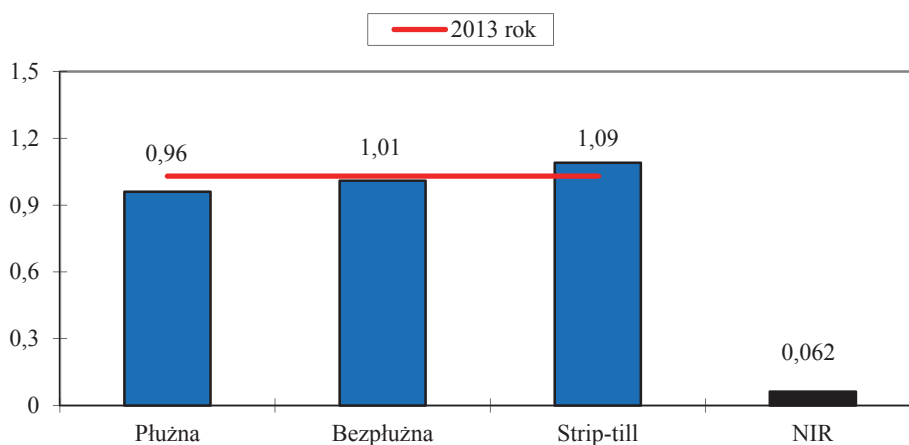


Rys. 11. Zawartość węgla organicznego (g·kg<sup>-1</sup> gleby) po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu

#### 5.4.2. Zawartość azotu ogólnego

Technologia strip-till, podobnie jak na zawartość węgla organicznego, wpłynęła na azot ogólny w glebie. Na tym obiekcie jego zawartość w warstwie 0-15 cm była o 0,03 g·kg<sup>-1</sup> gleby większa niż przed trzema laty oraz istotnie wyższa od zawartości w glebie uprawianej w tym czasie bezpłuznie i płuznie (rys. 12).

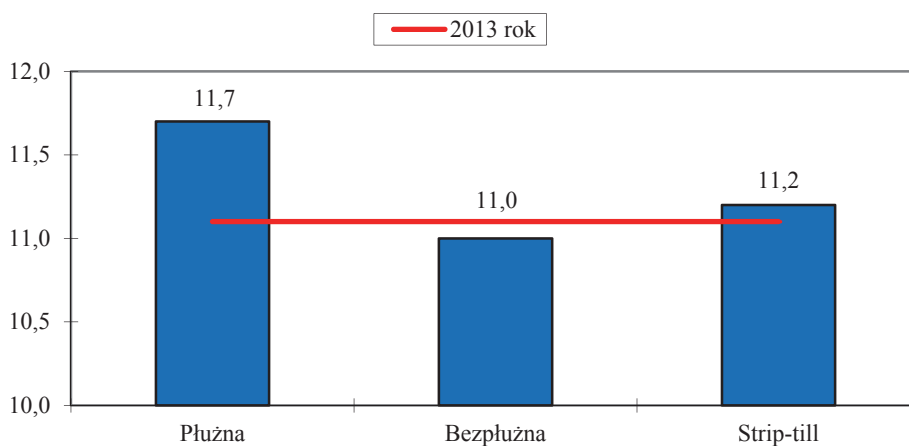




Rys. 12. Zawartość azotu ogólnego (g·kg<sup>-1</sup> gleby) po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu

#### 5.4.3. Stosunek C/N

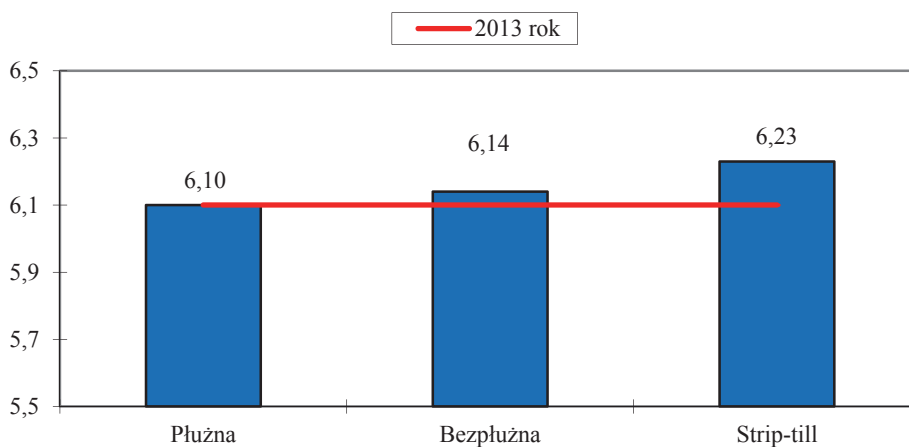
Po trzech latach doświadczenia polowego stosunek węgla organicznego do azotu ogólnego w wierzchniej warstwie gleby na obiektach, na których stosowano technologię strip-till oraz bezplużną uprawę roli była podobna ( $\pm 0,1$ ) jak przed rozpoczęciem eksperymentu (rys. 13). Najszerszy i jednocześnie większy o 0,6 niż na początku okresu badań był stosunek C/N w glebie z plużną podstawową uprawą roli.



Rys. 13. Stosunek C/N w glebie po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu

#### 5.4.4. pH gleby

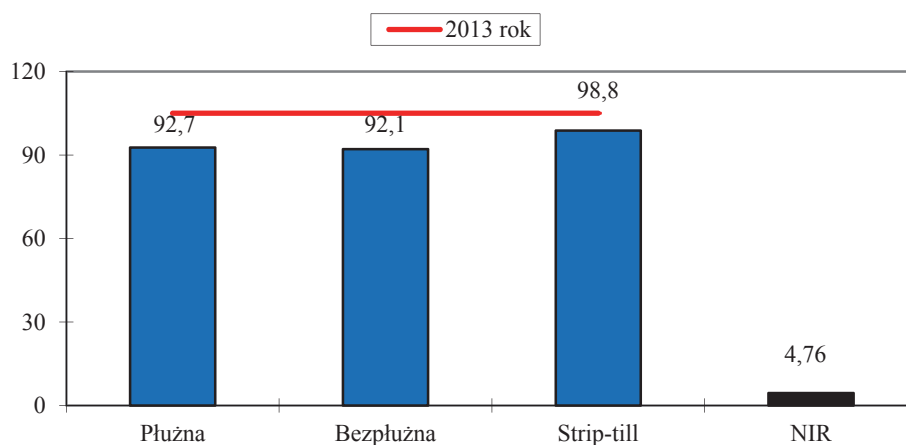
Średnia wartość wskaźnika  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  gleby w warstwie 0-20 cm przed rozpoczęciem badań wynosiła 6,10. Po trzech latach utrzymała się dokładnie na tym samym poziomie w warstwie 0-15 cm gleby, którą przed tradycyjnym rzędowym siewem uprawiano płuźnie, a nawozy mineralne wysiewano na całej powierzchni (rys. 14). W wyniku podstawowej uprawy bezpłuźnej, a zwłaszcza technologii strip-till wystąpiła tendencja wzrostu wskaźnika  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  gleby. Jego wartość po zakończeniu trzyletniego doświadczenia polowego wyniosła odpowiednio 6,14 i 6,23.



Rys. 14. Wskaźnik  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  gleby po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu

#### 5.4.5. Zawartość przyswajalnego fosforu

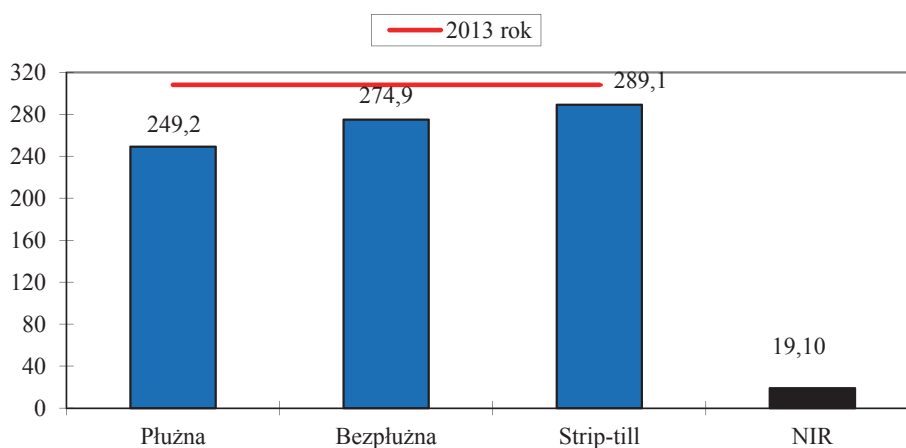
Zawartość przyswajalnego fosforu w glebie zmniejszyła się na wszystkich obiektach po trzech latach podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu pszenicy ozimej z  $105,0 \text{ mg P kg}^{-1}$  gleby do  $92,1 - 98,8 \text{ mg P kg}^{-1}$  gleby (rys. 15). W najmniejszym stopniu uległa obniżeniu zawartość fosforu na obiekcie, na którym stosowano technologię strip-till, gdzie po trzech latach była ona istotnie większa niż w glebie uprawianej płuźnie i bezpłuźnie.



Rys. 15. Zawartość przyswajalnego fosforu w glebie (mg P·kg<sup>-1</sup> gleby) po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu

#### 5.4.6. Zawartość przyswajalnego potasu

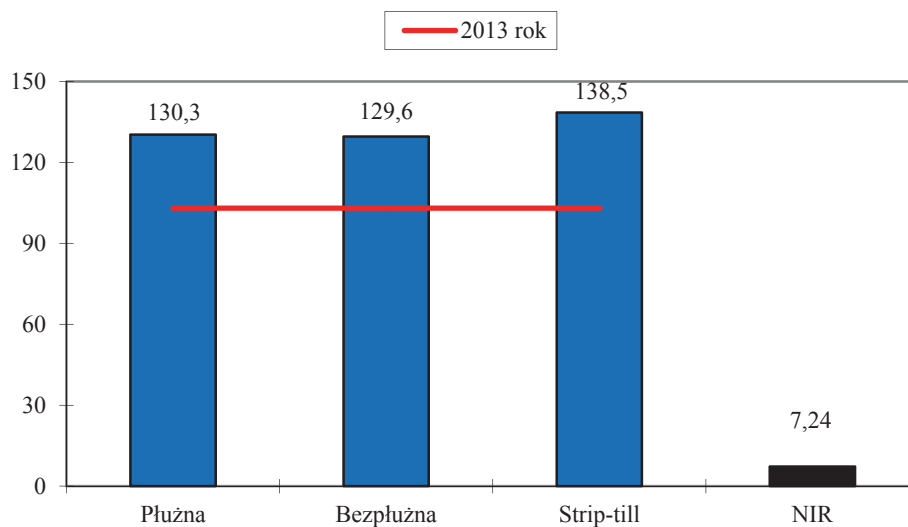
Trzyletni okres stosowania każdej z badanych technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu pszenicy ozimej spowodował zmniejszenie zawartości potasu przyswajalnego w wierzchniej warstwie gleby (rys. 16). Najmniejszy spadek wystąpił pod wpływem technologii strip-till. Na obiekcie tym zawartość przyswajalnego potasu po zakończeniu doświadczenia polowego była o 14,2 mg K·kg<sup>-1</sup> gleby większa niż w glebie uprawianej bezplężnie i istotnie większa od jego zawartości w glebie uprawianej plężnie.



Rys. 16. Zawartość przyswajalnego potasu w glebie (mg K·kg<sup>-1</sup> gleby) po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu

#### 5.4.7. Zawartość przyswajalnego magnezu

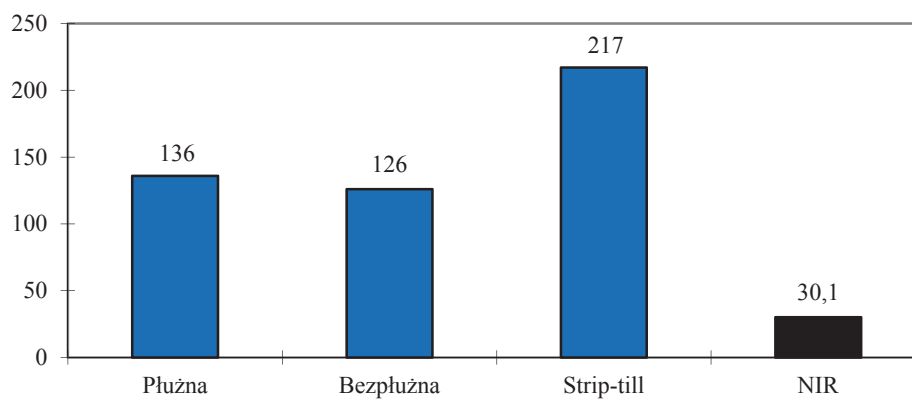
Magnez był jedynym makroskładnikiem, którego zawartość w glebie po trzech latach badań zwiększyła się w stosunku do 2013 roku, w największym stopniu pod wpływem stosowania technologii strip-till (rys. 17). Po zakończeniu doświadczenia polowego zawartość przyswajalnego magnezu na tym obiekcie była istotnie większa niż na obiektach, na których stosowano technologie płużnej i bezpłużnej podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu pszenicy ozimej.



Rys. 17. Zawartość przyswajalnego magnezu w glebie (mg Mg·kg<sup>-1</sup> gleby) po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu

#### 5.4.8. Liczba bakterii

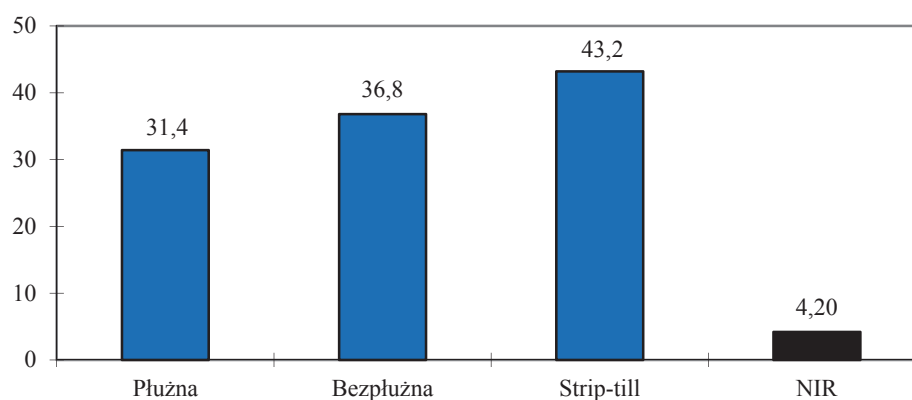
Sposób uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu wpłynął istotnie na występowanie bakterii w wierzchniej warstwie gleby. Po trzech latach stosowania technologii strip-till liczba bakterii ogółem była o 81 jtk·10<sup>7</sup>·g<sup>-1</sup> s.m. gleby oraz 91 jtk·10<sup>7</sup>·g<sup>-1</sup> s.m. gleby większa niż na obiektach uprawianych odpowiednio płużnie i bezpłużnie (rys. 18). Względna różnica liczby bakterii w powierzchniowej, 15-centymetrowej, warstwie gleby na tych obiektach wyniosła 59,6% i 72,2%.



