

OPTIMALIZACJA GŁĘBOKOŚCI SIEWU PSZENICY OZIMEJ W TECHNOLOGII UPRAWY PASOWEJ*

DARIUSZ JASKULSKI¹, IWONA JASKULSKA¹, EMILIAN RÓŻNIAK²

¹ *Katedra Agronomii i Przetwórstwa Żywności, Wydział Rolnictwa i Biotechnologii,
Politechnika Bydgoska, ul. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz*

² *Centrum Badawczo-Rozwojowe ul. Kościelna 1, Śmielin, 89-110 Sadki*

Synopsis. Dwuetapowe badania nad optymalizacją głębokości siewu pszenicy ozimej w technologii uprawy pasowej przeprowadzono w latach 2021–2023 w Centrum Badawczo-Rozwojowym lidera projektu Agrotech firmy Mzuri World sp. z o. o. w Śmielinie i laboratorium wegetacyjnym Politechniki Bydgoskiej. Celem badań laboratoryjnych było określenie zależności zdolności wschodów pszenicy ozimej od głębokości umieszczenia ziarna w podłożu gleby lekkiej i ciężkiej o zróżnicowanej gęstości objętościowej (1,15 i 1,45 g·cm⁻³) i wilgotności (10%, 20%). W drugim etapie, w doświadczeniu polowym, zweryfikowano rzeczywistą głębokość umieszczenia ziarna w glebie i połowę zdolność wschodów przy głębokości siewu 1, 3 i 5 cm, porównując je z wartościami tych parametrów wyliczonymi na podstawie równań regresji opracowanych w oparciu o wyniki badań laboratoryjnych. Stwierdzono, że optymalna dla maksymalnej zdolności wschodów głębokość umieszczenia ziarna pszenicy ozimej w podłożu wyniosła w zależności od warunków glebowych od 1 cm – dla gleby ciężkiej o gęstości objętościowej 1,45 g·cm⁻³ do 4,19 cm – dla gleby lekkiej o gęstości 1,15 g·cm⁻³ i wilgotności 10%. Siew wykonany przy użyciu maszyny MZURI PRO-TIL na głębokość 3 i 5 cm w technologii uprawy pasowej gwarantował połowę zdolność wschodów zgodną z wartościami oszacowanymi na podstawie badań laboratoryjnych. Natomiast siew płytki, tj. 1 cm, niezależnie od warunków glebowych, prowadził do zmniejszenia PZW nawet o 16,9 punktów procentowych.

Słowa kluczowe: pszenica ozima, uprawa pasowa, głębokość siewu, wschody, gęstość objętościowa gleby, wilgotność gleby

WSTĘP

Głębokość umieszczenia nasion w glebie kształtuje warunki powietrzno-wodne i termiczne, w których zachodzi kiełkowanie [Masilamani i in. 2023, Kanno i in. 2026], co w konsekwencji decyduje o polowej zdolności wschodów, ich tempie i wyrównaniu oraz o dalszym rozwoju i plonowaniu roślin [Lamichhane i in. 2018, Sułek i Ogórkiewicz 2020]. Bezwzględna, optymalna głębokość siewu zależy od gatunku, a niekiedy także od odmiany rośliny uprawnej oraz jej biologii [Serafin-Andrzejewska i in. 2022, Yang i in. 2025]. Nie mniej ważne są warunki siedliskowe, zwłaszcza glebowe, jak: uziarnienie i struktura gleby oraz jej wilgotność, gęstość i zwięzłość kształtowane także przez sposób uprawy roli [Chen i in. 2021].

Ziarno zbóż, w tym pszenicy ozimej i jarej, wysiewane jest na głębokość 2–5 cm [Nandi i in. 2018, Lykchochor i in. 2022], co zależy od jakości materiału siewnego i parametrów łoża siewnego [Håkansson i in. 2011a]. O właściwościach łoża siewnego, wpływających na kiełkowanie nasion

¹ Adres do korespondencji – *Corresponding address:* darekjas@pbs.edu.pl

*Praca powstała w wyniku realizacji projektu badawczego POIR.01.01.01-00-2279/20 pn. Nowa generacja maszyn dedykowanych innowacyjnej technologii strip-till one-pass dostosowanych do rolnictwa smart fields i rolnictwa 4.0.

i wschody roślin, w dużym stopniu decyduje ilość resztek roślinnych, mulczu oraz sposób ich wnoszenia do gleby [Mollard i in. 2014]. Ma to szczególne znaczenie w bezpłużnych systemach uprawy roli [Shi i in. 2021].

Optymalna głębokość siewu nasion roślin uprawnych ustalana jest na podstawie średnich warunków siedliskowych danego pola, co w przypadku pól o zróżnicowanych przestrzennie właściwościach gleby i ukształtowaniu powoduje, że w niektórych jego fragmentach wartość tego parametru odbiega dalece od założonego [Conceição i in. 2016, Chen i in. 2025]. W efekcie postępu technicznego i technologicznego współczesne siewniki oraz maszyny do uprawy gleby i siewu dostosowują automatycznie lub półautomatycznie głębokość umieszczania nasion w glebie do warunków siedliskowych [Heege 2013]. Zaawansowane rozwiązania oparte są na analizie właściwości gleby w czasie rzeczywistym pracy maszyny wyposażonej w sensory lub wcześniej wygenerowane mapy aplikacyjne [Gautam i in. 2019, Munnaf i in. 2020]. Rozwiązania te wymagają jednak opracowanych wcześniej algorytmów głębokości siewu uwzględniających zróżnicowane dane wejściowe opisujące cechy materiału siewnego, warunki siedliskowe i parametry pracy maszyny [Romanekas i in. 2022]. W przedmiotowej literaturze brakuje wyników badań wskazujących na optymalną głębokość siewu roślin uprawnych w zależności od właściwości łoża siewnego tworzonego przez maszyny pracujące w technologii pasowej uprawy roli i jednoczesnego siewu.

Celem badań, będących częścią prac B+R projektu pn. „Nowa generacja maszyn dedykowanych innowacyjnej technologii strip-till one-pass dostosowanych do rolnictwa smart fields i rolnictwa 4.0”, było opracowanie danych do modeli optymalizujących głębokość siewu ziarna pszenicy ozimej przy użyciu maszyny MZURI PRO-TIL i ich sprawdzenie w warunkach polowych. Założono, że optymalna głębokość siewu zależy będzie od kategorii agronomicznej i właściwości gleby, a w technologii uprawy pasowej może odbiegać od powszechnie zalecanej w agrotechnice pszenicy ozimej.

