



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

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

³ Instytut Inżynierii Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie,
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, Polska

*e-mail: darekjas@pbs.edu.pl

DARIUSZ JASKULSKI^{1*}, IWONA JASKULSKA¹,
EMILIAN RÓŻNIAK², MAJA RADZIEMSKA³

Efekty zmian konstrukcyjnych elementów roboczych maszyny do uprawy pasowej. Cz. II. Wzrost i plonowanie roślin, jakość plonów

The effects of design changes to the working elements of a strip-till machine.
Part II. Plant growth and yield, crop quality

Abstrakt. Postęp biologiczny i agrotechniczny w polowej produkcji roślinnej wymuszają nowe rozwiązania w budowie i eksploatacji maszyn rolniczych. Uprawa pasowa roli z jednoczesną aplikacją nawozu i siewem nasion wymaga specjalistycznych maszyn z elementami roboczymi dostosowanymi do warunków pracy. W wyniku badań i prac rozwojowych opracowano udoskonalone materiałowo i konstrukcyjnie zęby spulchniające glebę, aplikatory nawozów i redlice siewne hybrydowej maszyny pracującej w technologii jednego przejazdu. W doświadczeniach polowych oceniono efekty ich użycia w agrotechnice roślin ozimych i jarych. Określono wzrost, plonowanie i jakość plonów ozimych form pszenicy i rzepaku, a także jęczmienia jarego, grochu i kukurydzy. Plony tych roślin uprawianych z użyciem maszyny wyposażonej w innowacyjne elementy robocze były większe, w zależności od gatunku, o 2,7–6,9% od plonów z obiektów uprawianych maszyną standardową. Różnica plonów wynikała głównie z większej polowej zdolności wschodów roślin. Większe były również obsada roślin przed zbiorem i kłosów zbóż, a u kukurydzy masa ziarna z rośliny. Nasiona grochu uprawianego innowacyjną maszyną zawierały o 0,4 punktu procentowego więcej białka, a nasiona rzepaku o 0,4 p.p. tłuszczu niż nasiona roślin wysiewanych maszyną bez zmian konstrukcyjnych.

Słowa kluczowe: uprawa pasowa, elementy robocze maszyny, wschody roślin, plon, zawartość białka, zawartość tłuszczu

Cytowanie: Jaskulski D., Jaskulska I., Różniak E., Radziemska M., 2025. Efekty zmian konstrukcyjnych elementów roboczych maszyny do uprawy pasowej. Cz. II. Wzrost i plonowanie roślin, jakość plonów. *Agron. Sci.* 80(1), 37–50. <https://doi.org/10.24326/as.2025.5472>

WSTĘP

Rozwój technologii uprawy pasowej, zwłaszcza z jednoczesną aplikacją nawozów i siewem nasion, wymusza postęp w zakresie techniki rolniczej [Benincasa i in. 2017]. Rynek maszyn i narzędzi do uprawy roślin w technologii strip-till one-pass zarówno światowy, jak i polski sukcesywnie się zwiększa [Piechota 2017, Vaitauskienė i in. 2017]. Powstają nowe uniwersalne maszyny [Jaskulska i Jaskulski 2020], specjalistyczne rozwiązania dedykowane do uprawy określonych gatunków lub grup roślin [Mirzaev i in. 2022], narzędzia pozwalające na realizację tylko niektórych elementów technologii, np. spulchnianie pasów gleby bez jednoczesnego wysiewu nasion [Nadykto i in. 2023] czy jednocześnie uprawy i nawożenia [Mitev i Bratov 2017]. Ciągłym pracom rozwojowym podlegają również sekcje wysiewające nasiona [Melnyk i in. 2021]. Wiele prac nakierowanych jest na doskonalenie elementów roboczych spulchniających pasy gleby w warunkach dużej ilości resztek roślinnych [Kumar i in. 2023]. Konstruowane są nie tylko pojedyncze elementy czynne i bierne [Yang i in. 2023, Liu i in. 2024], ale również wieloelementowe zautomatyzowane sekcje uprawiające pasy gleby po uprzednim usunięciu materiału roślinnego. Sekcja taka, prezentowana przez Wang i in. [2023], składa się podstawowych elementów konstrukcyjnych, a ponadto z: elementu tnącego słomę, redlicy spulchniającej glebę, koła w kształcie litery V kruszącego spulchnioną glebę. W jej skład wchodzi także: skrzynka sterownicza, przewody przesyłowe, układ sterowania głębokością i szerokością pasa uprawianej gleby, automatyczny system czyszczenia rzędów. Z kolei sekcja Kuhn Gladiator 1200 umożliwiająca oprócz uprawy pasów gleby także aplikację nawozów składa się z: elementu tnącego resztki roślinne, dyskowej czyszczarki pasów gleby, zęba spulchniającego, aplikatora nawozów (stałe, płynne, gazowe), tarcz zamykających szczelinę spulchnionej gleby, łańcuchowych kół zagęszczających [Shargorodskiy i Halanskyi 2024].