Rys. 18. Liczba bakterii ogółem (jtk  $10^7 \text{ g}^{-1}$  s.m. gleby) w warstwie 0-15 cm po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu

#### 5.4.9. Liczba grzybów

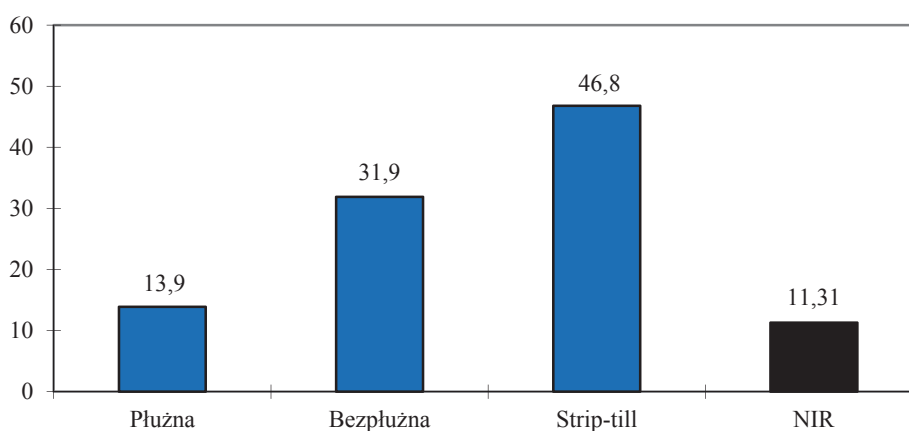
Liczebność grzybów po trzech latach badań, podobnie jak bakterii, zależała od technologii uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu. Technologia strip-till spowodowała zwiększenie ich liczby o  $6,4 \text{ jtk} \cdot 10^4 \text{ g}^{-1}$  s.m. gleby w stosunku do gleby uprawianej bezplężnie i o  $11,8 \text{ jtk} \cdot 10^4 \text{ g}^{-1}$  s.m. gleby w porównaniu z glebą uprawianą plężnie (rys. 19). Względny przyrost liczby grzybów ogółem pod wpływem pasowej uprawy roli z jednoczesną aplikacją nawozów i siewem wyniósł w stosunku do cało powierzchniowej uprawy bezplężnej oraz plężnej odpowiednio 17,4% i 37,6%.



Rys. 19. Liczba grzybów ogółem (jtk  $10^4 \text{ g}^{-1}$  s.m. gleby) w warstwie 0-15 cm po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu

#### 5.4.10. Liczebność dżdżownic

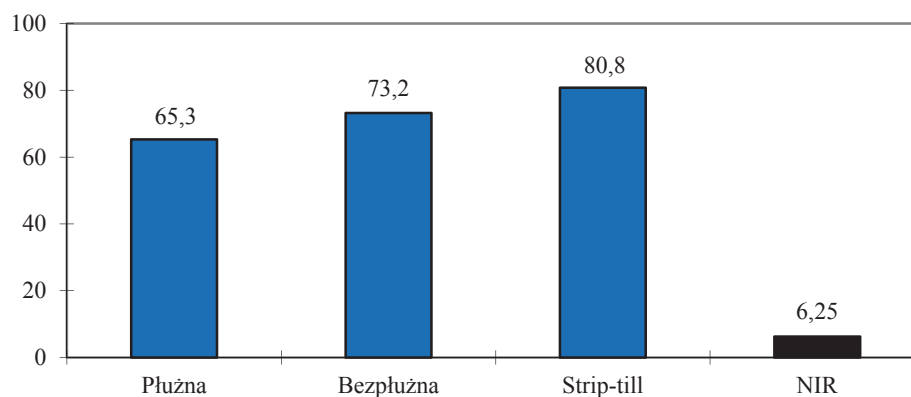
Kilkuletnie stosowanie różnych technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu spowodowało duże zróżnicowanie liczby dżdżownic występujących w wierzchniej warstwie gleby (rys. 20). Na obiekcie, gdzie pszenicę uprawiano w technologii strip-till liczba dżdżownic po jej zbiorze w trzecim roku eksperymentu polowego była blisko 1,5-krotnie większa niż na obiekcie uprawianym bezpłuznie i około 3,5-krotnie większa niż w glebie uprawianej płuznie z późniejszym nawożeniem przedsiewnym i siewem rzędowym.



Rys. 20. Liczba dżdżownic w warstwie gleby 0-15 cm (szt. m<sup>-2</sup>) po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu

#### 5.4.11. Aktywność dehydrogenaz

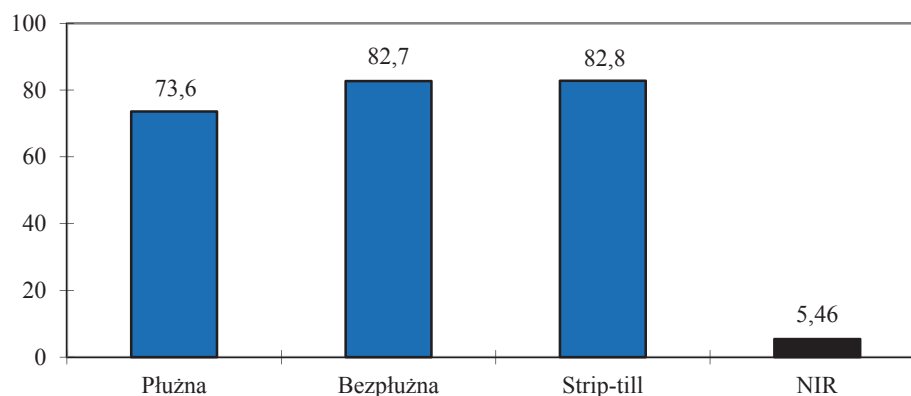
Trzyletni okres stosowania zróżnicowanej technologii uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu pszenicy ozimej spowodował istotne zmiany aktywności enzymatycznej gleby. Aktywność dehydrogenaz w glebie, gdzie stosowano technologię strip-till była o 10,4% większa niż w glebie obiektu uprawianego bezpłuznie i 23,7% większa od aktywności tych enzymów w glebie corocznie oranej. Różnice te były istotne statystycznie, a ich bezwzględna wielkość wyniosła 7,6  $\mu\text{g}$  formazanu  $\text{g}^{-1}$  s.m. gleby  $24 \text{ h}^{-1}$  oraz 15,5  $\mu\text{g}$  formazanu  $\text{g}^{-1}$  s.m. gleby  $24 \text{ h}^{-1}$  (rys. 21).



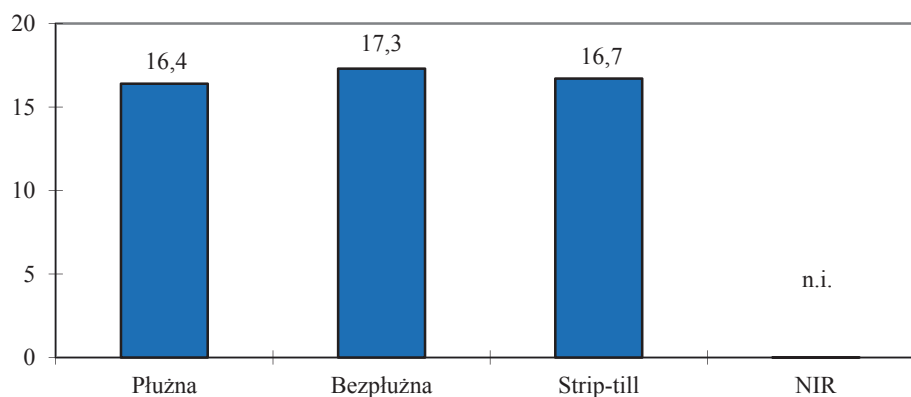
Rys. 21. Aktywność dehydrogenaz ( $\mu\text{g}$  formazan·g<sup>-1</sup> s.m. gleby·24 h<sup>-1</sup>) w warstwie 0-15 cm po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu

#### 5.4.12. Aktywność fosfataz

Technologia podstawowej uprawy roli, nawożenia i siewu wpłynęła również na aktywność fosfatazy kwaśnej (rys. 22), nie zróżnicowała natomiast aktywności fosfatazy zasadowej (rys. 23). Aktywność fosfatazy kwaśnej w glebie nie odwracanej, a więc uprawianej bezplężnie i pasowo nie różniła się istotnie, a jednocześnie była większa niż w glebie oranej. Różnica aktywności fosfatazy zasadowej w glebie uprawianej bezplężnie, a pasowo i plężnie była bardzo mała. Wynosiła ona odpowiednio 0,6  $\mu\text{g}$  p-nitrophenolu g<sup>-1</sup> s.m. gleby·1h<sup>-1</sup> oraz 0,9  $\mu\text{g}$  p-nitrophenolu g<sup>-1</sup> s.m. gleby·1h<sup>-1</sup>.



Rys. 22. Aktywność fosfatazy kwaśnej ( $\mu\text{g}$  p-nitrophenolu·g<sup>-1</sup> s.m. gleby·1h<sup>-1</sup>) w warstwie 0-15 cm po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu



Rys. 23. Aktywność fosfatazy zasadowej ( $\mu\text{g}$  p-nitrophenolu  $\text{g}^{-1}$  s.m. gleby  $1\text{h}^{-1}$ ) w warstwie 0-15 cm po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu

## 5.5. Nakłady

### 5.5.1. Zużycie paliwa

Największe zużycie paliwa wiązało się z zastosowaniem maszyn i narzędzi niezbędnych do realizacji technologii składającej się z płużnej podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego na całej powierzchni pola i tradycyjnego siewu rzędowego pszenicy ozimej. W zależności od roku badań nakład paliwa na tym obiekcie wynosił od  $33,5 \text{ l ha}^{-1}$  do  $43,2 \text{ l ha}^{-1}$ , a przy wykonywaniu uprawy późniejszej zwiększał się dodatkowo o  $8,0$ - $9,5 \text{ l ha}^{-1}$  (tab. 28-30). Zużycie paliwa w tej technologii było najmniejsze w pierwszym roku i zwiększało się w każdym kolejnym. Zastąpienie płużnej podstawowej uprawy roli uprawą bezplężną zmniejszyło nakłady paliwa, w zależności od roku badań oraz stosowania uprawy późniejszej lub nie, o  $9,5$ - $14,4 \text{ l ha}^{-1}$ . Najmniejsze zużycie paliwa występowało w przypadku stosowania technologii strip-till. Wynosiło ono od  $26,0 \text{ l ha}^{-1}$  w pierwszym roku badań do  $19,8 \text{ l ha}^{-1}$  w drugim roku. Technologia ta przy pomijaniu uprawy późniejszej, co przy pozostawianiu rozdrobnionej słomy przedplonu na ściernisku jest zasadą, pozwoliła na redukcję nakładów paliwa do  $11,5$ - $17,0 \text{ l ha}^{-1}$ .



Tabela 28. Zużycie paliwa ( $l \cdot ha^{-1}$ ) w pierwszym roku badań

Technologia	Uprawa roli, nawożenie przedsiewne, siew	Uprawa późniwna	
		uprawa	brak
Uprawa późniwna	brona talerzowa	8,5	-
Płużna	plóg,	17,0	16,0
	agregat uprawowy	7,0	7,0
	rozsiwacz nawozów	1,0	1,0
	agregat uprawowo-siewny	9,5	9,5
<b>Suma</b>		<b>43,0</b>	<b>33,5</b>
Uprawa późniwna	brona talerzowa	8,0	-
Bezplężna	agregat uprawowy	10,4	10,5
	rozsiwacz nawozów	1,0	1,0
	agregat uprawowo-siewny	13,5	12,5
<b>Suma</b>		<b>32,9</b>	<b>24,0</b>
Uprawa późniwna	brona talerzowa	8,0	-
Strip-till	agregat Mzuri Pro-Til 4T	18,0	17,0
<b>Suma</b>		<b>26,0</b>	<b>17,0</b>

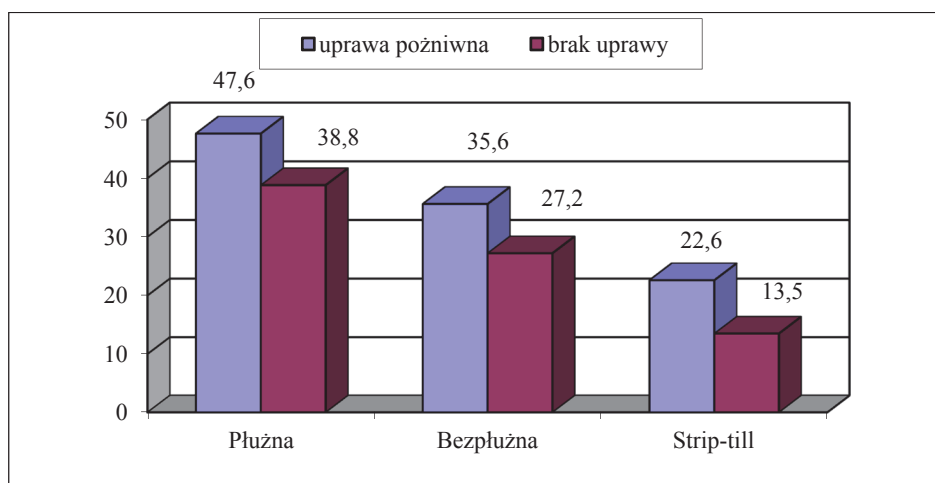
Tabela 29. Zużycie paliwa ( $l \cdot ha^{-1}$ ) w drugim roku badań

Technologia	Uprawa roli, nawożenie przedsiewne, siew	Uprawa późniwna	
		uprawa	brak
Uprawa późniwna	brona talerzowa	8,0	-
Płużna	plóg,	18,3	18,6
	agregat uprawowy	8,0	8,2
	rozsiwacz nawozów	1,6	1,5
	agregat uprawowo-siewny	11,0	11,5
<b>Suma</b>		<b>46,9</b>	<b>39,8</b>
Uprawa późniwna	brona talerzowa	8,5	-
Bezplężna	agregat uprawowy	12,5	14,5
	rozsiwacz nawozów	1,6	1,6
	agregat uprawowo-siewny	12,7	12,0
<b>Suma</b>		<b>35,3</b>	<b>28,1</b>
Uprawa późniwna	brona talerzowa	8,3	-
Strip-till	agregat Mzuri Pro-Til 4T	11,5	12,0
<b>Suma</b>		<b>19,8</b>	<b>12,0</b>

Tabela 30. Zużycie paliwa ( $l \cdot ha^{-1}$ ) w trzecim roku badań

Technologia	Uprawa roli, nawożenie przedsiewne, siew	Uprawa późniwna	
		uprawa	brak
Uprawa późniwna	brona talerzowa	9,5	-
Płużna	pług,	23,0	22,0
	agregat uprawowy	7,0	7,5
	rozsiwacz nawozów	1,5	1,5
	agregat uprawowo-siewny	12,0	12,2
<b>Suma</b>		<b>53,0</b>	<b>43,2</b>
Uprawa późniwna	brona talerzowa	9,5	-
Bezplężna	agregat uprawowy	14,5	15,0
	rozsiwacz nawozów	1,6	1,5
	agregat uprawowo-siewny	13,0	13,0
<b>Suma</b>		<b>38,6</b>	<b>29,5</b>
Uprawa późniwna	brona talerzowa	10,0	-
Strip-till	agregat Mzuri Pro-Til 4T	12,0	11,5
<b>Suma</b>		<b>22,0</b>	<b>11,5</b>

W trzyletnim okresie badań średnioroczne zużycie paliwa na zabiegi plężnego sposobu uprawy roli, przedsiewnego nawożenia mineralnego oraz siewu pszenicy ozimej wynosiło blisko  $50 l \cdot ha^{-1}$  przy dodatkowym stosowaniu płytkej uprawy późniwnej oraz niespełna  $40 l \cdot ha^{-1}$  w przypadku jej braku (rys. 24). Zastępienie orki uprawą bezplężną zmniejszyło nakłady paliwa odpowiednio o  $12,0 l \cdot ha^{-1}$  i  $11,6 l \cdot ha^{-1}$ , a zastosowanie technologii strip-till zredukowało jego zużycie o  $25,0 l \cdot ha^{-1}$  i  $25,3 l \cdot ha^{-1}$ .