MATERIAŁ I METODY

W latach 2021–2023 przeprowadzono dwuetapowe badania wschodów pszenicy ozimej w zależności od głębokości siewu w zróżnicowanych warunkach glebowych. Etap pierwszy obejmował wieloobiektowe laboratoryjne doświadczenie wazonowe będące badaniami przemysłowymi projektu realizowanego przez firmę Mzuri World sp. z o.o. w Śmielinie we współpracy z Politechniką Bydgoską i Politechniką Poznańską. Oceniano w nich zdolność wschodów pszenicy ozimej ‘Apostel’ o masie tysiąca ziaren 44 g i wartości użytkowej 88%, które umieszczano w podłożu glebowym pobranym z warstwy uprawnej (0–20 cm) gleby lekkiej (piasek gliniasty: piasek – 78,7%; pył – 17,8%; il – 3,5%) i gleby ciężkiej (glina zwykła: piasek – 45,3%; pył – 32,6%; il – 22,1%). Oba rodzaje podłoża, o grubości warstwy od 6 do 11 cm w zależności od głębokości siewu: 1, 2, 3, 4, 5, 6 cm, umieszczano w wazonach o wymiarach 80 cm x 10 cm x 12 cm i zagęszczono do wartości gęstości objętościowej 1,15 g·cm⁻³ oraz 1,45 g·cm⁻³. Następnie podłoże nawilżono do wilgotności 10 i 20%. Na tak przygotowanych podłożach z wyłożonymi ziarniakami pszenicy ozimej (100 szt.) umieszczano pozostałą część podłoża, o parametrach j.w., do całkowitej grubości warstwy 12 cm. Na powierzchni umieszczano resztki poźniwne (rozdrobiona słoma rzepaku ozimego) w ilości odpowiadającej dawce 5 t·ha⁻¹, co miało imitować warunki bezpłużnej uprawy i siewu pasowego. Każdy z tak przygotowanych obiektów (48 szt.) występował czterokrotnie. Wazony umieszczono w pomieszczeniu vegetacyjnym Katedry Agronomii i Przetwórstwa Żywności Politechniki Bydgoskiej w temperaturze 20–22°C. Po 14 dniach w każdym wazonie policzono siewki pszenicy i określono procentową zdolność wschodów. Uzyskane wyniki pozwoliły,

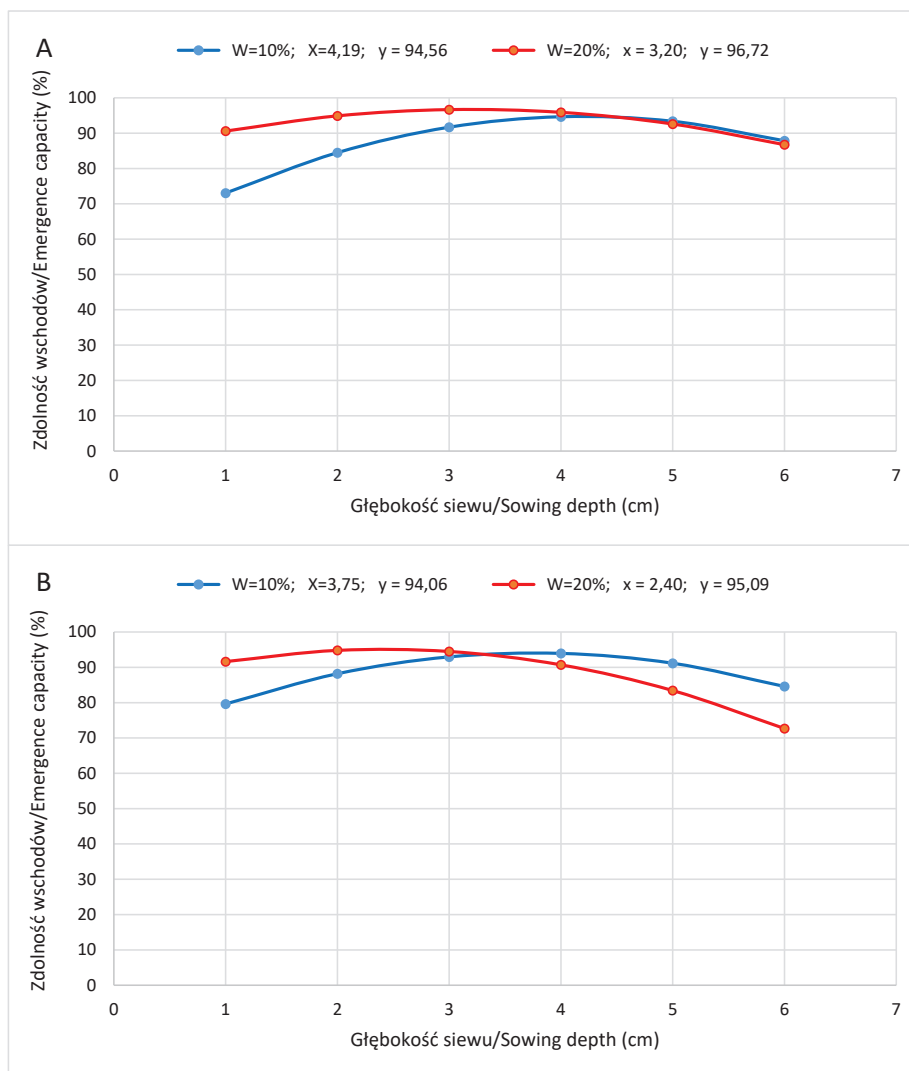
przy wykorzystaniu rachunku regresji wielomianowej i prostej, określić zależność zdolności wschodów, w tym oszacować wartość maksymalną, od głębokości umieszczenia ziarniaków w podłożu gleby lekkiej i ciężkiej o różnej gęstości objętościowej i wilgotności. Do obliczeń wykorzystano pakiet programów statystycznych Statistica 13.3.

W drugim etapie badań, których istotą metodyczną było doświadczenie polowe, porównywano rzeczywistą głębokość umieszczenia ziarna pszenicy ozimej z jej zakładaną wielkością: 1, 3 i 5 cm w glebie o zróżnicowanych właściwościach na polach, z których pobrano glebę do doświadczeń laboratoryjnych – RZD, Politechnika Bydgoska. Porównano również faktyczną polową zdolność wschodów (PZW) z oczekiwaną zdolnością wschodów oszacowaną regresyjnie na podstawie wyników badań laboratoryjnych. Siew wykonano maszyną MZURI PRO-TIL skonstruowaną według założeń projektowych uwzględniających m.in. automatyczną regulację głębokości pracy elementów roboczych oraz siłę nacisku kół kopiująco-zagęszczających glebę po siewie. Siłę docisku dobrano eksperymentalnie, tak aby uzyskać gęstość objętościową gleby łoża siewnego o miąższości 0–10 cm w przedziale $1,1\text{--}1,2\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ i $1,4\text{--}1,5\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Siew na poletkach stanowiących pasy pola uprawnego o długości 100 m i szerokości roboczej maszyny wykonywano, gdy wilgotność wierzchniej warstwy gleby lekkiej (0–7,5 cm) zarówno mniej, jak i bardziej zagęszczonej oraz gleby ciężkiej o gęstości objętościowej $1,1\text{--}1,2\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, wynosiła 8–12%, a gleby ciężkiej o gęstości objętościowej $1,4\text{--}1,5\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ – 18–22% (mierzona aparatem FieldScout TDR 350). Na obu polach o zróżnicowanej kategorii agronomicznej gleby (2 obiekty), różnej jej gęstości objętościowej (2 obiekty) stosowano oczekiwaną, wyliczoną regresyjnie głębokość siewu (3 obiekty), a każdy obiekt powtórzono 4-krotnie – poletka. Na wszystkich poletkach oceniono głębokość umieszczenia ziarna pszenicy w 10 losowych punktach. Do oceny istotności różnicy między rzeczywistą średnią głębokością umieszczenia ziaren pszenicy w glebie oraz rzeczywistą PZW a wielkościami zakładanymi użyto test t-Studenta na poziomie istotności $p = 0,05$.