Korzystne oddziaływanie uprawy pasowej, zwłaszcza one-pass, na właściwości gleby i warunki wzrostu roślin wynika z jej istoty. Głęboko spulchniane pasy gleby stanowią łącznie ok. 1/3 lub mniej powierzchni pola. Pozostała jego część, międzyrzędzia w łanie roślin, jest nienaruszona i przykryta resztkami roślinnymi przedplonu lub/i międzyplonu [Morris i in. 2010, Townsend i in. 2016]. Taki sposób przygotowania łoża siewnego i jednoczesna aplikacja nawozów oraz wysiew nasion w jednym przejeździe maszyny ogranicza erozję gleby i bezproduktywne straty wody [Tabatabaeekoloor 2011, Williams i in. 2016]. Prowadzi to do zwiększenia ilości materii organicznej w glebie, liczby i aktywności mikroorganizmów oraz dżdżownic [Leskovar i in. 2016, Jaskulska i in. 2020]. Tworzą się korzystne warunki dla polowej produkcji roślinnej. Plony roślin są często, choć nie zawsze, większe niż po klasycznej płużnej uprawie roli lub po uprawie bezpłużnej czy w siewie bezpośrednim [Cheng i in. 2024, Różewicz i in. 2024]. Ponadto technologia strip-till one-pass poprawia wynik ekonomiczny produkcji, gdyż pozwala ograniczyć nakłady i koszty paliwa, nawozów, materiału siewnego [Bojarszczuk i Książak 2023]. Dlatego technologia ta coraz częściej stosowana jest w agrotechnice wielu gatunków roślin rolniczych [Potratz i in. 2020, Jankowski i in. 2024] i ogrodniczych [Pieper i in. 2015].

Każda zmiana technologii, w tym użycie nowo konstruowanych maszyn lub ich elementów roboczych, wymaga sprawdzenia zakładanego korzystnego oddziaływania na wzrost i plonowanie roślin, co przyjęto jako hipotezę roboczą również w badaniach własnych. Podstawową metodą badawczą weryfikującą założenie o korzystnym wpływie technologii uprawy pasowej i używanych w niej maszynach na warunki i efekty polowej

uprawy roślin są doświadczenia polowe [Yang i in. 2018], a zwłaszcza eksperymenty wielokrotne i wieloletnie [Fernández i in. 2015]. Celem przeprowadzonych badań była ocena wpływu zmian konstrukcyjnych elementów roboczych maszyny do uprawy pasowej na wzrost, plonowanie i jakość plonów roślin ozimych – pszenica, rzepak i jarych – jęczmień, groch, kukurydza.

MATERIAŁ I METODY

Badania polowe wykonano w ramach prac eksperymentalnych projektu \$PB POIR.01.01.01-00-0910/17 realizowanego w latach 2018–2022. Efektem pierwszego etapu projektu, w tym badań przemysłowych, było opracowanie zęba spulchniającego glebę z aplikatorem nawozów granulowanych oraz redlicy wysiewającej nasiona do maszyny Mzuri, modelu Pro-Til 4T oraz Pro-Til 6T XZACT (ryc. 1). Założenia konstrukcyjne i użyte materiały zagwarantowały mniejsze opory i dłuższą żywotność podczas pracy w glebie, zwłaszcza z dużym udziałem frakcji piasku w uziarnieniu w porównaniu ze standardowymi elementami roboczymi. Innowacja dotyczyła m.in. szerokości wymienionych skrzydeł zębów spulchniających glebę, utwardzania węglikiem spiekany powierzchnie roboczych zębów i redlic, regulowanej kierownicy aplikatora nawozów, co szczegółowo przedstawiono w pierwszej części opracowania.



Ryc. 1. Widok ogólny zęba spulchniającego z aplikatorem nawozów (z lewej)
i redlicą wysiewającą nasiona (z prawej)

Fig. 1. General view of the loosening tine with fertiliser applicator (left) and the seed sowing coulter (right)

W cyklach uprawy roślin 2019/2020 i 2020/2021 wykonano testy w formie doświadczeń polowych w celu porównania wzrostu i plonowania roślin uprawianych w technologii strip-till one-pass przy użyciu maszyny wyposażonej w innowacyjne elementy robocze i maszyny standardowej. Doświadczenia zlokalizowano w Centrum Badawczo-Rozwojowym firmy Agro-Land w Śmielinie (woj. kujawsko-pomorskie, Polska, 53°09'04.0"N, 17°29'10.7"E). Obszar ten objęty jest klimatem klasyfikowanym przez Köppena–Geigera [Peel i in. 2007] jako Dfb, czyli zimny, bez pory suchej z ciepłym latem. Miesięczne sumy opadów i średnią temperaturę powietrza w latach badań polowych na tle wielolecia przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Miesięczne sumy opadów i średnia temperatura powietrza w latach badań polowych i w wieloleciu