Rys. 24. Średnie w latach badań zużycie paliwa ( $l \cdot ha^{-1}$ ) w zależności od technologii uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu

### 5.5.2. Czas pracy

Czas potrzebny na wykonanie wszystkich zabiegów agrotechnicznych z zakresu uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu pszenicy ozimej zależał od zastosowanej technologii oraz roku badań. Najdłuższy, wynoszący 132 min. $\cdot$ ha<sup>-1</sup> czas pracy miał miejsce w pierwszym i trzecim roku przy stosowaniu technologii z późniwną uprawą roli i orką jako uprawą podstawową (tab. 31-33). Rezygnacja z uprawy późniwnej skutkowałą skróceniem czasu pracy o 20 min. $\cdot$ ha<sup>-1</sup> w drugim i trzecim roku roku, a nawet o 30 min. $\cdot$ ha<sup>-1</sup> w pierwszym roku. Podobną redukcję czasu pracy dawało pominięcie uprawy późniwnej przy stosowaniu następnie bezpłużnej uprawy podstawowej oraz technologii strip-till. W tych warunkach wykonanie podstawowej uprawy roli, zastosowanie nawozów i siew pszenicy ozimej wymagało, w zależności od roku badań, odpowiednio 62,5-67,0 min. $\cdot$ ha<sup>-1</sup> – technologia bezpłużna oraz 25,0 – 30,0 min. $\cdot$ ha<sup>-1</sup> – uprawa pasowa.

Tabela 31. Czas pracy (min. $\cdot$ ha<sup>-1</sup>) w pierwszym roku badań

Technologia	Uprawa roli, nawożenie przedsiewne, siew	Uprawa późniwna	
		uprawa	brak
Uprawa późniwna	brona talerzowa	30	-
Płużna	pług,	55	55
	agregat uprawowy	20	20
	rozsiwacz nawozów	2	2
	agregat uprawowo-siewny	25	25
<b>Suma</b>		<b>132</b>	<b>102</b>
Uprawa późniwna	brona talerzowa	30	-
Bepłużna	agregat uprawowy	30	30
	rozsiwacz nawozów	2	2
	agregat uprawowo-siewny	35	35
<b>Suma</b>		<b>97</b>	<b>67</b>
Uprawa późniwna	brona talerzowa	30	-
Strip-till	agregat Mzuri Pro-Til 4T	30	25
<b>Suma</b>		<b>60</b>	<b>25</b>

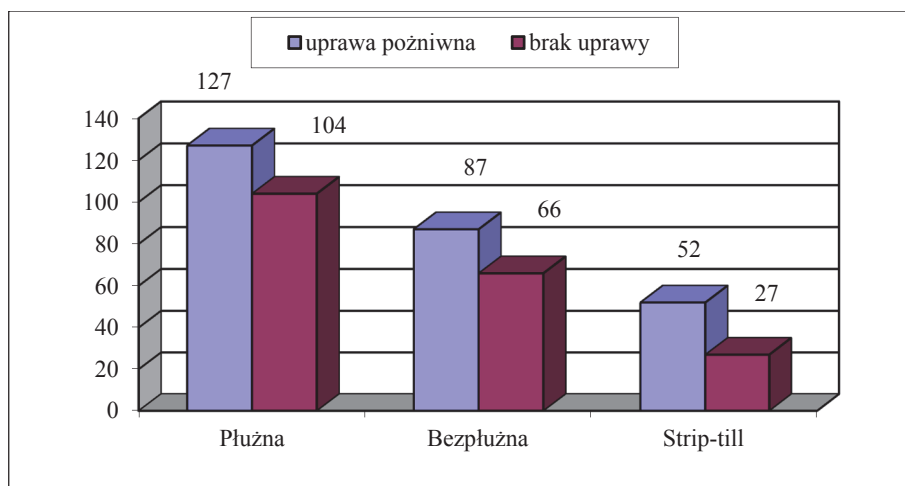
Tabela 32. Czas pracy (min. ha<sup>-1</sup>) w drugim roku badań

Technologia	Uprawa roli, nawożenie przedsiewne, siew	Uprawa późniwna	
		uprawa	brak
Uprawa późniwna	brona talerzowa	20	-
Płużna	plóg,	45	45
	agregat uprawowy	20	20
	rozsiwacz nawozów	2,5	2,5
	agregat uprawowo-siewny	30	30
<b>Suma</b>		<b>117,5</b>	<b>97,5</b>
Uprawa późniwna	brona talerzowa	20	-
Bezplężna	agregat uprawowy	25	30
	rozsiwacz nawozów	2,5	2,5
	agregat uprawowo-siewny	30	30
<b>Suma</b>		<b>77,5</b>	<b>62,5</b>
Uprawa późniwna	brona talerzowa	20	-
Strip-till	agregat Mzuri Pro-Til 4T	25	25
<b>Suma</b>		<b>45</b>	<b>25</b>

Tabela 33. Czas pracy (min. ha<sup>-1</sup>) w trzecim roku badań

Technologia	Uprawa roli, nawożenie przedsiewne, siew	Uprawa późniwna	
		uprawa	brak
Uprawa późniwna	brona talerzowa	25	-
Płużna	plóg,	55	60
	agregat uprawowy	25	25
	rozsiwacz nawozów	2	2
	agregat uprawowo-siewny	25	25
<b>Suma</b>		<b>132</b>	<b>112</b>
Uprawa późniwna	brona talerzowa	25	-
Bezplężna	agregat uprawowy	30	35
	rozsiwacz nawozów	2	2
	agregat uprawowo-siewny	30	30
<b>Suma</b>		<b>87</b>	<b>67</b>
Uprawa późniwna	brona talerzowa	20	-
Strip-till	agregat Mzuri Pro-Til 4T	30	30
<b>Suma</b>		<b>50</b>	<b>30</b>

Największego średniorocznego nakładu czasu pracy wymagało stosowanie w agrotechnice pszenicy ozimej późniejszej uprawy roli i następnie orki z innymi zabiegami występującymi w technologii płużnej – ponad 2 godz. na ha (rys. 25). Pominięcie płytkiej uprawy późniejszej przy użyciu brony talerzowej skróciło czas pracy o 21-25 min. ha<sup>-1</sup>. Technologia strip-till na powierzchni 1 hektara, bez uprawy późniejszej, była wykonywana w 27 min., czyli w czasie o 100 min. krótszym niż technologia z płużną uprawą podstawową poprzedzona płytką uprawą przy użyciu brony talerzowej.



Rys. 25. Średni w latach badań nakład czasu pracy (min. ha<sup>-1</sup>) w zależności od technologii uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu

## 6. Dyskusja Wyników

Przeprowadzone badania potwierdziły silny wpływ uprawy roli, zależny od jej sposobu, na gęstość objętościową gleby. Orka oraz elementy robocze biernych agregatów stosowanych w podstawowej uprawie bezpłużnej oddziaływały silnie spulchniająco na wierzchnią warstwę roli. Gęstość łoża siewnego wynosiła 1,20-1,23 g·cm<sup>-3</sup>. Czyż i Dexter (2010) oceniając wpływ różnych sposobów uprawy roli na gęstość objętościową gleby w warstwie 0-5 cm stwierdzili podobną, a nawet nieco mniejszą, jej wartość po uprawie płużnej i bezpłużnej. Wyniki te nie były jednak tak jednorodne jak badań własnych, gdyż autorzy prowadzili je w dwóch miejscowościach na różnych glebach, a ocena była wykonywana później, w pełni wegetacji pszenicy ozimej. Prawdopodobnie z tego powodu większe było również zróżnicowanie wyników w latach badań. W jednym roku gęstość gleby uprawianej bezpłużnie w warstwie 0 – 5 cm wyniosła nawet 1,41 g·cm<sup>-3</sup>.

Zęby uprawowe w agregacie stosowanym w technologii strip-till działają także silnie spulchniająco. Jego konstrukcja uwzględniająca jednak konieczność zagęszczenia spulchnionej przestrzeni glebowej w celu zwiększenia kontaktu wysianych nasion z wilgotną glebą oraz podsiąku wody spowodowała, że gęstość gleby łoża siewnego była istotnie większa niż gleby uprawianej płużnie i bezpłużnie. Oczekiwanym wynikiem była jeszcze większa gęstość gleby w międzyrzędziach po uprawie pasowej, które nie są spulchniane. Przestrzeń ta może być porównywana ze stanem gleby po wykonaniu siewu bezpośredniego bez wcześniejszych mechanicznych zabiegów uprawowych. Wyniki badań światowych i krajowych wskazują, że siew bezpośredni prowadzi często do zwiększenia gęstości gleby warstwy powierzchniowej (Osunbitan i in. 2005, Małecka i in. 2012b). Autorzy ci wskazują również, że gęstość gleby zwiększa się wraz z głębokością warstwy uprawnej oraz z upływającym czasem od wykonania uprawy spulchniającej. Podobna zależność wystąpiła w badaniach własnych. Gęstość gleby na głębokości 10-15 cm, przy każdym sposobie uprawy roli, była większa niż warstwy powierzchniowej, natomiast określana wiosną, a zwłaszcza po zbiorze pszenicy ozimej, większa niż bezpośrednio po jej siewie. Największe zagęszczenie gleby, niezależne od technologii uprawy roli, nawożenia przedsięwziętego i siewu, stwierdzono w warstwie poniżej zasięgu narzędzi uprawowych, tj. 25-30 cm. Należy jednak podkreślić, że wraz z wydłużającym się okresem badań, gęstość gleby na tej głębokości w wyniku stosowania technologii strip-till, w porównaniu z uprawą płużną i bezpłużną, zmniejszała się. Taki wynik może być efektem mniejszej presji, nacisku ciągników i narzędzi, na głębsze warstwy gleby. Zmniejszenie gęstości objętościowej głębiej położonych warstw gleby w przypadku stosowania siewu bezpośredniego w stosunku do klasycznej uprawy płużnej było stwierdzone w innych badaniach (Małecka i in. 2012b). Autorzy wskazali, że gęstość objętościowa gleby uprawianej płużnie w warstwie 0-10 cm była mniejsza niż w warstwie 10-20 cm. Stosując siew bezpośredni stwierdzili natomiast, że gęstość gleby w warstwie głębszej była nawet nieco mniejsza niż w warstwie powierzchniowej.

Gęstość objętościowa jest ważną cechą gleby, gdyż wpływa również na inne jej właściwości decydujące o warunkach wzrostu i rozwoju roślin, jak wilgotność i właściwości

cieplne (Usowicz i Marczewski 2005). Właściwości te pozostają we wzajemnych zależnościach zmieniających się w czasie i są kształtowane przez działania agrotechniczne, w tym uprawę roli (Majchrzak i in. 2004, Piskier 2006).

Ocena wilgotności gleby łoża siewnego w badaniach własnych wykazała, że gromadzeniu wody w wierzchniej warstwie roli bardziej sprzyja mulczowanie jej rozdrobnioną słomą niż płytka uprawa spulchniająca oraz głębsza uprawa podstawowa. Brak uprawy roli do momentu siewu pszenicy ozimej, zwłaszcza z pozostającą na powierzchni słomą, chronił wodę znacznie lepiej od klasycznej uprawy płuźnej oraz średnio głębokiej uprawy bezpłuźnej. Wyniki te są zgodne z badaniami Pabina i in. (2002, 2007) nad rolą mulczowania gleby w kształtowaniu jej wilgotności pod wpływem różnych sposobów uprawy roli. Według tych autorów wilgotność gleby nieuprawianej w przypadku siewu bezpośredniego, najbardziej zbliżonego pod względem stosowania uprawek mechanicznych w okresie zbioru przedplonu - siew rośliny następczej do technologii strip-till, była większa niż gleby uprawianej. Większej wilgotności gleby sprzyjał mulcz roślinny ograniczający parowanie oraz powodujący lepsze wsiąkanie wody opadowej.

Powyższa argumentacja może tłumaczyć większą obsadę pszenicy ozimej i jej dobre wyrównanie w obrębie pola doświadczalnego w latach z małą ilością opadów w okresie poprzedzającym siew i po jego wykonaniu. Dokładna analiza wielkości i rozkładu opadów w tym okresie wskazuje, że wrzesień i pierwsza połowa października 2014 roku były bardzo suche, a pojedynczy opad nie przekroczył 7,0 mm. W 2015 roku po suchym sierpniu od 2 września do 10 października spadło tylko 26 mm deszczu w 12 dniach z opadami. To właśnie w tych dwóch latach zastosowanie technologii strip-till spowodowało, że obsada roślin pszenicy ozimej po wschodach oraz jej wyrównanie w różnych miejscach dużego pola doświadczalnego były większe niż po klasycznej uprawie płuźnej oraz bezpłuźnej z przygotowaniem łoża siewnego uprawkami spulchniającymi oraz siewem rzędowym. Uprawa pasowa i jednoczesny siew w glebę mulczowaną rozdrobnioną słomą przedplonu spowodowały, że wilgotność gleby łoża siewnego była o kilka punktów procentowych większa niż po uprawie płuźnej i bezpłuźnej. Gleba w uprawionych rzędach była jednocześnie bardziej zagęszczona, co poprawiało podsiąk wody do kiełkującego ziarna.

W 2013 roku, w przypadku dostatecznej ilości opadów, korzystnym ich rozkładzie w okresie siewu ozimin oraz dobrze uwilgotnionej gleby łoża siewnego większa obsada roślin wystąpiła na obiektach uprawionych płuźnie i bezpłuźnie z dobrze wymieszanymi z glebą resztkami poźniwnymi niż po zastosowaniu technologii strip-till. W dużej ilości resztek pozbiorowych na powierzchni gleby można upatrywać przyczyny nieco gorszych wschodów pszenicy ozimej po uprawie i siewie pasowym (obsada mniejsza o około 5%). Taka teza wynika z prac przeglądowych i badań własnych Webera (2000, 2007, 2011). Autor wskazuje, że słoma pozostająca na powierzchni gleby może istotnie utrudniać precyzyjny siew oraz pogarszać warunki kiełkowania i wschodów roślin przy stosowaniu siewu bezpośredniego. W takim przypadku szczególną uwagę należy zwrócić m.in. na wysokość ścierniska, rozdrobnienie słomy oraz rozwiązania techniczne elementów roboczych siewników. Na przykład w zależności od konstrukcji zespołu redlicowego (krój, redlica) nierównomierność głębokości siewu w zakresie 2-4 cm może wynosić od 9,6% do 35,8%. Autor wykazał także istotną interakcję wysokości ścierniska przedplonu i ilo-

ści rozdrobnionej słomy ze sposobem uprawy roli w kształtowaniu plonu rośliny następczej. Siew bezpośredni na glebie z dużą ilością resztek poźniwnych spowodował istotny spadek plonu ziarna pszenicy ozimej w stosunku do plonu uzyskanego po klasycznej uprawie płuznej. W przypadku małej ilości słomy rozdrobnionej i wysokiego ścierniska sposób uprawy roli nie miał wpływu na plon.