WYNIKI BADAŃ

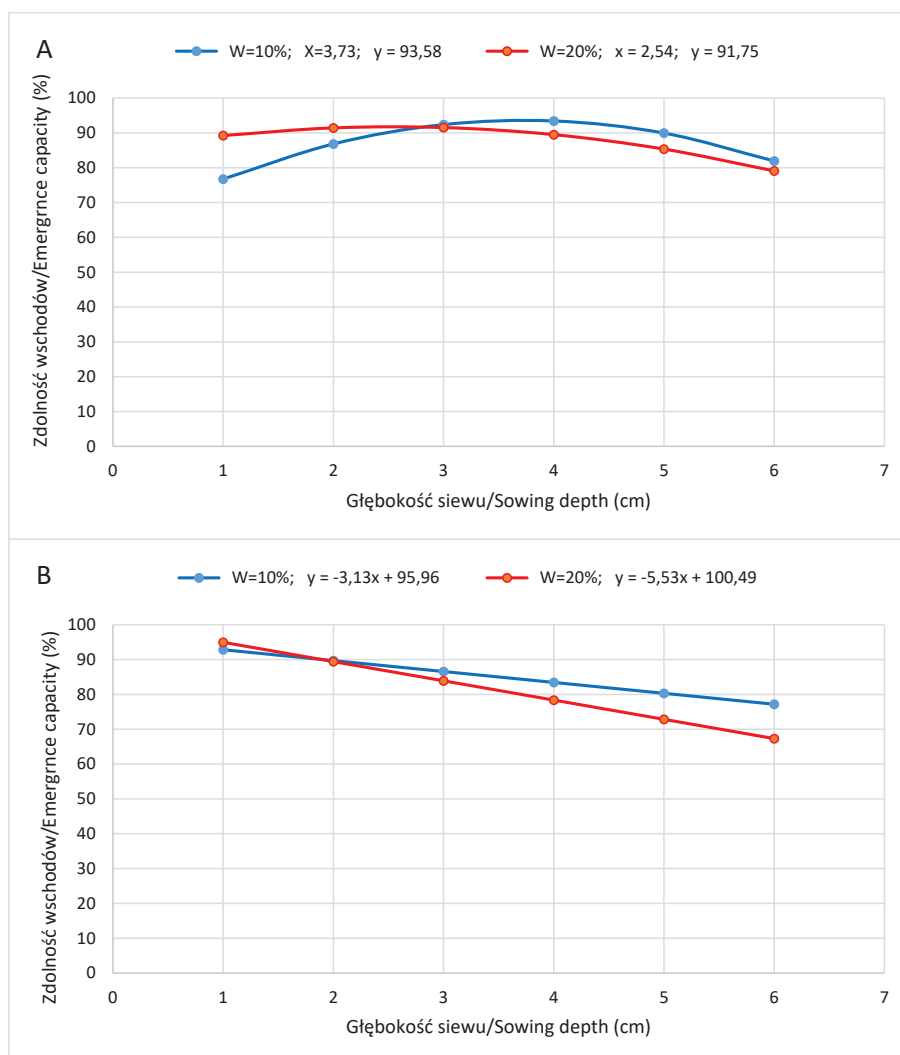
Na podstawie wyników rachunku regresji stwierdzono, że w testach laboratoryjnych maksymalne wschody pszenicy ozimej w podłożu gleby lekkiej, o gęstości objętościowej $1,15\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ i wilgotności 10%, miały miejsce po umieszczeniu ziaren na głębokości 4,19 cm (rys. 1A). Zwiększenie wilgotności tego podłoża w momencie siewu do 20% spowodowało, że maksymalna zdolność wschodów występowała przy płytszym o blisko 1 cm umieszczeniu ziaren w wazonach, tj. 3,20 cm (rys. 1A). W podłożu o większej gęstości objętościowej – $1,45\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ optymalna głębokość ich siewu dla uzyskania maksymalnej zdolności wschodów wyniosła w zależności od jego wilgotności, odpowiednio 10% i 20%, 3,75 cm oraz 2,40 cm (rys. 1B). Zależność zdolności wschodów od głębokości umieszczenia ziarna pszenicy w podłożu opisywana równaniami regresji drugiego stopnia wskazuje, że zarówno płytszy, jak i głębszy siew niż optymalny dla maksymalnych wschodów powodował zmniejszenie odsetka wschodzących roślin.

W podłożu gleby ciężkiej (rys. 2) niezależnie od jego wilgotności, ale o gęstości objętościowej $1,15\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ zdolność wschodów pszenicy była również funkcją kwadratową głębokości siewu (rys. 2A). Jej maksymalna wielkość dla wilgotności podłoża 10% oraz 20% wyniosła odpowiednio 93,58%, i 91,75% przy głębokości siewu 3,73 cm i 2,54 cm. Z kolei w podłożu gleby ciężkiej o dużym zagęszczeniu – $1,45\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ zdolność wschodów była tym większa im ziarno były płycej w nim posadowione w zakresie głębokości 1–6 cm (rys. 2B). Siew na głębokość 1 cm i 2 cm zapewniał wschody na poziomie powyżej 90%.