Korzystne oddziaływanie technologii strip-till na warunki wodne w glebie wystąpiło nie tylko w okresie poprzedzającym siew pszenicy ozimej, ale również w okresie jej wegetacji. Tylko w okresach dobrego uwilgotnienia, np. bezpośrednio po zimie czy dużych opadach – maj 2014, wilgotność gleby warstw objętych bezpośrednim oddziaływaniem narzędzi uprawowych (0-10 cm, 10-20 cm) była podobna, niezależnie od technologii uprawy roli i siewu. Oddziaływanie porównywanych technologii na wilgotność gleby zmniejszało się natomiast wraz z głębokością. W warstwach niżej położonych, zwłaszcza na głębokości 30-40 cm, wilgotność gleby na obiektach ze stosowaną podstawową klasyczną uprawą płuzną, uprawą bezpłuzną i pasową była niemal taka sama. Wyniki takie mają potwierdzenie w pracach Zibilske i Bradforda (2007) czy Williamsa i in. (2016b). Autorzy na podstawie przeprowadzonych badań i wyników dostępnych w literaturze stwierdzają również, że strefowa uprawa roli, jak strip-till czy uprawa redlinowa, sprzyja zatrzymywaniu i gromadzeniu wody w wierzchniej warstwie. Wynika to z poprawy wielu właściwości fizycznych i chemicznych gleby, np. akumulacji materii organicznej, tworzenia się trwałych agregatów struktury glebowej. Także Hossain i in. (2014) określając wilgotność gleby w okresie wegetacji roślin na głębokości 0-15 cm w zależności od sposobu uprawy roli stwierdzili, że zawartość wody w glebie uprawianej pasowo była średnio w trzyletnim okresie o około 2,0 punkty procentowe większa niż po uprawie minimalnej i 3,0 p.p. większa niż po uprawie konwencjonalnej. Tabatabaeekoloor (2011) podkreśla, że uprawa strip-till różnicuje właściwości fizyczne gleby, w tym wilgotność, na strefę rzędów i międzyrzędzi. Wilgotność gleby w międzyrzędziach była o około 18% większa niż w rzędach. W badaniach własnych nie stwierdzono natomiast tak jednoznacznego zróżnicowania strefowego tej właściwości. Gleba w rzędach pszenicy ozimej była często bardziej wilgotna niż w międzyrzędziach. Należy jednak podkreślić różnice warunków prowadzonych badań i oznaczeń próbek glebowych. Cytowany autor prowadził badania na glebie zawierającej w uziarnieniu znacznie mniej frakcji piaskowej i była ona słabiej zagęszczona niż w badaniach własnych. Ponadto autor oznaczał wilgotność wagową a nie objętościową, natomiast uprawianą rośliną była kukurydza o szerokości międzyrzędzi wielokrotnie większej niż w agrotechnice pszenicy ozimej.

W uprawianych rzędach i nieuprawianych międzyrzędziach panują zróżnicowane warunki hydro-termiczne, co wpływa na mineralizację materii organicznej, udostępnianie i przemiany azotu. Williams i in. (2016a) porównując strefę rzędów i międzyrzędzi w kukurydzy po klasycznej i redlinowej uprawie roli stwierdzili różną zawartość azotu dostępnego dla roślin. W redlinach z roślinami jego zawartość była o 20 mg N·kg<sup>-1</sup> gleby większa niż w rzędach po uprawie klasycznej. W badaniach własnych zawartość azotu mineralnego w rzędach pszenicy uprawianej w technologii strip-till była większa niż w rzędach roślin po podstawowej uprawie płuznej i bezpłuznej. Różnice zawartości były jednak mniejsze, wynosiły na ogół kilka mg N·kg<sup>-1</sup> gleby i występowały po okresie je-



siennej wegetacji oraz wczesną wiosną, ale nie po zbiorze. Należy podkreślić, że w zastosowanej technologii strip-till pierwsza, przedsiewna dawka azotu –  $12 \text{ kg N ha}^{-1}$ , trafiała tylko w strefę rzędów roślin. Wąskie, w porównaniu z agrotechniką kukurydzy, międzyrzędzia pszenicy oraz konstrukcja redlic wysiewających użytego agregatu powodowały, że rzędy roślin znajdowały się w niewielkich zagłębieniach – rowkach. To mogło powodować, że z kolei pogłównie stosowany nawóz w formie granul miał tendencję do gromadzenia się w większych ilościach w rzędach roślin. Porównując natomiast zawartość azotu w glebie strefy rzędów i międzyrzędzi stwierdzono, że jesienią i wiosną więcej azotu w rzędach występowało w technologii strip-till, a po zbiorze roślin po płuźnej i bezpłuźnej uprawie roli. Mniejsza zawartość azotu w glebie międzyrzędzi niż rzędów po zbiorze pszenicy ozimej uprawianej w technologii strip-till mogło wynikać z intensywnej penetracji spulchnionej strefy rzędów przez korzenie roślin i duże pobranie z niej składników pokarmowych, a także z szerszych międzyrzędzi w tej technologii niż przy tradycyjnym siewie rzędowym, a za tym słabsze przerastanie tej strefy gleby przez korzenie. Słuszność powyższych założeń powinna być potwierdzona lepszym odżywieniem roślin i większym plonem w technologii strip-till niż po płuźnej i bezpłuźnej uprawie roli i siewie wąskorzędowym.

Założenie to zostało potwierdzone w stosunku do pszenicy ozimej wysianej po bezpłuźnej podstawowej uprawie roli. Rośliny te miały mniejszą wartość wskaźnika zieloności liścia flagowego niż uprawiane w technologii strip-till, co może świadczyć o gorszym odżywieniu azotem. Istotnie mniejszy był również plon ziarna.

Plon ziarna zbóż kształtowany jest przez jego elementy. Z badań nad plonowaniem pszenicy ozimej w różnych warunkach agrotechnicznych wynika, że w zależności od rodzaju i poziomu elementów agrotechniki plon zmienia się w rezultacie zróżnicowania obsady kłosów, liczby ziaren w kłosie, masy ziarna z kłosa, czy masy tysiąca ziaren (Rieger i in. 2008). Zmianowanie oraz uprawa roli kształtują warunki siedliskowe od początku wegetacji roślin, a nawet jeszcze przed ich siewem. Dlatego pod ich wpływem dużym zmianom ulega głównie obsada roślin i kłosów (Gawęda 2004, Małecka i in. 2012b). W badaniach własnych istotnie większy plon ziarna pszenicy ozimej uprawianej w technologii strip-till niż po bezpłuźnej cało powierzchniowej uprawie roli wynikał głównie z większej obsady roślin po wschodach, co przyczyniło się do większej obsady kłosów, a także większej masy ziarna z kłosa. Ten korzystny wpływ technologii strip-till na elementy plonowania i plon ziarna wystąpił w 2. i 3. roku uprawy pszenicy po sobie, a nie miał miejsca w pierwszym roku, w stanowisku po rzepaku ozimym i przy korzystnym przebiegu pogody warunkującym bardzo duży plon, ponad  $10 \text{ t ha}^{-1}$ . W drugim roku badań plon ziarna pszenicy ozimej w technologii strip-till był również istotnie większy niż po klasycznej płuźnej uprawie roli.

W literaturze światowej, a zwłaszcza krajowej brakuje wyników badań porównujących wpływ uprawy pasowej z innymi sposobami lub systemami uprawy roli na plonowanie pszenicy. Choudhary i Singh (2002) wykazali, że plony tej rośliny po uprawie strip-till i zerowej były podobne i o około 4% większe niż po uprawie płuźnej. W badaniach Hossain i in. (2014) różnice plonów pszenicy, lnu i fasoli pod wpływem zróżnicowanych sposobów uprawy roli były znacznie większe. Po konwencjonalnej uprawie płuźnej plon pszenicy wyniósł  $3,50 \text{ t ha}^{-1}$ , po uprawie minimalnej  $4,80 \text{ t ha}^{-1}$ , natomiast strip-till  $4,96 \text{ t ha}^{-1}$ .

Technologia strip-till umożliwia nie tylko uzyskanie dużych plonów, ale również ziarna o bardzo dobrej jakości. Nie jest to łatwe, ponieważ na ogół występuje ujemna korelacja między ilością biomasy tworzonej przez rośliny a zawartością w niej składników organicznych. Taka korelacja powoduje, że dużym plonom pszenicy ozimej towarzyszy często stosunkowo mała zawartość białka i glutenu w ziarnie (Woźniak 2006). W przypadku stosowania uproszczeń uprawy roli i siewu bezpośredniego, jak w badaniach Małeckiej i Bleharczyka (2004), ziarno może zawierać jednak więcej glutenu niż uzyskane po klasycznej uprawie płuźnej. Natomiast Amato i in. (2013) na podstawie wieloletnich badań wskazują, że ziarno pszenicy po uprawie zerowej i zredukowanej zawiera mniej białka niż po uprawie konwencjonalnej, choć ten system uprawy roli jest korzystniejszy dla jej plonowania tylko w warunkach dobrego uwilgotnienia gleby. Ruisi i in. (2014) po 20 latach badań nie stwierdzili istotnego wpływu systemu uprawy roli na plon pszenicy, jednak ziarno w systemie uprawy zerowej zawierało mniej białka niż po uprawie konwencjonalnej. W wielu badaniach nie stwierdza się natomiast istotnych różnic w zawartości azotu w ziarnie pszenicy pod wpływem klasycznej uprawy płuźnej i uprawy zerowej, zwłaszcza w korzystnych warunkach opadowych (De Vita i in. 2007, Stanisławska-Głubiak i Korzeniowska 2011). W badaniach własnych, średnio w całym okresie, plon pszenicy ozimej uprawianej w technologii strip-till był większy niż po bezpłuźnej uprawie roli i siewie rzędowym. Jednocześnie ziarno zawierało więcej białka i glutenu mokrego, również wartość wskaźnika sedymentacji była większa. Można przypuszczać, że mogło to być wynikiem lepszego odżywienia azotem roślin rozwijających główną masę korzeniową w strefie spulchnionych pasów roli, na co zwrócono uwagę analizując prawdopodobne przyczyny różnic plonów. Na większe pobranie azotu ze strefy rzędów w technologii strip-till niż po uprawie płuźnej i bezpłuźnej w końcowym okresie wegetacji pszenicy ozimej świadczą zawartości tego składnika w glebie. Jesienią i wczesną wiosną zawartość azotu w rzędach spulchnianej pasowo roli była większa niż po uprawie całej powierzchni, natomiast po zbiorze nie różniła się, co może wskazywać na większe jego pobranie przez rośliny uprawiane w technologii strip-till w trakcie wiosenno-letniej wegetacji. Powszechnie wiadomo jest, że z czynników agrotechnicznych, to właśnie nawożenie azotem zwiększa zawartość białka i glutenu w ziarnie zbóż. U pszenicy ozimej stwierdzili to m.in. Kocoń (2005) oraz Stankowski i in. (2008).

Jednym z najważniejszych efektów produkcyjnych stosowania uproszczonych sposobów i systemów uprawy roli w agrotechnice roślin jest ograniczenie nakładów i kosztów. Względne porównanie nakładów paliwa na uprawę klasyczną, zredukowaną bezpłuźną i zerową pod pszenicę w Polsce i różnych rejonach świata w pełni to potwierdzają. Przykładowe badania polskie (Cudzik i in. 2012) wskazują, że zastąpienie uprawy płuźnej uprawą bezpłuźną nie musi redukować zużycia paliwa, ale wykonanie siewu bezpośredniego ogranicza nakład oleju napędowego już o ponad 70%. Według badań pakistańskich (Leghari i in. 2014) względna redukcja zużycia paliwa po zastąpieniu uprawy płuźnej, bezpłuźną oraz zerową wyniosła odpowiednio 19,5% i 56,2%, a według Cociu (2010) 40,6% i 80,1%. W badaniach rumuńskich nakład paliwa na uprawę płuźną pod pszenicę ozimą i jej siew wynosił 40,1 l·ha<sup>-1</sup>. Zabiegi te w technologii bezpłuźnej wymagały 23,8 l·ha<sup>-1</sup>, a siewu bezpośredniego 8,0 l·ha<sup>-1</sup>. W tych technologiach nakład czasu pracy wynosił odpowiednio: 3,04; 1,78 i 0,42 godz.·ha<sup>-1</sup>. W cytowanych badaniach pszenicy ozimej nie

uprawiano w technologii strip-till. Uprawa kukurydzy i soi w tej technologii pozwoliła ograniczyć, w stosunku do uprawy płużnej, nakład paliwa z  $49,4 \text{ l ha}^{-1}$  do  $14,0 \text{ l ha}^{-1}$ , tj. o 71,7% oraz skrócić czas pracy z  $4,57 \text{ godz. ha}^{-1}$  do  $1,2 \text{ godz. ha}^{-1}$  – 73,7%. W badaniach własnych zmniejszenie nakładów paliwa na uprawę roli, nawożenie przedsiewne i siew pszenicy ozimej było równie duże, a nawet większe. Technologia strip-till bez późniejszej uprawy roli wymagała tylko 28,4% paliwa zużywanego na podstawową uprawę płużną poprzedzoną płytką uprawą późniejszą oraz 21,3% czasu na jej wykonanie. Względne nakłady oleju napędowego i czasu pracy na technologię bezpłużną wyniosły natomiast odpowiednio 57,1% oraz 52,0%.

Nie mniej ważnym celem uproszczeń klasycznej płużnej uprawy roli jest ochrona środowiska, zwłaszcza gleby. Już ograniczenie zużycia paliwa o  $34,1 \text{ l ha}^{-1}$  w wyniku wprowadzenia w badaniach własnych technologii strip-till w uprawie pszenicy ozimej spowodowało redukcję emisji  $\text{CO}_2$  o  $90,7 \text{ kg ha}^{-1}$ , gdyż jak podaje Rychlik (2006) spalaniu 1 l oleju napędowego towarzyszy wydzielanie  $2,66 \text{ kg}$  dwutlenku węgla. Po trzech latach stosowania tej technologii zaobserwowano również korzystne zmiany właściwości wierzchniej, 15-centymetrowej, warstwy gleby. W porównaniu z klasyczną uprawą płużną oraz intensywną uprawą bezpłużną zwiększyła się zawartość węgla organicznego i azotu ogólnego oraz makroskładników. Po trzech latach badań zawartość węgla organicznego była o 8,0% większa niż w glebie systematycznie oranej. Awale i in. (2013) prowadząc trzy kilkuletnie doświadczenia, w dwóch z nich stwierdzili także zwiększenie akumulacji węgla organicznego w powierzchniowej warstwie gleby o miąższości 15 cm pod wpływem uprawy pasowej strip-till. Różnica jego zawartości w porównaniu z uprawą płużną była mniejsza niż w badaniach własnych, wynosiła około 4,0%. Jednak zawartość węgla w tych glebach była 3-krotnie większa – ponad  $30 \text{ g kg}^{-1}$  gleby. W literaturze przedmiotu znajduje się wiele wyników badań, które wskazują, że przy braku odwracania gleby oraz jej intensywnego głębokiego mieszania, w powierzchniowej warstwie gleby kumulują się również składniki pokarmowe. Wróbel i Pabin (2008) stwierdzili to w odniesieniu do przyswajalnych form fosforu i potasu przy stosowaniu uprawy zerowej i siewu bezpośredniego. Po trzech latach badań gleby w monokulturze kukurydzy składniki te gromadziły się w większej ilości w warstwie powierzchniowej niż niżej położonej, jednocześnie zawartość przyswajalnych ich form w wierzchniej warstwie uprawianej bezpłużnie i poddanej jedynie siewowi bezpośredniemu była większa niż w glebie uprawianej płużnie. W badaniach własnych uprawa pasowa w agrotechnice pszenicy ozimej, która także nie odwraca gleby, a głębokie spulchnianie ogranicza do wąskiego pasa roli, spowodowała w stosunku do uprawy płużnej istotne zwiększenie zawartości przyswajalnego fosforu, potasu i magnezu. Takie samo oddziaływanie technologii strip-till na występowanie makroskładników w glebie stwierdzono w porównaniu z uprawą bezpłużną, w wyjątkiem potasu, którego większa zawartość nie była istotna statystycznie.