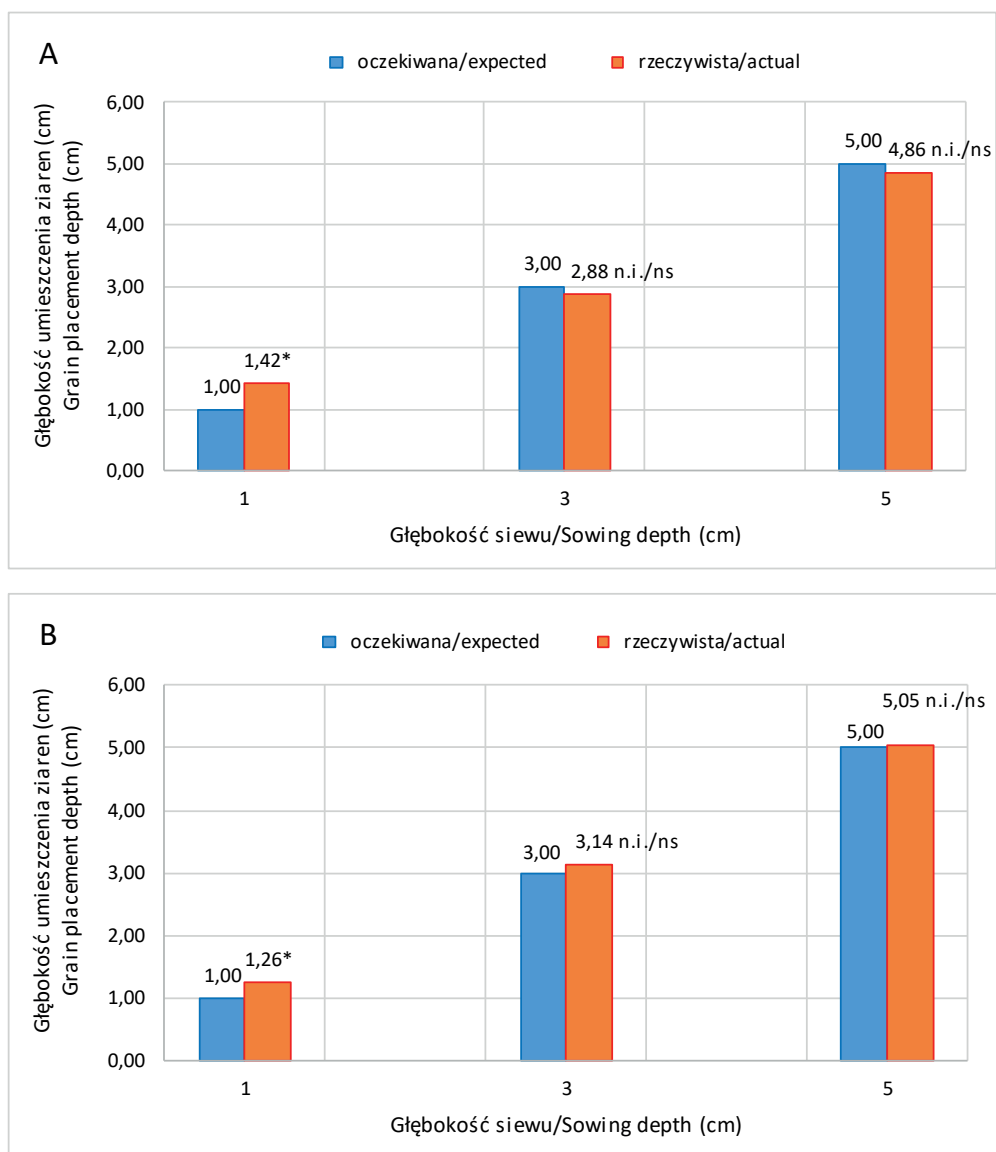
Rys. 1. Wschody pszenicy w podłożu gleby lekkiej o gęstości objętościowej 1,15 g·cm⁻³ (A) i 1,45 g·cm⁻³ (B) oraz wilgotności (W) 10 i 20% w zależności od głębokości siewu
 Fig. 1. Wheat emergence in light soil substrate with a bulk density of 1.15 g·cm⁻³ (A) and 1.45 g·cm⁻³ (B) and moisture content (W) of 10 and 20%, depending on sowing depth

W warunkach polowych rzeczywista głębokość umieszczenia ziaren pszenicy ozimej w glebie nie różniła się istotnie od wartości oczekiwanej, wynikającej z ustawienia maszyny, gdy redlice siewne pracowały na głębokości 3 cm i 5 cm w glebie lekkiej o gęstości objętościowej zarówno 1,1–1,2 g·cm⁻³ (rys. 3A), jak i 1,4–1,5 g·cm⁻³ (rys. 3B). Tylko przy siewie płytkim, na głębokość 1 cm, ziarno znajdowało się w glebie głębiej niż zakładano. Różnica ta wyniosła odpowiednio 0,42 cm w glebie o gęstości 1,1–1,2 g·cm⁻³ i 0,26 cm w glebie bardziej zagęszczonej (rys. 3).



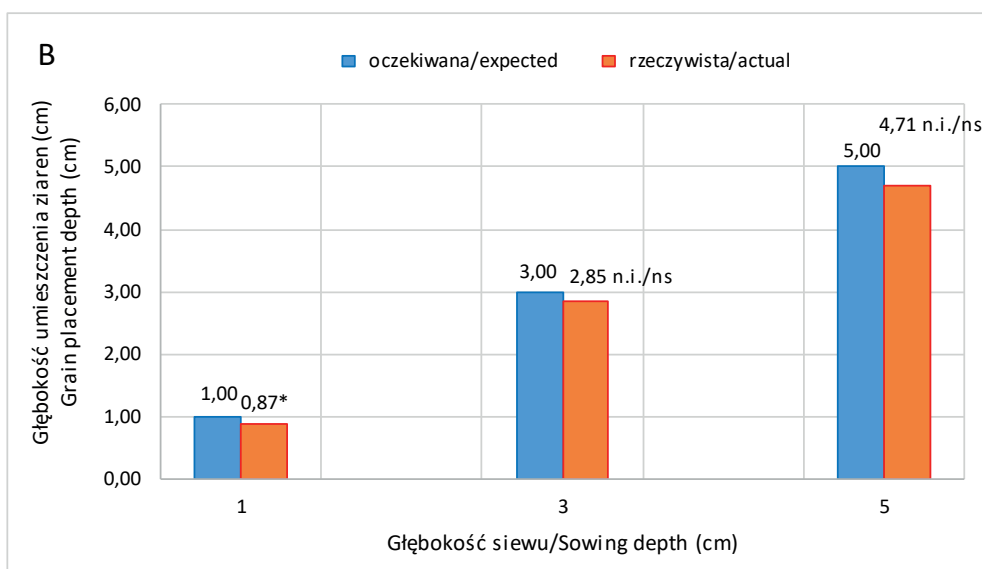
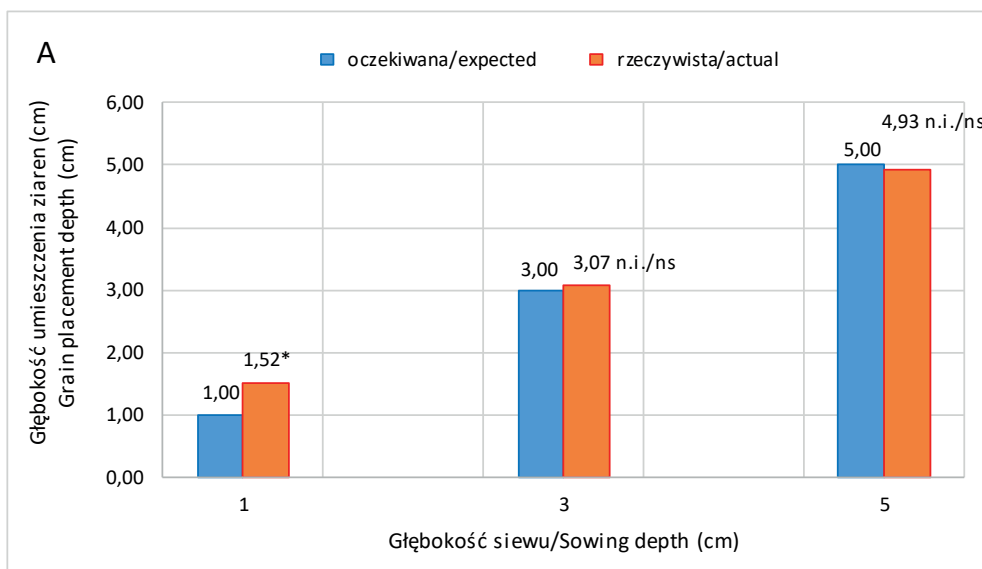
Rys. 2. Wschody pszenicy w podłożu gleby ciężkiej o gęstości objętościowej $1,15 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (A) i $1,45 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (B) oraz wilgotności (W) 10 i 20% w zależności od głębokości siewu
 Fig. 2. Wheat emergence in heavy soil substrate with a bulk density of $1.15 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (A) and $1.45 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (B) and moisture content (W) of 10 and 20%, depending on sowing depth

Podobnie na glebie ciężkiej, niezależnie od jej zagęszczenia, przy siewie na głębokość 3 cm i 5 cm rzeczywista głębokość umieszczenia ziarna nie odbiegała istotnie od wielkości oczekiwanej (rys. 4). Natomiast przy siewie na głębokość 1 cm w glebie o gęstości objętościowej $1,1\text{--}1,2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ziarno było umieszczone głębiej o 0,52 cm (rys. 4A), a w glebie o gęstości $1,4\text{--}1,5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ płycej o 0,13 cm niż zakładano (rys. 4B).

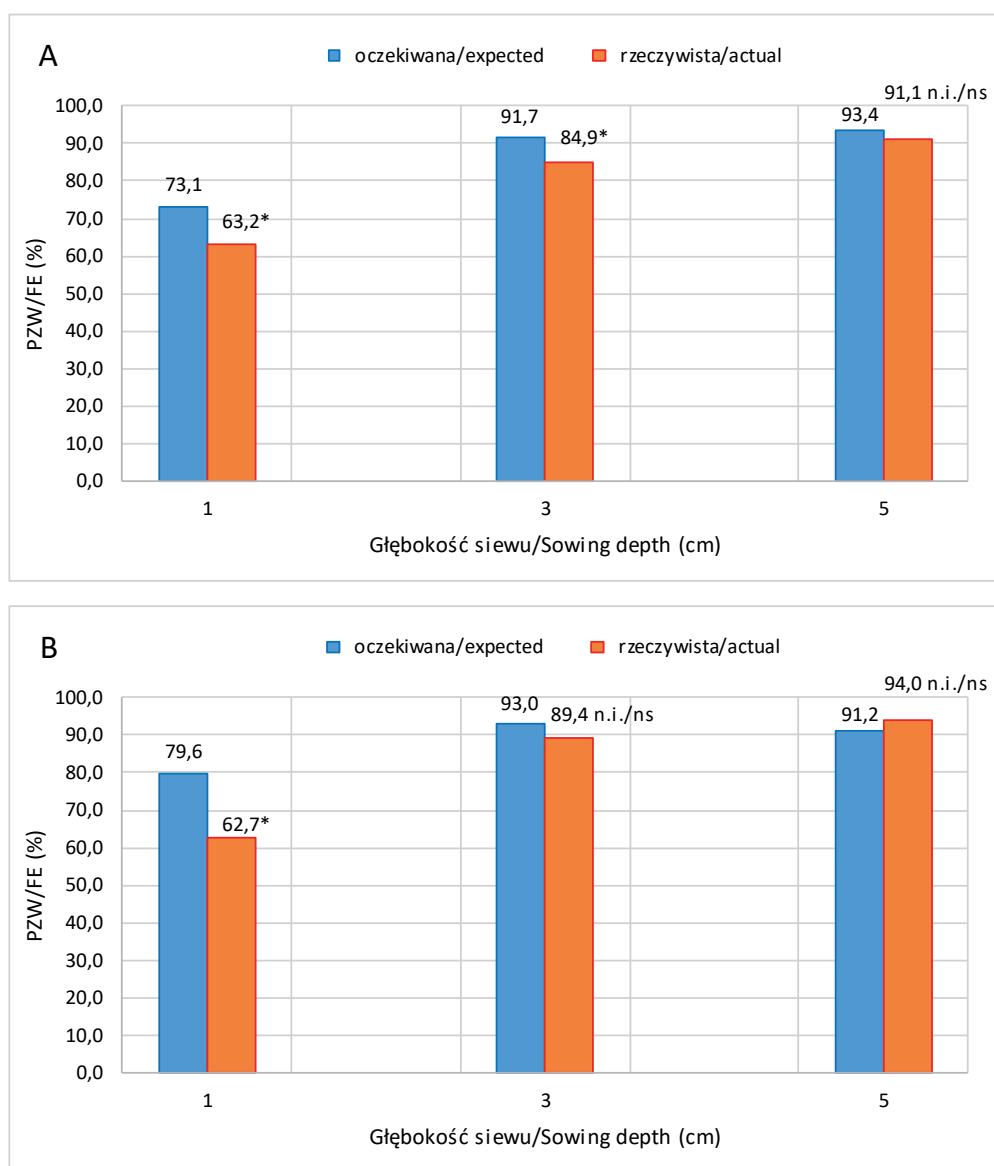


Rys. 3. Głębokość umieszczenia ziaren pszenicy ozimej w glebie lekkiej o gęstości objętościowej 1,1–1,2 g·cm⁻³ (A) i 1,4–1,5 g·cm⁻³ (B) w zależności od głębokości siewu

Fig. 3. Winter wheat seed placement depth in light soil with a bulk density of 1.1–1.2 g·cm⁻³ (A) and 1.4–1.5 g·cm⁻³ (B), depending on sowing depth



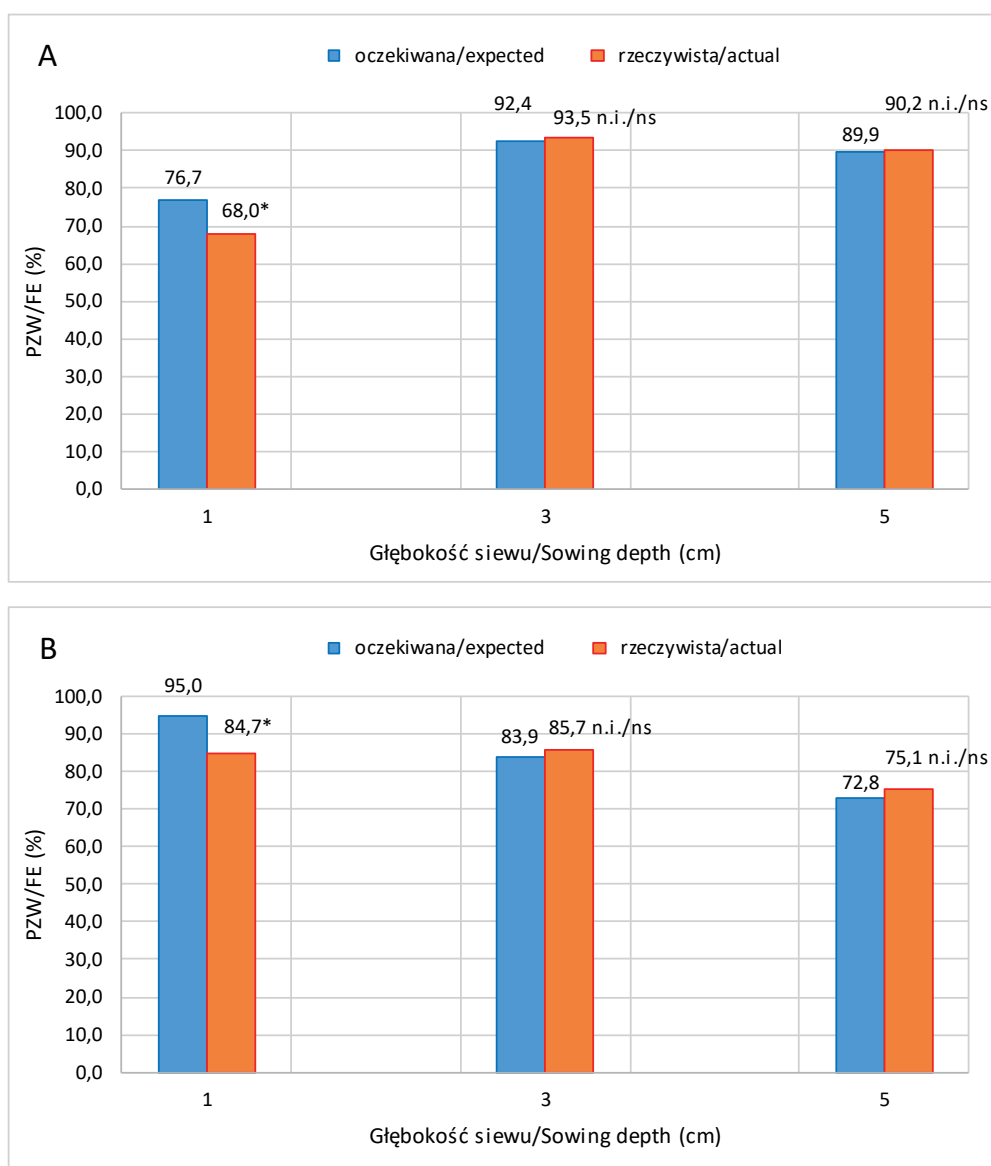
Rys. 4. Głębokość umieszczenia ziaren pszenicy ozimej w glebie ciężkiej o gęstości objętościowej 1,1–1,2 g·cm⁻³ (A) i 1,4–1,5 g·cm⁻³ (B) w zależności od głębokości siewu
 Fig. 4. Winter wheat seed placement depth in heavy soil with a bulk density of 1.1–1.2 g·cm⁻³ (A) and 1.4–1.5 g·cm⁻³ (B), depending on sowing depth