Żadna technologia uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu pszenicy ozimej nie pozwoliła jednak zachować zawartości przyswajalnych form fosforu i potasu na poziomie sprzed rozpoczęcia badań eksperymentalnych. Wskazuje to na zbyt małe nawożenie tymi składnikami w porównaniu do potrzeb pokarmowych pszenicy oraz ewentualnych strat składników. Ograniczone nawożenie fosforem i potasem było jednak zamierzone i wynikało z bardzo wysokiej zasobności gleby. Przed rozpoczęciem badań

zastosowano natomiast wolno działający nawóz wapniowo magnezowy w dawce  $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ . To mogło być przyczyną niewielkiego zwiększenia wartości pH tylko na obiekcie z uprawą pasową. Na obiekcie tym w całym okresie badań nie występowało intensywne mieszanie i odwracanie wierzchniej warstwy gleby. Zastosowanie wapna zawierającego magnez i jego powolne uwalnianie było prawdopodobnie również przyczyną zwiększenia zawartości tego składnika w glebie stwierdzonego po zakończeniu badań.

Nie mniej ważne jest korzystne oddziaływanie uprawy pszenicy ozimej w technologii strip-till na właściwości biologiczne gleby. Zdaniem Hatfield i Walthall (2015) rola mikroorganizmów w kształtowaniu właściwości gleb oraz ich żyzności, urodzajności i produktywności jest nie do przecenienia. Elementy agrotechniki, w tym sposób i system uprawy roli, wpływają na wskaźniki biologiczne gleby, m.in. liczebność mikroorganizmów, aktywność enzymatyczną (Natywa i in. 2014). Bielińska i in. (2008) podkreślają, że wzrost aktywności enzymów, jak dehydrogenazy czy fosfatazy, w wyniku uproszczenia płużnej uprawy roli następuje przede wszystkim w powierzchniowej warstwie gleby. Bardzo pozytywną rolę w kształtowaniu właściwości gleby oraz obiegu w niej składników pokarmowych spełniają również dżdżownice. Ich ilość, biomasa i różnorodność są większe w glebach nie uprawianych intensywnie, a zwłaszcza nie odwracanych przez regularnie wykonywane orki (Crittenden i in. 2015). Zostało to potwierdzone w przeprowadzonych badaniach własnych w odniesieniu do uprawy pasowej. Trzyletnia uprawa pszenicy ozimej w technologii strip-till spowodowała, w porównaniu z uprawą płużną, istotne zwiększenie liczebności bakterii i grzybów oraz kilkakrotny wzrost liczby dżdżownic w glebie. Większa była również aktywność dehydrogenaz i fosfataz w trzecim roku badań. Majchrzak i in. (2014) zwracają jednak uwagę, że na ogół większa aktywność dehydrogenaz w wyniku siewu bezpośredniego, w porównaniu z uprawą płużną, jest w dużym stopniu zależna do innych czynników agrotechnicznych i siedliskowych. Należą do nich m.in.: przedplon, rodzaj wnoszonej do gleby biomasy roślinnej oraz termin oceny.

## 7. WNIOSKI

1. Elementem agrotechniki pszenicy ozimej różnicującym właściwości gleby, wzrost i plonowanie roślin oraz jakość ziarna, choć w różnym stopniu w latach badań, był sposób podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu. Mniejsze, często nieistotne, znaczenie miała natomiast płytka uprawa poźniwna.
2. Technologia strip-till powodowała większe zagęszczenie i lepsze uwilgotnienie łoża siewnego niż klasyczna uprawa płuzna oraz średnio głęboka, cało powierzchniowa uprawa bezpłuzna. W warstwach niżej położonych oddziaływanie to było mniejsze.
3. Efektem technologii strip-till było przestrzenne zróżnicowanie zawartości azotu mineralnego w glebie. Spowodowała ona, w przeciwieństwie do uprawy płuznej i bezpłuznej, zwiększenie koncentracji azotu w rzędach roślin w porównaniu z międzyrzędziami w okresie jesiennej i wiosennej wegetacji pszenicy ozimej, a zmniejszenie jego zawartości bezpośrednio po zbiorze.
4. Pasowa uprawa roli z jednoczesną aplikacją nawozów oraz siewem umożliwiła uzyskanie takiego samego plonu ziarna jak po klasycznej płuznej uprawie z nawożeniem przedsiewnym i siewem rzędowym, a istotnie większego niż po średnio głębokiej uprawie bezpłuznej.
5. Większy plon ziarna po uprawie strip-till wynikał z równomiernych wschodów, większej obsady kłosów i masy ziarna z kłosa.
6. Ziarno pszenicy ozimej uprawianej pasowo zawierało więcej białka ogólnego i glutenu mokrego, ale miało mniejszą gęstość w stanie zsypanym, od ziarna uzyskanego po uprawie płuznej.
7. Korzystne oddziaływanie technologii strip-till na rośliny pszenicy ozimej, jej plon i jakość ziarna ujawniało się przede wszystkim w latach o nie sprzyjających plonowaniu warunkach agrotechnicznych i siedliskowych.
8. Technologia strip-till umożliwiła kilkukrotne zmniejszenie nakładów paliwa na uprawę roli, nawożenie przedsiewne i siew, a szczególnie skrócenie czasu pracy w porównaniu z technologiami, w których stosowano płuzną lub bezpłuzną uprawę roli.
9. Po trzech latach pasowej uprawy roli z jednoczesną aplikacją nawozów i siewem nastąpiło zwiększenie zawartości przyswajalnych form makroskładników w wierzchniej warstwie w porównaniu z glebą uprawianą płuznie oraz zmniejszenie gęstości objętościowej warstwy położonej poniżej zasięgu działania elementów roboczych narzędzi uprawowych.
10. Regularne, kilkuletnie stosowanie technologii strip-till wpłynęło korzystnie na właściwości biologiczne gleby. Zawierała ona więcej dżdżownic i mikroorganizmów ogółem oraz odznaczała się większą aktywnością dehydrogenaz niż gleba uprawiana płuznie i bezpłuznie.

## 8. LITERATURA

1. Abdalla M., Osborne B., Lanigan G., Forristal D., Williams M., Smith P., Jones M.B., 2013. Conservation tillage systems: A review of its consequences for greenhouse gas emissions. *Soil Use Manag.* 29, 199-209.
2. Akbarnia A., Farhani F., 2014. Study of fuel consumption in three tillage methods. *Res. Agr. Eng.* 60,4, 142-147.
3. Al-Kaisi M.M., Douelle A., Kwaw-Mensah D., 2014. Soil microaggregate and macroaggregate decay over time and soil carbon change as influenced by different tillage systems. *J. Soil Water Conserv.* 69(6), 574-580.
4. Al-Kaisi, M.M., Yin X., 2005. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations. *J. Environ. Qual.* 34, 437-445.
5. Altikat S., Celik A., Bilen S., 2012. Effects of various tillage systems on soil CO<sub>2</sub>-C fluxes and on bacteria and fungi populations in *Zea mays*. *Afr. J. Agric. Res.* 7,19, 2926-2934.
6. Alvarez R., Steinbach H.S., 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil Till. Res.* 104, 1-15.
7. Amato G., Ruisi P., Frenda A.S., Di Miceli G., Saia S., Plaia A., Giambalvo D., 2013. Long-term tillage and crop sequence effects on wheat grain yield and quality. *Agron. J.* 105, 1317-1327.
8. Archer D.W., Reicosky D.C., 2009. Economic performance of alternative tillage systems in the Northern Corn Belt. *Agron. J.* 101,2, 296-304.
9. Awale R., Chatterjee A., Franzen D., 2013. Tillage and N-fertilizer influences on selected organic carbon fractions in a North Dakota silty clay soil. *Soil Till. Res.* 134, 213-222.
10. Baggs E.M., Stevenson M., Pihlatie M., Regar A., Cook H., Cadish G., 2003. Nitrous oxide emissions following application of residues and fertilizer under zero and conventional tillage. *Plant Soil* 254, 361-370.
11. Balota E.L., Auler P.A.M., 2011. Soil microbial biomass under different management and tillage systems of permanent intercropped cover species in an orange orchard. *Rev. Bras. Cienc. Solo* 35, 1873-1883.
12. Bednarek W., Tkaczyk P., Dresler S., 2009. Plonowanie pszenicy ozimej w zależności od niektórych właściwości gleby i zabiegów agrotechnicznych. *Acta Agrophys.* 14(2), 263-273.
13. Bielińska E.J., Mocek A., Paul-Lis M., 2008. Wpływ systemu uprawy na aktywność enzymatyczną gleb zróżnicowanych typologicznie. *J. Res. Appl. Agric. Engng.* 53(3), 10-13.

14. Bilen S., Celik A., Altikat S., 2010. Effects of strip and full-width tillage on soil carbon IV oxide-carbon (CO<sub>2</sub>-C) fluxes and on bacterial and fungal populations in sunflower. *Afr. J. Biotechnol.* 9, 6312-6319.
15. Bleharczyk A., Małecka I., Sawinska Z., Waniorek B., 2011. Wpływ uprawy roli na zachwaszczenie roślin w trójpolowym zmianowaniu. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin* 51(2), 827-831.
16. Brainard D.C., Peachey R.E., Haramoto E.R., Luna J.M., Rangarajan A., 2013. Weed ecology and nonchemical management under strip-tillage: Implications for Northern U.S. vegetable cropping systems. *Weed Technol.* 27, 218-230.
17. Bravo C. A., Giraldez J. V., Ordoñez R., Gonzalez P., Torres F. P., 2007. Long-term influence of conservation tillage on chemical properties of surface horizon and legume crops yield in a Vertisol of Southern Spain. *Soil Sci.* 172(1), 141-148.
18. Buczek J., Bobrecka-Jamro D., (2015). Wpływ intensywności technologii produkcji na plonowanie, architekturę łanu oraz jakość białka pszenicy populacyjnej i mieszańcowej. *Nauka Przyr. Technol.* 9,4,50, 1-13.
19. Busari AM, Kukul SS, Kaur A, Bhatt R, Dulazi AA (2015) Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International Soil and Water Conservation Research.* 3, 119-129.
20. Cantonwine E. G., Culbreath A. K., Stevenson K. L., 2007. Characterization of early leaf spot suppression by strip tillage in peanut. *Phytopathology* 97, 187-194.
21. Casida L., Klein D., Santoro T., 1964. Soil dehydrogenase activity. *Soil Sci.* 98, 371-376.
22. Cerdan O., Govers G., Le Bissonnais Y., Van Oost K., Poesen J., Saby N., Gobin A., Vacca A., Quinton J., Auerswald K., Klik A., Kwaad F. J. P. M., Raclot D., Ionita I., Rejman J., Rousseva S., Muxart T., Roxo M. J., Dostal T., 2010. Rates and spatial variations of soil erosion in Europe: A study based on erosion plot data. *Geomorphology* 122, 167-177.
23. Chatskikh D., Olesen J.E., 2007. Soil tillage enhanced CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from loamy sand soil under spring barley. *Soil Till. Res.* 97, 5-18.
24. Choudhary V. P., Singh B., 2002. Effect of zero, strip and conventional till system on performance of wheat. *J. Agr. Eng.* 39(2), 27-31.
25. Cociu A.I., 2010. Tillage system effects on input efficiency of winter wheat, maize and soybean in rotation. *Rom. Agric. Res.* 27, 81-89.
26. Costa S.E.V.G.A., Souza E.D., Anghinoni I., Flores J.P.C., Vieira F.C.B., Martins A.P., Ferreira E.V.O., 2010. Patterns in phosphorus and corn root distribution and yield in long-term tillage systems with fertilizer application. *Soil Till. Res.* 109, 41-49.
27. Crittenden S.J., Huerta E., de Goede R.G.M., Pulleman M.M., 2015. Earthworm assemblages as affected by field margin strips and tillage intensity: An on-farm approach. *Eur. J. Soil Biol.* 66, 49-56.

28. Cudzik A., Białczyk W., Czarnecki J., Brennenstul M., Kaus A., 2012. Ocena systemów uprawy w aspekcie zużycia paliwa, plonowania roślin i właściwości gleby. *Inż. Rol.* 2(137),2, 17-27.
29. Curry P.J., Byrne D., Schmidt O., 2002. Intensive cultivation can drastically reduce earthworm populations in arable land. *Eur. J. Soil Biol.* 38, 127-130.
30. Czyż E.A., Dexter A.R., 2010. Wpływ różnych technologii uprawy roli na gęstość objętościową gleby i opór penetrometryczny. *Rocz. Gleboz. - Soil Sci. Ann.* 61(4), 40-50.
31. Derpsch R., Friedrich T., Kassam A., Hongwen L., 2010. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 3(1), 1-25.
32. Derpsch R., Friedrich T., Landers J., Raimbow R., Reicosky D., Sá J.C.M., Sturny W.G., Wall P., Ward R.C., 2011. About the necessity of adequately defining no-tillage - a discussion paper. *Proceedings of the 5th World Congress of Conservation Agriculture*, 26-29 September 2011, Brisbane, Australia, 1-4.
33. De Santiago A., Quintero J.M., Delgado A., 2008. Longterm effects of tillage on the availability of iron, copper, manganese and zinc in Spanish Vertisol. *Soil Till. Res.* 98, 200-207.
34. De Vita P., Di Paolo E., Fecondo G., Di Fonzo N., Pisante M., 2007. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil Till. Res.* 92, 69-78.
35. Dmowski Z., 1993. Wpływ rejonu uprawy, gleby i agrotechniki na plonowanie żyta i pszenicy ozimej. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Rozpr. hab. Wyd. AR Wrocław*, 63ss.
36. Dubis B., Budzyński W., 2006. Reakcja pszenicy ozimej na termin i gęstość siewu. *Acta. Sci. Pol., Agricultura* 5(2), 15-24.
37. Dzienia S., Zimny L., Weber R., 2003. Najnowsze kierunki w uprawie roli i technice siewu. <http://karnet.up.wroc.pl/~zimny/dzienia.doc>
38. Ernst G., Emmerling C., 2009. Impact of five different tillage systems on soil organic carbon content and the density, biomass, and community composition of earthworms after a ten year period. *Eur. J. Soil Biol.* 45, 247-251.
39. Escobar L.F., Amado T.J.C., Bayer C., Chavez L.F., Zanatta A.J., Fiorin J.E., 2010. Postharvest nitrous oxide emissions from a subtropical Oxisol as influenced by summer crop residues and their management. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, 34, 435-442.
40. Fernández F.G., Sorensen B.A., Villamil M.B., 2015. A comparison of soil properties after five years of no-till and strip-till. *Agron. J.* 107,4, 1339-1346.
41. Filipović D., Košutić S., Gospodarić Z., 2004. Influence of different soil tillage systems on fuel consumption, labour requirement and yield in maize and winter wheat production. *Agriculture Scientific and Professional Review* 10,2, 17-23.



42. Friedrich T., Derpsch R., and Kassam A. H., 2012. Global overview of the spread of conservation agriculture. *J. Agr. Sci. Tech.*, special issue 6, 1-7.
43. Gadermaier F., Berner A., Fließbach A., Friedel J.K., Mäder P., 2012. Impact of reduced tillage on soil organic carbon and nutrient budgets under organic farming. *Renew. Agr. Food Syst.* 27, 68-80.
44. Gawęda D. 2004. Wpływ sposobów uprawy roli na plonowanie pszenicy ozimej w 3-polowym zmianowaniu na czarnej ziemi. *Ann. UMCS, Sec. E, Agricultura* 59(2), 889-894.
45. Golka W., Ptaszyński S., 2014. Nakłady na uprawę roli w technologii zachowawczej i tradycyjnej. *Prob. Inż. Rol.* 3(85), 31-47.
46. Gooden D.T., Fortnum, B.A., Skipper H.D., 2008. Flue-cured tobacco in a strip-till production system. *Tob. Sci.* 47, 29-33.
47. Guo L.J., Zhang Z.S., Wang D.D., Li C.F., Cao C.G., 2015. Effects of short-term conservation management practices on soil organic carbon fractions and microbial community composition under a rice-wheat rotation system. *Biol. Fertil. Soils* 51, 65-75.
48. Harasim A., 2009. Przewidywane kierunki zmian w technologiach produkcji roślinnej. W: Stan i kierunki zmian w produkcji rolniczej (wybrane zagadnienia). *Studia i Raporty IUNG – PIB* 17, 93-106.
49. Hatfield J.L., Walthall C.L., 2015. Soil Biological Fertility: Foundation for the Next Revolution in Agriculture? *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 46,6, 753-762.
50. Hernanz J.L., López R., Navarrete L., Sánchez-Girón V., 2002. Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil Till. Res.* 66,2, 129-141.
51. Holland J.M., 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agric. Ecosyst. Environ.* 103, 1-21.
52. Hossain M. I., Gathala M. K., Tiwari T.P., Hossain M. S., 2014. Strip tillage seeding technique: A better option for utilizing residual soil moisture in rainfed moisture stress environments of North-West Bangladesh. *Int. J. Recent Dev. Eng. Technol.* 2(4), 132-136.
53. Huang M., Jiang L., Zou Y., Xu S., Deng G., 2013. Changes in soil microbial properties with no-tillage in Chinese cropping systems. *Biol. Fertil. Soils* 49,4, 373-377.
54. Husti I., Daróczy M., Kovács I., Béres K., 2016. Strip till: an economic alternative for the hungarian agriculture. *Hungarian Agricultural Engineering* 29, 21-23.
55. Islam A.K.M.S., Hossain M.M., Saleque M.A., 2013. Evaluation of direct seeded rice planter under minimum tillage practices. *The Agriculturists* 11(2), 87-95.
56. Islam A. K. M. S., Hossain M. M., Saleque M. A., 2014. Conservation agriculture options for a Rice-Maize cropping systems in Bangladesh. *Bangladesh Rice J.* 18(1,2), 44-53.

57. Islam A.K.M.S., Saleque M.A., Hossain M.M., Islam A.K.M.A., 2015. Effect of conservation tillage on soil chemical properties in rice-maize cropping system. *The Agriculturists* 13(2), 62-73.
58. Jackson J.L., Beasley J.P., Tubbs R.S., Lee R.D., Grey T.L., 2011. Fall-bedding for reduced digging losses and improved yield in strip-till peanut. *Peanut Sci.* 38, 31-40.
59. Jadczyk J., Nowocień E., Podolski B., 2010. Ocena nasilenia procesów erozyjnych w różnych systemach uprawy roli w gospodarstwie rolnym. W: *Produkcyjne i siedliskowe skutki stosowania różnych systemów uprawy roli. Raport z tematu badawczego nr 2.3.2. IUNG-PIB Puławy*, 29-41.
60. Jaskulska I., Boczkowski T., Janiak A., Jaskulski D., 2015. Wpływ wieloletniego zróżnicowanego nawożenia na strukturę plonu i zanieczyszczenie ziarna pszenicy ozimej. *Fragm. Agron.* 32(2), 20-28.
61. Jaskulska I., Jaskulski D., Kotwica K., Wasilewski P., Gałzewski L., 2013. Effect of tillage simplifications on yield and grain quality of winter wheat after different previous crops. *Acta Sci. Pol. Agricultura* 12(3), 37-44.
62. Jaskulska I., Różniak M., Jaskulski D., 2015. Wpływ technologii strip-till na wschody i początkowy wzrost zbóż ozimych i rzepaku ozimego. VI Konferencja Naukowa PTA „Badania i innowacje w produkcji roślinnej”. Kraków, 17-19 września 2015 r., 171.
63. Jaskulski D., Jaskulska I., Różniak M., 2016. Wyrównanie wschodów i początkowego wzrostu rzepaku ozimego uprawianego w technologii strip-till w zróżnicowanych warunkach siedliskowych. Konferencja Naukowa „Antropogeniczne uwarunkowania produkcji roślinnej”. Lublin, 23-24 czerwca 2016 r., 23.
64. Johansen C.J., Haque M.E., Bell R.W., Thierfelde C., Esdaile R.J., 2012. Conservation agriculture for small holder rainfed farming: Opportunities and constraints of new mechanized seeding systems. *Field Crops Res.* 132, 18-32.
65. Jończyk K., Kuś J., Stalenga J., 2007. Produkcyjne i środowiskowe skutki różnych systemów gospodarowania. *Prob. Inż. Rol.* 1, 13-22.
66. Kassam A., Friedrich T., Derpsch R., Kienzle J., 2015. Overview of the worldwide spread of conservation agriculture. *Field Actions Science Reports*: <http://factsreports.revues.org/3966>
67. Kaurin A., Mihelič R., Kastelec D., Schloter M., Suhadolc M., Grčman H., 2015. Consequences of minimum soil tillage on abiotic soil properties and composition of microbial communities in a shallow Cambisol originated from fluvio-glacial deposits. *Biol. Fertil. Soils* 51,8, 923-933.
68. Kertész A., Madarasz B., 2014. Conservation agriculture in Europe. *International Soil and Water Conservation Research*, 2(1), 91-96.
69. Kladivko E.J., 2001., Tillage systems and soil ecology. *Soil Till. Res.* 61, 61-76.

70. Klupczyński Z., Ralcewicz M., Knapowski T., 2001. Wpływ nawożenia fosforowo-potasowego na plon ziarna i wartość wypiekową pszenicy ozimej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 480, 245-251.
71. Kocoń A., 2005. Nawożenie jakościowej pszenicy jarej i ozimej a plon i jakość ziarna. Pam. Puł. 139, 55-64.
72. Kohansal M. R., Aliabadi M. M. F., 2014. Impact of technological change on wheat production risk in Northwest of Iran. International Journal of Agricultural Science and Technology 1, 17-21.
73. Korbas M., Mrówczyński M., 2009. Integrowana produkcja pszenicy ozimej i jarej. IOR-PIB, Poznań, 166ss.
74. Kordas L., 2005. Energetical and economical effects of applying reduced tillage in crop rotation. Acta Sci. Pol. Agricultura 4(1), 51-60.
75. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E., 2006. Reakcja owsa na różne metody nawożenia PKMg w tradycyjnym i zerowym systemie uprawy roli. Biul. IHAR 239, 7-17.
76. Kotecki A., 2015. Dokąd zmierza agronomia w Polsce. Fragm. Agron. 32(4), 7-21.
77. Kotwica K., Jaskulska I., Jaskulski D., Gałęzewski L., Walczak D., 2011. Wpływ nawożenia azotem i sposobu użytkowania gleby na plonowanie pszenicy ozimej w zależności od przedplonu. Fragm. Agron. 28(3), 53-63.
78. Kuś J., Jończyk K., Kawalec A., 2007. Czynniki ograniczające plonowanie pszenicy ozimej w różnych systemach gospodarowania. Acta Agrophys. 10(2), 407-417.
79. La Scala N., Bolonhezi D., Pereira G.T., 2006. Short-term soil CO<sub>2</sub> emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. Soil Till. Res. 91, 244-248.
80. Laufer D., Loibl B., Märländer B., Koch H-J., 2016. Soil erosion and surface runoff under strip tillage for sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Central Europe. Soil Till. Res. 162, 1-7.
81. Leghari N., Mirjat M.S., Mughal A.Q., Rajpar I., 2014. Evaluating energy consumption for wheat production under different tillage practices. Pak. J. Agri., Agril. Engg., Vet. Sci. 30(1), 67-74.
82. Lenart S., Perzanowska A., 2013. Wpływ płużnej uprawy roli i siewu bezpośredniego na zawartość w glebie materii organicznej ekstrahowanej metodami fizycznymi. Acta Agrophys. 20(4), 595-607.
83. Li HongWen., HuanWen Gao., HongDan Wu., Li Weng Ying., Hizo Yan Wang., Jin He., 2007. Effects of 15 years of conservation tillage on soil structure and productivity of wheat cultivation in northern China. Aust. J. Soil Res. 45(5), 344-350.
84. Licht M.A., Al-Kaisi M., 2005. Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties. Soil Till. Res. 80, 233-249.

85. Liu X.J., Mosier A.R., Halvorson A.D., Zhang F.S., 2006. The impact of nitrogen placement on NO, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> fluxes from non-tilled soil compared with conventional-tilled soil. *Plant Soil* 280, 177-188.
86. Majchrzak L., Niewiadomska A., Natywa M., 2014. Ocena aktywności dehydrogenaz w uprawie jęczmienia jarego w zależności od sposobu uprawy roli, przedplonu i rodzaju pozostawionej biomasy. *Ann. UMCS, Sec. E, Agricultura* 69,4, 103-111.
87. Majchrzak L., Skrzypczak G., Piechota T., 2004. Wpływ uproszczeń uprawy roli pod kukurydzą na właściwości fizyczne gleby. *Fragm. Agron.* 3(83), 106-119.
88. Mallarino A. P., Borges R., 2006. Phosphorus and potassium distribution in soil following long-term deep-band fertilization in different tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 702-707.
89. Małecka I., Blecharczyk A., 2004. Wpływ systemów uprawy roli na jakość ziarna pszenicy ozimej. *Pam. Puł.* 135, 181-187.
90. Małecka I., Blecharczyk A., Sawinska Z., Piechota T., Waniorek B., 2012a. Plonowanie zbóż w zależności od sposobów uprawy roli. *Fragm. Agron.* 29(1), 114-123.
91. Małecka I., Sawinska Z., Blecharczyk A., Dytman-Hagedorn M., 2014. Zdrowotność pszenicy ozimej w różnych wariantach uprawy roli. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin* 54(2), 246-250.
92. Małecka I., Swędrzyńska D., Blecharczyk A., Dytman-Hagedorn M., 2012b. Wpływ systemów uprawy roli pod groch na właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleby. *Fragm. Agron.* 29(4), 106-116.
93. Martin J.P., 1950. Use of acid, rose bengal and streptomycin in the plate method for estimating soil fungi. *Soil Sci.* 69, 215-232.
94. Mercik S., Stępień W., 2001. Działanie potasu na rośliny w wieloletnich doświadczeniach nawozowych w Skierniewicach. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 480, 291-298.
95. Michalski T., Kowalik I., 2007. Nawożenie startowe jako metoda poprawy efektywności nawożenia i obniżki kosztów produkcji kukurydzy. *Inż. Rol.* 6(94), 167-174.
96. Mileusnić Z.I., Petrović D.V., Dević M.S., 2010. Comparison of tillage systems according to fuel consumption. *Energy* 35(1), 221-228.
97. Morris N. L., Miller P. C. H., Orson J. H., Froud-Williams R. J., 2007. Soil disturbed using a strip tillage implement on a range of soil types and the effects on sugar beet establishment. *Soil Use Manage.* 23, 428-436.
98. Morris N.L., Miller P.C.H., Orson J.H., Froud-Williams R.J., 2010. The adoption of noninversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment - A review. *Soil Till. Res.* 108, 1-15.

99. Murawska B., Piekut A., Jachymska J., Mitura K., Lipińska K., 2015. Ekologiczny i konwencjonalny system gospodarowania a wielkość i jakość plonu wybranych roślin uprawnych. *Infrast. Ekol. Ter. Wiej.* III(1), 663-675.
100. Murillo J.M., Moreno F., Girón I.F., Oblitas M.I., 2004. Conservation tillage: long term effect on soil and crops under rainfed conditions in south-west Spain (western Andalusia). *Span. J. Agric. Res.* 2, 35-43.
101. Mzuri 2016. <http://www.mzuri.eu/about-us/strip-tillage.php>
102. Natywa M., Selwet M., Maciejewski T., 2014. Wpływ wybranych czynników agrotechnicznych na liczebność i aktywność drobnoustrojów glebowych. *Fragm. Agron.* 31,2, 56-63.
103. Neugschwandtner R.W., Liebhard P., Kaul H.P., Wagentristl H., 2014. Soil chemical properties as affected by tillage and crop rotation in a long-term field experiment. *Plant, Soil and Environment* 60, 57-62.
104. Nichols V., Verhulst N., Cox R., Govaerts B., 2015. Weed dynamics and conservation agriculture principles: A review. *Field Crops Res.* 183, 56-68.
105. Oleksiak T., 2011a. Czynniki warunkujące poziom plonowania pszenicy ozimej w produkcji towarowej. Część I. Zmiany w latach 1986–2010. *Biul. IHAR 260/261*, 43-53.
106. Oleksiak T., 2011b. Czynniki warunkujące poziom plonowania pszenicy ozimej w produkcji towarowej. Część II. Zróżnicowanie w zależności od rejonu i wielkości gospodarstw. *Biul. IHAR 260/261*, 55-68.
107. Oleksy A., Szmigiel A., Kołodziejczyk M., 2008. Wpływ intensywności uprawy na zawartość i plon białka odmian pszenicy ozimej. *Acta. Scien. Polon., Agricultura* 7(1), 47-56.
108. Oorts K., Merckx R., Grehan E., Labreuche J., Nicolardot B., 2007. Determinants of annual fluxes of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O in long-term no-tillage and conventional tillage systems in northern France. *Soil Till. Res.* 95, 133-148.
109. Orzech K., Rychcik B., Stępień A., 2011. Wpływ sposobów uprawy roli na zachwaszczenie i plonowanie jęczmienia jarego. *Fragm. Agron.* 28(2), 63-70.
110. Osunbitan J.A., Oyedele D.J., Adekalu K.O., 2005. Tillage effects on bulk density, hydraulic conductivity and strength of a loamy sand soil in southwestern Nigeria. *Soil Till. Res.* 82(1), 57-64.
111. Pabin J., Biskupski A., Włodek S., 2007. Niektóre właściwości fizyczne gleby i plonowanie roślin przy stosowaniu różnych form mulczowania i uprawy roli. *Inż. Rol.* 3, 143-149.
112. Pabin J., Włodek S., Biskupski A., 2002. Oddziaływanie siewu bezpośredniego na wilgotność gleby. *Post. Nauk Rol.* 4, 41-49.
113. Parylak D., 2006. Uprawa pszenicy ozimej po sobie z zastosowaniem uproszczeń w uprawie roli a występowanie chorób podstawy źdźbła. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin* 46(2), 509-511.