Rys. 5. Polowa zdolność wschodów (PZW) pszenicy ozimej w glebie lekkiej o gęstości objętościowej 1,1–1,2 g·cm⁻³ (A) i 1,4–1,5 g·cm⁻³ (B) w zależności od głębokości siewu

Fig. 5. Field emergence (FE) of winter wheat in light soil with a bulk density of 1.1–1.2 g·cm⁻³ (A) and 1.4–1.5 g·cm⁻³ (B), depending on sowing depth

Siew głębszy, tj. na 3 cm i 5 cm, niezależnie od kategorii agronomicznej gleby i jej gęstości objętościowej, zapewniał połowę zdolność wschodów pszenicy ozimej na poziomie wielkości wynikających z równań regresji wyznaczonych na podstawie wyników badań laboratoryjnych (rys. 5 i 6). Wyjątkiem była gleba lekka o gęstości 1,1–1,2 g·cm⁻³ (rys. 5A), gdzie przy głębokości siewu 3 cm rzeczywista PZW pszenicy ozimej była istotnie, o 6,8 punktów procentowych mniejsza



Rys. 6. Polowa zdolność wschodów (PZW) pszenicy ozimej w glebie ciężkiej o gęstości objętościowej 1,1–1,2 g·cm⁻³ (A) i 1,4–1,5 g·cm⁻³ (B) w zależności od głębokości siewu

Fig. 6. Field emergence (FE) of winter wheat in heavy soil with a bulk density of 1.1–1.2 g·cm⁻³ (A) and 1.4–1.5 g·cm⁻³ (B), depending on sowing depth

od zakładanej. Podobnie, istotnie mniejsza PZW od oszacowanej regresyjnie miała miejsce we wszystkich testowanych warunkach glebowych, gdy wykonywano siew płytki na głębokość 1 cm (rys. 5 i 6). Maksymalna różnica jej wielkości w stosunku do oczekiwanej wyniosła 16,9 p.p. – w glebie lekkiej, o gęstości 1,4–1,5 g·cm⁻³ (rys. 5B).

DYSKUSJA

Duża liczba badań w różnych regionach świata dotyczących optymalizacji parametrów siewu, często połączonego z uprawą gleby, wskazuje na wagę tego zagadnienia, które wynika m.in. z ukierunkowania współczesnego rolnictwa na systemy zrównoważone, konserwujące i regeneratywne. Badania te dotyczą często maszyn i/ lub ich elementów roboczych pracujących w warunkach obecności dużej ilości resztek roślinnych na powierzchni pola i w wierzchniej warstwie gleby w efekcie rezygnacji z orki [Jiang i in. 2021, Karayel i in. 2024]. Zainteresowanie tematem w pełni uzasadnia przeprowadzenie badań własnych, w których podobnie jak w pracy Qi i in. [2025] szczególną uwagę zwrócono na zróżnicowanie warunków wschodów i początkowego wzrostu roślin w łożu siewnym kształtowanym przez resztki roślinne i zmienne zagęszczenie gleby w warunkach uprawy bezplużnej.

Przeprowadzone badania wpisują się również w nurt aktualnych prac dotyczących cyfryzacji i automatyzacji maszyn rolniczych w zakresie regulacji parametrów ich pracy, m.in. głębokości siewu [Iqbal i in. 2022]. Działania te obejmują także maszyny do pasowej uprawy roli i siewu, których warunki pracy, chociażby ze względu na dużą ilość resztek roślinnych w łożu siewnym [Wang i in. 2023] i jednoczesną aplikację nawozów mineralnych [Shargorodskiy i Halanskyi 2024], często odbiegają od warunków pracy maszyn w systemach konwencjonalnych. Nowy model inteligentnej maszyny do uprawy pasowej MZURI PRO-TIL, wyposażony w czujniki monitorujące właściwości gleby, umożliwi automatyczną kontrolę głębokości spulchniania gleby i siewu nasion oraz siły nacisku koła kopiująco-zagęszczającego glebę [Jaskulski i in. 2025]. Możliwość wykorzystania zbieranych danych lub informacji zawartych na mapach i właściwa reakcja systemów regulujących parametry pracy maszyny w czasie rzeczywistym wymaga jednak odpowiednich algorytmów. Ich budowie służą z kolei badania eksperymentalne określające optymalne parametry, jak np. wskaźnik wschodów w danych warunkach wilgotności gleby czy jej gęstości objętościowej [Sun i in. 2023].

Sposób określania optymalnej głębokości umieszczania ziarna pszenicy ozimej w glebie poprzez doświadczenia laboratoryjne oraz polowe jest powszechnie stosowany i takie postępowanie przyjęto także w badaniach własnych. Często w obu rodzajach eksperymentów wykorzystuje się tę samą glebę, ukształtowaną w konkretnych warunkach siedliskowych i produkcyjnych pól uprawnych. Właściwości takiej gleby wskazują kierunek prac zmierzających do ich odtworzenia w warunkach laboratoryjnych, a z kolei wyniki badań w warunkach kontrolowanych inspirować do planowania szczegółowych doświadczeń polowych [Schillinger i in. 2017].