114. Parylak D., Pytlarz E., 2013. Skutki produkcyjne monokultury pszenicy ozimej w warunkach upraszczania uprawy roli. *Fragm. Agron.* 30(4), 114-121.
115. Peigné J., Ball B., Roger-Estrade J., David C., 2007. Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. *Soil Use Manage.* 23, 129-144.
116. Petersen J., 2007. Placement of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers by drilling in spring barley grown for malt without use of pesticide. *Acta Agric. Scand. Section B - Soil Plant Sci.* 57,1, 53-64.
117. Piechota T., Kowalski M., Sawinska Z., Majchrzak L., 2014. Ocena przydatności pasowej uprawy roli do doglebowej aplikacji płynnych nawozów organicznych w uprawie kukurydzy. *Fragm. Agron.* 31(1), 74-82.
118. Piechota T., Zbytek Z., Kowalski M., Dach J., 2013. Wpływ pasowej uprawy roli i mechanicznego zwalczania chwastów na fizyczne właściwości gleby w uprawie kukurydzy w plonie wtórnym. *J. Res. Appl. Agric. Engng.* 58,4, 104-108.
119. Piskier T., 2006. Zmiany fizycznych właściwości gleby w następstwie uprawy bezorkowej. *Inż. Rol.* 4(79), 97-102.
120. Piskier T., Sekutowski T.R., 2013. Wpływ uproszczeń w uprawie roli na liczebność oraz rozmieszczenie nasion chwastów w glebie. *J. Res. Appl. Agric. Engng.* 58,4, 109-117.
121. Podolska G., Krasowicz S., Sułek A., 2005. Ocena ekonomiczna i jakościowa uprawy pszenicy ozimej przy różnym poziomie nawożenia azotem. *Pam. Puł.* 139, 175-188.
122. Podolska G., Sułek A., 2012. Wpływ intensywności uprawy na plon i cechy struktury plonu odmian pszenicy ozimej. *Pol. J. Agron.* 11, 41-46.
123. Podolska G., Wyzińska M., 2011. Reakcja nowych odmian pszenicy ozimej na gęstość i termin siewu. *Polish J. Agron.* 6, 44-51.
124. Powlson D. S., Bhogal A., Chambers B.J., Coleman K., Macdonald A.J., Goulding K.W.T., Whitmore A.P., 2012. The potential to increase soil carbon stocks through reduced tillage or organic material additions in England and Wales: a case study. *Agr. Ecosyst. Environ.* 146, 23-33.
125. Rachoń L., Szumiło G., Machaj H., 2014. Wpływ intensywności technologii uprawy na plonowanie różnych genotypów pszenicy ozimej. *Annales UMCS, Sec. E, Agricultura* 69(3), 32-41.
126. Radecki A., Dzieńka S., Malicki L., Nowicki J., Starczewski J., 2002. Odpowiednie dać rzeczy słowo. *Fragm. Agron.* 3, 34-45.
127. Radhika K., Hemalatha S., Maragatham S., Praveena S.K., 2013. Placement of nutrients in soil: A Review. *Research and Reviews: Journal of Agriculture and Allied Sciences* 2,2, 12-19.
128. Randall G.W., Hoelt R.G., 1988. Placement methods for improved efficiency of P and K fertilizers: A review. *J. Prod. Agric.* 1, 70-79.

129. Raport Monsanto 2011. Corn production and strip-tillage in the Western Plains. <http://precisiontillage.com/archive/assets/uploads/Monsanto.pdf>
130. Rieger S., Richner W., Streit B., Frossard E., Liedgens M., 2008. Growth, yield, and yield components of winter wheat and the effects of tillage intensity, preceding crops, and N fertilisation. *Eur. J. Agron.* 28, 405-411.
131. Ruisi P., Giambalvo D., Saia S., Di Miceli G., Frenda A. S., Plaia A., Amato G., 2014. Conservation tillage in a semiarid Mediterranean environment: results of 20 years of research. *Ital. J. Agron.* 9, 560 (7 pages)
132. Rychlik A., 2006. Metody pomiaru zużycia paliwa pojazdów użytkowych, *Eksploatacja i Niezawodność* 4, 37-41.
133. Sainis J.K., Shouche S.P., Bhagwat S.G., 2006. Image analysis of wheat grains developed in different environments and its implications for identification. *J. Agric. Sci.* 144, 221-227.
134. Sengupta A., Dick W.A., 2015. Bacterial community diversity in soil under two tillage practices as determined by pyrosequencing. *Microb. Ecol.* 70(3), 853-859.
135. Sarec P., Sarec O., Gil K., 2008. Field trials on grain maize cultivation technologies in 2004, 2005 and 2006. *Ann. UMCS, Sec. E, Agricultura* 63,2, 21-27.
136. Schierhorn F., Müller D., Prishchepov A.V., Faramarzi M., Balmann A., 2014. The potential of Russia to increase its wheat production through cropland expansion and intensification. *Glob. Food Secur.* 3, 133-141.
137. Sessiz A., Sogut T., Alp A., Esgici R., 2008. Tillage effects on sunflower (*Helianthus Annuus*, L.) emergence, yield, quality, and fuel consumption in double cropping system. *J. Cent. Eur. Agr.* 9(40), 697-710.
138. Smagacz J., 2011. Uprawa roli – aktualne kierunki badań i najnowsze tendencje. Ekspertyza. Puławy. IUNG-PIB 42ss.
139. <http://www.agengpol.pl/LinkClick.aspx?fileticket=ejNqJvPEHDg%3D&tabid=144>
140. Spiegel H., Dersch G., Hösch J., Baumgarten A., 2007. Tillage effects on soil
141. organic carbon and nutrient availability in a long-term field experiment in Austria.
142. *Die Bodenkultur* 58, 47-58.
143. Stajniko D., Lakota M., Vučajnik F., Bernik R., 2009. Effects of different tillage systems on fuel savings and reduction of CO<sub>2</sub> emissions in production of silage corn in eastern Slovenia. *Pol. J. Environ. Stud.* 18(4), 711-716.
144. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J., 2010. Skuteczność zlokalizowanego nawożenia kukurydzy i grochu w tradycyjnym i zerowym systemie uprawy roli. *Fragm. Agron.* 27(1), 160-169.
145. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J., 2011. Impact of zero tillage system on the nutrient content of grain and vegetative parts of cereals. *Pol. J. Agron.* 4, 29-32.

146. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J., Kaus A., 2005. Skuteczność zlokalizowanego nawożenia PKMg zbóż w systemie uprawy zerowej. *Pam. Puł.* 140, 261-270.
147. Stankowski S., Rutkowska A., 2006. Kształtowanie się cech jakościowych ziarna i mąki pszenicy ozimej w zależności od dawki i terminu nawożenia azotem. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 5(1), 53-61.
148. Stankowski S., Smagacz J., Hury G., Ułasik S., 2008. Wpływ intensywności nawożenia azotem na jakość ziarna i mąki odmian pszenicy ozimej. *Acta Sci. Pol. Agricultura* 7(3), 105-114.
149. Strickland T.C., Scully B.T., Hubbard R.K., Sullivan D.G., Abdo Z., Savabi M.R., Lee R.D., Olson D.M., Hawkins G.L., 2015. Effect of conservation practices on soil carbon and nitrogen accretion and crop yield in a corn production system in the southeastern coastal plain, United States. *J. Soil Water Conserv.* 70,3, 170-181.
150. Sztuder H., Kaus A., 2007. Koszty różnych sposobów aplikacji nawozów w uprawie pszenicy ozimej. *Inż. Rol.* 3(91), 173-178.
151. Śniady R., Sobkowicz P., 1999. Reakcja pszenicy ozimej na termin i gęstość siewu. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Rolnictwo* 367, 205-215.
152. Święcicki W.K., Surma M., Koziała W., Skrzypczak G., Szukała J., Bartkowiak-Broda I., Zimny J., Banaszak Z., Marciniak K., 2011: Nowoczesne technologie w produkcji roślinnej – przyjazne dla człowieka i środowiska, *Pol. J. Agron.* 7, 102-112.
153. Tabatabaeekoloor R., 2011. Soil characteristics at the in-row and inter-row zones after strip-tillage. *Afr. J. Agric. Res.* 6(32), 6598-6603.
154. Tabatabai M. A., Bremner J. M., 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assays of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.* 1,4, 301-307.
155. Talarczyk W., Łowiński Ł., Pikoś M., Szczepaniak J., Szulc T., 2015. Modelowanie agregatu do uprawy pasowej, nawożenia i siewu kukurydzy. *J. Res. Appl. Agric. Engng.* 60(4), 108-111.
156. Theobald C.M., Roberts A.M.I., Talbot M., Spink J.H., 2006. Estimation of economically optimum seed rates for winter wheat from series of trials. *J. Agric. Sci.* 144, 303-316.
157. Townsend T.J., Ramsden S.J., Wilson P., 2016. How do we cultivate in England? Tillage practices in crop production systems. *Soil Use Manage.* 32(1), 106-117.
158. Trevini M., Benincasa P., Guiducci M., 2013. Strip tillage effect on seedbed tilth and maize production in Northern Italy as case-study for the Southern Europe environment. *Eur. J. Agron.* 48, 50-56.
159. Ulén B., Bechmann M., Øygarden L., Kyllmar K., 2012. Soil erosion in Nordic countries – future challenges and research Leeds. *Acta Agric. Scand. Section B – Soil Plant Sci.* 62, sup 2, 176-184.



160. Usowicz B., Marczewski W., 2005. Rozkład właściwości cieplnych gleby na czarnym ugorze i pod murawą. *Acta Agrophys.* 5(3), 745-757.
161. Übelhör A., Witte I., Billen N., Gruber S., Hermann W., Morhard J., Claupein W., 2014. Feasibility of strip-tillage for field grown vegetables. *J. Kulturpflanzen* 66(11), 365-377.
162. Wallace R., Lockhead A., 1950. Qualitative studies of soil microorganisms. Aminoacid requirements of rhizosphere bacteria. *Can. J. Res., sec. C* 28, 1-6.
163. Wang J.B., Chen Z.H., Chen L.J., Zhu A.N., Wu Z.J., 2011. Surface soil phosphorus and phosphatase activities affected by tillage and crop residue input amounts. *Plant Soil Environ.* 57, 251-257.
164. Weber R., 2000. Efektywność siewu bezpośredniego w warunkach dużych ilości pozostałości poźniwnych. *Post. Nauk Rol.* 57-69.
165. Weber R., 2007. Bezplużna uprawa roli w warunkach dużych ilości pozostałości poźniwnych. *Studia i Raporty IUNG – PIB* 8, 217-232.
166. Weber R., 2011. Wpływ wysokości ścierniska przedplonu i sposobu uprawy roli na plonowanie kilku odmian pszenicy ozimej. *Prob. Inż. Rol.* 1(71), 31-39.
167. Weber R., Podolska G., 2008. Wpływ sposobu uprawy roli, terminu i gęstości siewu na plonowanie odmian pszenicy ozimej. *Inż. Rol.* 1(99), 395-400.
168. Wiatrak P.J., Wright D.L., Marois J.J., 2005. Evaluation of strip tillage on weed control, plant morphology, and yield of glyphosate-resistant cotton. *J. Cotton Sci.* 9, 10-14.
169. Williams A., Davis A.S., Ewing P.M., Grandy A.S., Kane D.A., Koide R.T., Mortensen D.A., Smith R.G., Snapp S.S., Spokas K.A., Yannarell A.C., Jordan N.R., 2016a. A comparison of soil hydrothermal properties in zonal and uniform tillage systems across the US Corn Belt. *Geoderma* 273, 12-19.
170. Williams A., Kane D.A., Ewing P.M., Atwood L.W., Jilling A., Li M., Lou Y., Davis A.S., Grandy A.S., Huerd S.C., Hunter M.C., Koide R.T., Mortensen D.A., Smith R.G., Snapp S.S., Spokas K.A., Yannarell A.C., Jordan N.R., 2016b. Soil functional zone management: A vehicle for enhancing production and soil ecosystem services in row-crop agroecosystems. *Front. Plant Sci.* 7, 65, 15pp
171. Woźniak A., 2006. Wpływ przedplonów na plon i jakość ziarna pszenicy ozimej. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 5(2), 99-106.
172. Woźniak A., Gontarz D., 2011. Ocena wybranych wyróżników jakości ziarna pszenicy twardej odmiany Floradur w zależności od uprawy roli i nawożenia azotem. *Acta Agrophys.* 18(2), 481-489.
173. Wróbel S., Nowak-Winiarska K., 2007. Dostępność składników pokarmowych dla roślin w warunkach uproszczeń uprawy roli. *Studia i Raporty IUNG-PIB* 8, 177-193.

175. Wróbel S., Pabin J., 2008. Wpływ systemu uprawy roli na zawartość makroskładników w glebie i roślinach kukurydzy uprawianej w monokulturze. *Roczn. Glebozn.* 59,1, 226 -232.
176. Wrześcińska E., Dzienia S., Wereszczaka J., 2003. Wpływ systemów uprawy roli na ilość i rozmieszczenie nasion chwastów w glebie. *Acta. Sci. Pol. Agricultura* 2(1), 169-175.
177. Vach M., Stražil Z., Javůrek M., 2016. Economic efficiency of selected crops cultivated under different technology of soil tillage *Sci. Agric. Bohem.* 47(1), 40-46.
178. Zbytek Z., Talarczyk W., 2012. Sposoby ograniczania negatywnego oddziaływania agregatów ciągnikowych na rolę. *Probl. Inż. Rol.* 4(78), 57-68.
179. Zhu L., Hu N., Yang M., Zhan X., Zhang Z., 2014. Effects of different tillage and straw return on soil organic carbon in a rice-wheat rotation system. *PLoS ONE* 9(2), e88900, 1-7.
180. Zibilske L.M., Bradford J.M., 2007. Soil aggregation, aggregate carbon and nitrogen, and moisture retention induced by conservation tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71, 793-802.
181. Zimny L., 2002. Uprawa konserwująca. <http://www.ppr.pl/arttykul-uprawa-konserwujaca-2889-dzial-19.php>
182. Zimny L., Zych A., Waclawowicz R., 2015. Systemy uprawy buraka cukrowego w Polsce w badaniach ankietowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 581, 135-145.
183. Zych A., Zimny L., 2014. Gęstość siewu rzepaku w uprawie pasowej. *Bez Pługa* 3, 24-27.
184. Zawieja J., Kordas L., 2003. Wpływ uproszczeń w uprawie roli i siewu bezpośredniego na zapas diaspor chwastów w glebie. *Acta. Sci. Pol. Agricultura* 2, 163-170.

## Spis rycin

Rys. 1.	Schemat istoty pasowej uprawy roli.....	15
Rys. 2.	Opady atmosferyczne (mm) w okresie badań .....	24
Rys. 3.	Temperatura powietrza (°C) w okresie badań .....	25
Rys. 4.	Przebieg wilgotności gleby w warstwie 0-10 cm w latach badań.....	36
Rys. 5.	Przebieg wilgotności gleby w warstwie 10-20 cm w latach badań.....	37
Rys. 6.	Przebieg wilgotności gleby w warstwie 20-30 cm w latach badań.....	38
Rys. 7.	Przebieg wilgotności gleby w warstwie 30-40 cm w latach badań.....	39
Rys. 8.	Równomierność obsady roślin w pierwszym roku badań w zależności od technologii uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu.....	46
Rys. 9.	Równomierność obsady roślin w drugim roku badań w zależności od technologii uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu.....	47
Rys. 10.	Równomierność obsady roślin w trzecim roku badań w zależności od technologii uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu.....	47
Rys. 11.	Zawartość węgla organicznego ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby) po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu.....	56
Rys. 12.	Zawartość azotu ogólnego ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby) po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu.....	57
Rys. 13.	Stosunek C/N w glebie po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu .....	57
Rys. 14.	Wskaźnik $\text{pH}_{\text{KCl}}$ gleby po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu .....	58
Rys. 15.	Zawartość przyswajalnego fosforu w glebie ( $\text{mg P}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby) po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu .....	59
Rys. 16.	Zawartość przyswajalnego potasu w glebie ( $\text{mg K}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby) po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu .....	59
Rys. 17.	Zawartość przyswajalnego magnezu w glebie ( $\text{mg Mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby) po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu .....	60
Rys. 18.	Liczba bakterii ogółem ( $\text{jtk}\cdot 10^7\cdot\text{g}^{-1}$ s.m. gleby) w warstwie 0-15 cm po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu.....	61
Rys. 19.	Liczba grzybów ogółem ( $\text{jtk}\cdot 10^4\cdot\text{g}^{-1}$ s.m. gleby) w warstwie 0-15 cm po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu.....	61
Rys. 20.	Liczba dżdżownic w warstwie gleby 0-15 cm ( $\text{szt.}\cdot\text{m}^{-2}$ ) po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu.....	62

Rys. 21. Aktywność dehydrogenaz ( $\mu\text{g}$ formazanu $\text{g}^{-1}$ s.m. gleby $24 \text{ h}^{-1}$ ) w warstwie 0-15 cm po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu .....	63
Rys. 22. Aktywność fosfatazy kwaśnej ( $\mu\text{g}$ p-nitrophenolu $\text{g}^{-1}$ s.m. gleby $1 \text{ h}^{-1}$ ) w warstwie 0-15 cm po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu.....	63
Rys. 23. Aktywność fosfatazy zasadowej ( $\mu\text{g}$ p-nitrophenolu $\text{g}^{-1}$ s.m. gleby $1 \text{ h}^{-1}$ ) w warstwie 0-15 cm po trzech latach stosowania technologii podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu.....	64
Rys. 24. Średnie w latach badań zużycie paliwa ( $\text{l ha}^{-1}$ ) w zależności od technologii uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu .....	66
Rys. 25. Średni w latach badań nakład czasu pracy ( $\text{min. ha}^{-1}$ ) w zależności od technologii uprawy roli, nawożenia przedsiewnego i siewu .....	69

## Spis tabel

Tabela 1.	Maszyny i narzędzia do uprawy roli, nawożenia przedsiewnego oraz siewu w zależności od zastosowanej technologii .....	26
Tabela 2.	Pielęgnacja pszenicy ozimej w latach badań .....	26
Tabela 3.	Istotność interakcyjnego wpływu lat badań i czynników głównych oraz interakcji lat z współdziałaniem czynników na cechy gleby i roślin pszenicy ozimej .....	29
Tabela 4.	Gęstość gleby łoża siewnego 0-5 cm ( $\text{g cm}^{-3}$ ) .....	30
Tabela 5.	Gęstość gleby jesienią w warstwie 10-15 cm ( $\text{g cm}^{-3}$ ).....	31
Tabela 6.	Gęstość gleby jesienią w warstwie 25-30 cm ( $\text{g cm}^{-3}$ ).....	31
Tabela 7.	Gęstość gleby wiosną w warstwie 10-15 cm ( $\text{g cm}^{-3}$ ) .....	32
Tabela 8.	Gęstość gleby po zbiorze pszenicy ozimej w warstwie 10-15 cm ( $\text{g cm}^{-3}$ ).....	33
Tabela 9.	Gęstość gleby po zbiorze pszenicy ozimej w warstwie 25-30 cm ( $\text{g cm}^{-3}$ ).....	33
Tabela 10.	Wilgotność gleby łoża siewnego 0-5 cm (% wag.) .....	34
Tabela 11.	Zawartość azotu mineralnego jesienią w latach badań ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. gleby) .....	40
Tabela 12.	Zawartość azotu mineralnego jesienią średnio w okresie badań ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. gleby).....	41
Tabela 13.	Zawartość azotu mineralnego wiosną średnio w okresie badań ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. gleby).....	42
Tabela 14.	Zawartość azotu mineralnego po zbiorze w latach badań ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. gleby).....	43
Tabela 15.	Zawartość azotu mineralnego po zbiorze średnio w okresie badań ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. gleby) .....	44
Tabela 16.	Obsada roślin po wschodach ( $\text{szt}\cdot\text{m}^{-2}$ ) .....	45
Tabela 17.	Wskaźnik zieloności liścia flagowego (SPAD).....	48
Tabela 18.	Obsada kłosów ( $\text{szt}\cdot\text{m}^{-2}$ ) .....	49
Tabela 19.	Liczba ziaren w kłosie (szt.) .....	50
Tabela 20.	Masa ziarna z kłosa (g) .....	50
Tabela 21.	Plon ziarna ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) .....	51
Tabela 22.	Masa tysiąca ziaren (g) .....	52
Tabela 23.	Gęstość ziarna w stanie zsypanym ( $\text{kg}\cdot\text{hl}^{-1}$ ).....	52
Tabela 24.	Zawartość białka ogólnego (%).....	53
Tabela 25.	Zawartość glutenu mokrego (%) .....	54
Tabela 26.	Wskaźnik sedymentacji (ml) .....	55
Tabela 27.	Liczba opadania (s) .....	55
Tabela 28.	Zużycie paliwa ( $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) w pierwszym roku badań .....	65
Tabela 29.	Zużycie paliwa ( $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) w drugim roku badań .....	65
Tabela 30.	Zużycie paliwa ( $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) w trzecim roku badań.....	66
Tabela 31.	Czas pracy ( $\text{min}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) w pierwszym roku badań.....	67
Tabela 32.	Czas pracy ( $\text{min}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) w drugim roku badań.....	68
Tabela 33.	Czas pracy ( $\text{min}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) w trzecim roku badań .....	69

## OCENA MOŻLIWOŚCI UPRAWY PSZENICY OZIMEJ W TECHNOLOGII STRIP-TILL

### Streszczenie

Technologia strip-till we współczesnej polowej produkcji roślinnej jest alternatywą dla klasycznej płużnej, cało powierzchniowej bezpłużnej oraz zerowej uprawy roli. Polega na głębokim spulchnieniu pasa roli z jednoczesną aplikacją w nim nawozów mineralnych oraz wysiewem nasion. Stosowana jest głównie w agrotechnice roślin uprawianych w rzędach o szerokiej rozstawie. Problemem naukowym i utylitarnym, nie w pełni dotąd wyjaśnionym, jest określenie możliwości uprawy zbóż w tej technologii.

W przeprowadzonych badaniach założono, że technologia ta stwarza nie mniej korzystne warunki do wzrostu i plonowania pszenicy ozimej niż klasyczna uprawa płużna lub cało powierzchniowa uprawa bezpłużna, a w przypadku ewentualnego braku korzystnego wpływu technologii strip-till na plonowanie pszenicy ozimej nie mniej ważnym argumentem wskazującym na zasadność jej stosowania będzie korzystne oddziaływanie na niektóre właściwości gleby oraz redukcja nakładów paliwa i czasu pracy. Hipotezę zwerifikowano w oparciu o dwuczynnikowe doświadczenie polowe zlokalizowane w miejscowości Śmielin (53°09'04"N; 17°29'11"E), gmina Sadki, powiat nakielski, województwo kujawsko-pomorskie, a wykonane w latach 2013-2016. Celem głównym badań było określenie możliwości uprawy pszenicy ozimej w technologii strip-till poprzez porównanie jej efektów siedliskowych (właściwości gleby), produkcyjnych (plon ziarna i jego jakość) oraz ekonomiczno-organizacyjnych (nakłady paliwa i czasu pracy) z efektami klasycznej płużnej uprawy roli oraz uprawy bezorkowej uzupełnionych nawożeniem przedsięwzięciem i tradycyjnym siewem rzędowym.

Czynnikiem pierwszym doświadczenia były technologie podstawowej uprawy roli, nawożenia przedsięwzięcia i siewu pszenicy ozimej:

- płużna (orka siewna średnio głęboka, przedsięwzięcie nawożenie mineralne, przygotowanie łoża siewnego, siew siewnikiem rzędowym),
- bezpłużna (cało powierzchniowa, bezpłużna, spulchniająca, średnio głęboka uprawa roli; przedsięwzięcie nawożenie mineralne; siew rzędowy agregatem uprawowo-siewnym),
- strip-till (pasowa uprawa roli, przedsięwzięcie nawożenie mineralne i siew pasowy jednym przejazdem agregatu).

Drugi czynnik stanowił sposób późniejszej uprawy roli wykonywanej przed uprawą podstawową (bezpośrednio po zbiorze przedplonu), tj.:

- płytka uprawa roli z rozdrobnioną słomą na powierzchni przy użyciu brony talerzowej,
- brak uprawy późniejszej (mulcz z rozdrobnionej słomy przedplonu).

Wyniki doświadczenia polowego oraz laboratoryjne analizy materiału roślinnego i glebowego pozwalają stwierdzić, że technologia strip-till powodowała większe zagęszczenie i lepsze uwilgotnienie łoża siewnego niż klasyczna uprawa płużna oraz bezpłużna, a także przestrzenne zróżnicowanie zawartości azotu mineralnego w glebie – zwiększenie koncentracji azotu w rzędach roślin w porównaniu z międzyrzędziami w okresie jesiennej i wiosennej wegetacji pszenicy ozimej, a zmniejszenie jego zawartości bezpośrednio po zbiorze. Pasowa uprawa roli z jednoczesną aplikacją nawozów oraz siewem umożliwiła uzyskanie takiego samego plonu ziarna jak po uprawie płużnej, a istotnie większego niż po uprawie bezpłużnej. Większy plon ziarna wynikał z równomiernych wschodów, większej obsady kłosów i masy ziarna z kłosa. Ziarno zawierało więcej białka ogólnego i glutenu mokrego, ale miało mniejszą gęstość w stanie zsypanym, od ziarna uzyskanego po uprawie płużnej. Technologia strip-till umożliwiła kilkukrotne zmniejszenie nakładów paliwa na uprawę roli, nawożenie przedsiewne i siew, a szczególnie skrócenie czasu pracy w porównaniu z technologiami, w których stosowano płużną lub bezpłużną uprawę roli. Po trzech latach jej stosowania nastąpiło zwiększenie zawartości przyswajalnych form makroskładników w wierzchniej warstwie w porównaniu z glebą uprawianą płużnie oraz zmniejszenie gęstości objętościowej warstwy położonej poniżej zasięgu działania elementów roboczych narzędzi uprawowych. Większa też była liczba dżdżownic, mikroorganizmów ogółem oraz aktywność dehydrogenaz niż w glebie uprawianej płużnie i bezpłużnie.

## EVALUATION OF THE POTENTIAL OF GROWING WINTER WHEAT APPLYING STRIP-TILL TECHNOLOGY

### Summary

Strip-till technology in contemporary field plant production is an alternative to traditional plough tillage, all-surface ploughless tillage and zero tillage. It involves deep loosening of field strip accompanied by an application of mineral fertilizers and seed sowing. It is mostly involved in the agrotechnical practises of crops grown in wide-spacing rows. The scientific and utilitarian problem, not fully accounted for, is to determine

a potential of growing cereals in that technology.

In the present research it has been assumed that such technology creates not less favourable conditions for winter wheat growth and development than traditional plough tillage or all-surface ploughless tillage, and in the case of a potential lack of a favourable effect of strip-till technology on winter wheat yielding, not less essential argument pointing to the justifiability of its application, will be a favourable effect on some soil properties as well as cutting down on fuel and time consumption. The hypothesis has been verified based on a two-factor field experiment located at Śmielin (53°09'04"N; 17°29'11"E), the Sadki commune, the Nakło county, the kujawsko-pomorskie province, and performed in 2013-2016. The primary objective of the research has been to determine a potential of growing winter wheat applying strip-till technology by a comparison of its habitat (soil properties), production (grain yield and its quality) and economic-and-organizational effects (fuel and working time inputs) with the effects of traditional plough tillage and ploughless tillage supplemented by pre-sowing fertilization and traditional row seeder sowing.

The first factor of the experiment involved the technologies of basic tillage, pre-sowing fertilization and winter wheat sowing:

- plough tillage (mid-deep pre-sowing ploughing, pre-sowing mineral fertilization, seedbed preparation, sowing with row seeder),
- ploughless tillage (over the entire area, ploughless, loosening, average deep tillage; pre-sowing mineral fertilization; row seeding with tilling and sowing aggregate),
- strip-till (strip-till, pre-sowing mineral fertilization and strip sowing with a single pass of the aggregate).

The second factor was made up of the method of post-harvest tillage performed prior to basic tillage (right after the previous crop harvest), namely:

- shallow tillage with crushed straw on the surface using a disc harrow,
- no post-harvest tillage (mulch made of crushed previous crop straw).

The results of the field experiment and laboratory analysis of the plant and soil material facilitate strip-till technology resulting in a greater bulk density and better



moisture of seedbed than the traditional plough tillage and ploughless tillage, as well as a spatial variation in the content of mineral nitrogen in soil; a greater nitrogen content in plant rows, as compared with interrows during autumn and spring vegetation of winter wheat and a decrease in its content right after harvest. Strip till accompanied by an application of fertilizers and sowing facilitated receiving the same grain yield as after plough tillage and significantly higher than after ploughless tillage. A higher grain yield resulted from uniformly-distributed emergence, a higher spikes density and grain weight per spike. Grain contained more total protein and wet gluten, however its weight per hectolitre was lower than the density of grain received after plough tillage. Strip-till technology facilitates a few-time decrease in fuel inputs for tillage, pre-sowing fertilization and sowing, especially decreasing the working time, as compared with the technologies with plough or ploughless tillage. After three years of its application, the contents of available forms of macronutrients in the surface layer increased, as compared with the soil exposed to plough tillage and a decrease in bulk density of the layer found below the impact of working elements of tillage tools. Similarly, the number of earthworms, microorganisms in total and the activity of dehydrogenases was higher than in the soil exposed to plough and ploughless tillage.