Wcześniejsze badania nad optymalizacją głębokości siewu zbóż, na przykładzie jęczmienia jarego [Håkansson i in. 2011b], wskazują na bardzo złożone zależności między wschodami rośliny zbożowej a wilgotnością i zagęszczeniem gleby zarówno bezpośrednio łoża siewnego, jak i warstw niżej położonej oraz przykrywającej ziarno. Cytowani autorzy stwierdzili m.in., że ziarno umieszczone na zagęszczonej glebie o wilgotności minimum 5% (w/w), przykryte nawet 4-centymetrową warstwą gleby luźnej o agregatach < 5 mm i zawartości wody poniżej punktu wędnięcia, znajduje korzystne warunki do kiełkowania i wschodów. Natomiast jeżeli gleba na głębokości 4 cm ma mniejszą wilgotność lub łożo siewne zawiera agregaty o większej średnicy, to głębokość siewu powinna być większa. Z kolei w przypadku gleby bardziej wilgotnej głębokość umieszczenia ziarna należy zmniejszyć.

Dalsze badania autorów [Håkansson i in. 2011c], w jeszcze większym stopniu zbliżone do badań własnych nad modelowaniem głębokości siewu pszenicy ozimej, dotyczyły zagęszczenia (ugniatania) gleby położonej również nad wysianym ziarnem. Ich wyniki wskazują, że ugniatanie gleby (większa gęstość objętościowa) miało pozytywny wpływ na wschody, gdy wilgotność

powierzchniowej warstwy gleby była poniżej punktu wędnięcia. Natomiast w przypadku, gdy wilgotność wierzchniej warstwy gleby była większa, jej zagęszczanie drastycznie ograniczało wschody. Negatywny wpływ dużego zagęszczenia gleby, zwłaszcza mokrej, na wschody uwiadczał się szczególnie przy głębokim siewie wydłużającym okres wschodów. Wówczas na powierzchni wysychającej gleby tworzyła się skorupa glebowa, a na jej uniknięcie pozwalało trwałe utrzymywanie dużej wilgotności, np. przez nawadnianie lub wskutek naturalnych opadów. W badaniach własnych właściwości łoża siewnego w całej jego warstwie kształtowano bezpośrednio przed i w momencie siewu, które dalej oddziaływały na wschody pszenicy w interakcji z głębokością umieszczenia jej ziaren w glebie. Podobnie jak w cytowanych eksperymentach stwierdzono, że dla maksymalizacji zdolności wschodów najpłytszy siew jest konieczny na glebie ciężkiej, zagęszczonej i mokrej. W takim podłożu siew głębszy niż 4 cm spowodował spadek zdolności wschodów poniżej 80%. Podobne skutki wystąpiły przy bardzo płytkim umieszczeniu ziaren – 1 cm w podłożu luźnym, niezagęszczonym ($1,15 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) i przesuszonym (10% obj.) już w momencie siewu.

O istotnym wpływie warunków glebowych generowanych przez sposób przygotowania łoża siewnego (orka, brona talerzowa, brona rotacyjna) z różną ilością i rodzajem resztek roślinnych oraz głębokość siewu do 7 cm na kiełkowanie i wschody pszenicy w badaniach polowych wskazują Ghiță i in. [2025]. W tak przygotowanych warunkach glebowych zdolność wschodów 50% ziaren nie przekroczyła 82% i była znacznie mniejsza od oczekiwanej. W wielu badaniach oceniających wpływ nowych technologii i maszyn czy ich elementów roboczych na równomierność głębokości siewu i rozmieszczenia nasion często wykorzystuje się współczynnik zmienności tych cech [Wang i in. 2022]. W niniejszym opracowaniu użyto test t-studenta do porównania średniej wielkości rzeczywistej głębokości umieszczenia ziaren pszenicy ozimej w glebie oraz polowej zdolności wschodów z wielkościami zakładanymi, a wynikającymi z badań laboratoryjnych. Na tej podstawie stwierdzono, że na ogół tylko siew najpłytszy w zakresie 1–5 cm nie pozwalał zachować przyjętej głębokości siewu i prowadził do pogorszenia wschodów pszenicy.

WNIOSKI

1. Zdolność wschodów pszenicy ozimej w zależności od głębokości umieszczenia ziarna w podłożu gleby lekkiej i ciężkiej o różnym stopniu zagęszczenia i wilgotności jest opisywana równaniami regresji drugiego stopnia, z wyjątkiem gleby ciężkiej o gęstości objętościowej $1,45 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ dla której zależność ma charakter liniowy.
2. Optymalna głębokość umieszczenia ziarna pszenicy ozimej w podłożu, dla maksymalnej zdolności wschodów, wyniosła w zależności od jego właściwości fizycznych od 1 cm – w glebie ciężkiej o zagęszczeniu $1,45 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, niezależnie od wilgotności, do 4,19 cm – w glebie lekkiej o gęstości objętościowej $1,15 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ i wilgotności 10%.
3. Maszyna pracująca w technologii strip-till one pass pozwala zachować zakładaną głębokość siewu 3 i 5 cm w zróżnicowanych warunkach glebowych – różniących się kategorią agronomiczną, gęstością objętościową, wilgotnością.
4. Siew na głębokość 3 i 5 cm gwarantował połowę zdolność wschodów zgodną z oszacowaną regresyjnie na podstawie badań laboratoryjnych. Siew płytki – 1 cm, niezależnie od warunków glebowych, prowadził do zmniejszenia PZW nawet o 16,9 punktów procentowych.

PIŚMIENNICTWO

- Chen F., Yang L., Cui T., Zhang D., He X., Zhang K., Li Z. 2025. Influence of the forward direction surface slope on the sowing depth operation performance of the mechanical profiling maize seeder. *Soil Tillage Res.* 252, art. no. 106600.
- Chen Q., Zhang X., Sun L., Ren J., Yuan Y., Zang S. 2021. Influence of tillage on the Mollisols physicochemical properties, seed emergence and yield of maize in Northeast China. *Agriculture* 11(10), art. no. 939.
- Conceição L.A., Barreiro P., Dias S., Garrido M., Valero C., da Silva J.M. 2016. A partial study of vertical distribution of conventional no-till seeders and spatial variability of seed depth placement of maize in the Alentejo region, Portugal. *Precision Agric.* 17: 36–52.
- Gautam P.V., Kushwaha H.L., Kumar A., Kushwaha D.K. 2019. Mechatronics application in precision sowing: A review. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 8: 1793–1807.
- Ghiță D.E., Sărăcin I., Glodeanu M., Boruz S., Sărăcin A., Constantinescu E. 2025. The influence of agricultural tillage systems and sowing depth on the degree of wheat emergence. *Ann. Univ. Craiova-Agric. Mont. Cadastre Ser.* 55(1): 286–293.
- Håkansson I., Arvidsson J., Keller T., Rydberg T. 2011a. Effects of seedbed properties on crop emergence: 1. Temporal effects of temperature and sowing depth in seedbeds with favourable properties. *Acta Agric. Scand. Sect. B Soil Plant Sci.* 61(5): 458–468.
- Håkansson I., Arvidsson J., Rydberg T. 2011b. Effects of seedbed properties on crop emergence: 2. Effects of aggregate size, sowing depth and initial water content under dry weather conditions. *Acta Agric. Scand. Sect. B Soil Plant Sci.* 61(5): 469–479.
- Håkansson I., Rydberg T., Keller T., Arvidsson J. 2011c. Effects of seedbed properties on crop emergence: 3. Effects of firming of seedbeds with various sowing depths and water contents. *Acta Agric. Scand. Sect. B Soil Plant Sci.* 61(8): 701–710.
- Heege H.J. 2013. Site-Specific Sowing. In: Heege H. (eds). *Precision in crop farming*. Springer, Dordrecht.
- Iqbal T., Ghaffar A.M., ur Rehman U., Saeed Y., Aqib M., Iqbal F., Saleem S.R. 2022. Development of real time seed depth control system for seeders. *Environ. Sci. Proc.* 23(1), art. no. 7.
- Jaskulski D., Jaskulska I., Różniak E., Radziemska M., Klik B., Brtnický M. 2025. Smart strip-till one-pass machine: Winter wheat sowing accuracy assessment. *Agriculture* 15(4), art. no. 411.
- Jiang S., Wang Q., Zhong G., Tong Z., Wang X., Xu J. 2021. Brief review of minimum or no-till seeders in China. *AgriEngineering* 3(3): 605–621.
- Kanno N., Kumar V., Kato Y. 2026. Deep sowing accelerates rice emergence under water deficit: field experiments and model development. *Plant Soil* 518: 525–539.
- Karayel D., Jotautienė E., Šarauskis E. 2024. The effect of furrow opener and disc coulter configurations on seeding performance under different residue cover densities. *AgriEngineering* 6(2): 1277–1288.
- Lamichhane J.R., Debaeke P., Steinberg C., You M.P., Barbetti M.J., Aubertot J.N. 2018. Abiotic and biotic factors affecting crop seed germination and seedling emergence: a conceptual framework. *Plant Soil* 432(1): 1–28.
- Lykhochvor V.V., Olifir Y.M., Tyrus M.L., Panasiuk R.M., Ivaniuk V.Y. 2022. Ecologization of winter wheat growing technology according to optimization of sowing depth. *Ukr. J. Ecol.* 12(1): 1–5.
- Masilamani P., Venkatesan S., Navamaniraj K.N., Rajarathinam P., Alagesan A., Thiagu K. 2023. Impact of the orientation of seed placement and depth of its sowing on germination: A review. *J. Appl. Nat. Sci.* 15: 314–324.
- Mollard F.P., Naeth M.A., Cohen-Fernandez A. 2014. Impacts of mulch on prairie seedling establishment: facilitative to inhibitory effects. *Ecol. Eng.* 64: 377–384.
- Munnaf M.A., Haesaert G., Van Meirvenne M., Mouazen A.M. 2020. Site-specific seeding using multi-sensor and data fusion techniques: A review. *Adv. Agron.* 161: 241–323.
- Nandi K., Mahata D., Saha S., Rai A., Bandyopadhyay S. 2018. Sowing attributes and phenological effects on productivity of wheat: a review. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 7: 3327–3332.
- Qi J., Bao Z., Guo L., Tian X., Li M. 2025. Optimizing seedbed properties and maize emergence: Synergistic effects of straw return and soil compaction. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 25: 8585–8600.
- Romaneckas K., Steponavičius D., Jasinskas A., Kazlauskas M., Naujokienė V., Bručienė I., Švereikaitė A., Šarauskis E. 2022. How to analyze, detect and adjust variable seedbed depth in site-specific sowing systems: A case study. *Agronomy* 12(5), art. no. 1092.
- Schillinger W.F., Schofstoll S.E., Smith T.A., Jacobsen J.A. 2017. Laboratory method to evaluate wheat seedling emergence from deep planting depths. *Agron. J.* 109: 2004–2010.

- Serafin-Andrzejewska M., Helios W., Jama-Rodzeńska A., Kotecki A., Kozak M., Zarzycki P., Kaliska B. 2022. Effect of the depth and rate of sowing on the yield and yield components of determinate and indeterminate faba beans (*Vicia faba* var. *minor* L.) cultivars under conditions of Southwestern Poland. *Agron. Sci.* 77(3): 27–40.
- Shargorodskiy S., Halanskyi V. 2024. Justification of construction and technological parameters of the strip-till section for strip tillage with the application of fertilizers. *Eng. Energy Trans. AIC* 1(124): 47–55.
- Shi Y., Wang X., Hu Z., Gu F., Wu F., Chen Y. 2021. Optimization and experiment on key structural parameters of no-tillage planter with straw-smashing and strip-mulching. *Int. J. Agr. Biol. Eng.* 14(3): 103–111.
- Sułek A., Ogórkiewicz M. 2020. Impact of sowing depth and seed size on the dynamics of germination and productivity of spring wheat. *Pol. J. Agron.* 43: 63–69.
- Sun J., Yang L., Zhang D., Hu J., Cui T., He X., Zhao H. 2023. Development of a prediction model to determine optimal sowing depth to improve maize seedling performance. *Biosyst. Eng.* 234: 206–222.
- Wang B., Gu F., Hu Z., Wu F., Chen X., Luo W. 2022. Analysis and evaluation of influencing factors on uniform sowing of wheat with wide seed belt after sowing and soil throwing device. *Agriculture* 12(9), art. no. 1455.
- Wang Q., Wang B., Sun M., Sun X., Zhou W., Tang H., Wang J. 2023. Design and testing of an automatic strip-till machine for conservation tillage of corn. *Agronomy* 13(9), art. no. 2357.
- Yang C., Wang R., Tian C., Zhang D., Cheng H., Li X., Fang B., Jin H., Song H., Tian B., Wei F., Yan G. 2025. The adaptability of different wheat varieties to deep sowing in Henan province of China. *Agronomy* 15, art. no. 1466.

D. JASKULSKI, I. JASKULSKA, E. RÓŻNIAK

OPTIMIZATION OF WINTER WHEAT SOWING DEPTH IN STRIP-TILL TECHNOLOGY

Summary

Two-stage research on optimizing winter wheat sowing depth using strip-till technology was conducted between 2021 and 2023 at the Research and Development Center of the project leader, Agrotech, Mzuri World sp. z o. o., in Śmielin and the vegetation laboratory of the Bydgoszcz University of Science and Technology. The aim of the laboratory study was to determine the relationship between winter wheat emergence and the seed placement depth in light and heavy soil with varying bulk density (1.15 and 1.45 g·cm⁻³) and moisture content (10%, 20%). In the second stage, a field experiment, verified the actual seed placement depth and field emergence at sowing depths of 1, 3, and 5 cm with the values of these parameters calculated from regression equations developed based on the laboratory test results. It was found that the optimal seed placement depth for maximum emergence of winter wheat, depending on soil conditions, ranged from 1 cm (heavy soil with a bulk density of 1.45 g·cm⁻³) to 4.19 cm (light soil with a bulk density of 1.15 g·cm⁻³ and 10% moisture). Sowing performed using the Mzuri Pro-Til machine at a depth of 3 and 5 cm in strip-till one pass technology guaranteed field emergence in line with the regression estimates based on laboratory tests. Shallow sowing, i.e., 1 cm, regardless of soil conditions, reduced field emergence by up to 16.9 percentage points.

Key words: winter wheat, strip tillage, sowing depth, emergence, soil bulk density, soil moisture

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print:* 7.05.2026

Do cytowania – *For citation:*

Jaskulski D., Jaskulska I., Różniak E. 2026. Optymalizacja głębokości siewu pszenicy ozimej w technologii uprawy pasowej. *Fragm. Agron.* 43(1): 1–13.