Table 1. Monthly precipitation totals and average air temperature in the years of field studies and in the many-year period

Miesiąc/Month	2019	2020	2021	Wielolecie Many-year
Opady/ Precipitation (mm)				
Styczeń/January	32,6	37,7	28,3	26,8
Luty/February	18,1	36,0	0,8	20,7
Marzec/March	28,8	26,1	21,7	31,9
Kwiecień/April	1,5	0,7	30,7	27,0
Maj/May	89,2	34,2	75,2	49,3
Czerwiec/June	17,7	142,0	30,1	52,8
Lipiec/July	22,4	67,2	61,7	69,8
Sierpień/August	37,7	114,4	38,1	62,6
Wrzesień/September	98,5	66,7	23,0	46,0
Październik/October	35,9	72,9	32,4	31,5
Listopad/November	69,6	12,4	40,8	32,4
Grudzień/December	21,1	33,8	38,2	34,0
Temperatura powietrza/ Air temperature (°C)				
Styczeń/January	−0,7	2,6	−1,1	−1,8
Luty/February	2,6	3,6	−1,8	−0,9
Marzec/March	5,4	3,9	3,7	2,5
Kwiecień/April	9,3	8,2	6,2	7,9
Maj/May	12,1	11,2	12,2	13,3
Czerwiec/June	21,9	17,9	20,1	16,1
Lipiec/July	18,6	18,3	20,9	18,6
Sierpień/August	19,7	19,9	17,4	17,9
Wrzesień/September	13,5	15,1	14,6	13,1
Październik/October	9,8	10,5	9,6	8,2
Listopad/November	5,5	6,0	5,3	2,9
Grudzień/December	2,7	1,8	−1,1	−0,6

W obu latach badań każdą roślinę (pszenica ozima, rzepak ozimy, jęczmień jary, groch siewny, kukurydza) wysiewano na plantacjach (każda o powierzchni min. 10 ha). W obrębie każdej plantacji wyznaczano pasy (bloki) w sześciu powtórzeniach, w których wysiewano daną roślinę naprzemiennie po dwie szerokości robocze maszyny z innowacyjnymi i standardowymi elementami roboczymi. Maszyny współpracowały z ciągnikiem rolniczym Claas Axion 850. Do zbioru wyznaczono pasy o jednakowej długości, tj. odpowiednio do gatunku uprawianej rośliny: 450 m, 400 m, 350 m, 300 m i 500 m. Zbiór wykonano kombajnem Claas Lexion 650. W obrębie każdego powtórzenia wszystkich obiektów doświadczalnych wyznaczono losowo 3 miejsca do ocen biometrycznych. Po wschodach na podstawie obsady roślin określono połowę zdolność wschodów, a przed zbiorem obsadę roślin – rzepak, groch, kukurydza oraz obsadę kłosów – pszenica, jęczmień. Bezpośrednio przed zbiorem z tych miejsc pobrano po 20 roślin w celu oceny masy nasion/ziarna z rośliny – rzepak, groch, kukurydza lub z kłosa – pszenica, jęczmień. Ocenę zawartości białka w ziarnie/nasionach oraz tłuszczu w nasionach rzepaku określono w próbkach pobranych z plonu ogólnego w trakcie zbioru. Analizę wykonano aparatem Foss Infratec Nova wykorzystującym absorpcję promieniowania bliskiej podczerwieni.

Wyniki opracowano matematycznie i statystycznie, oddzielnie dla każdej rośliny. Wykonano analizę wariancji według modelu właściwego dla doświadczeń jednoczynnikowych w układzie losowanych bloków, z sześcioma powtórzeniami obiektów. Do oceny istotności różnic między średnimi obiektowymi użyto testu Tukeya przy $p = 0,05$. Grupy jednorodnych wyników zaznaczono takimi samymi literami (a, b). Do analizy wykorzystano program Statistica 12 [TIBCO Software INC, 2017]. Ponadto średnie wyniki z lat badań wyrażono w jednostkach względnych (%). Miara efektu zmian konstrukcyjnych elementów roboczych maszyny była procentowa różnica (+/-) wielkości poszczególnych cech biometrycznych roślin względem wielkości właściwej dla maszyny standardowej, którą przyjęto jako 100%.

WYNIKI BADAŃ

Użycie zmodyfikowanych zębów spulchniających pasy gleby i aplikujących nawozy oraz redlic wysiewających nasiona w maszynie do uprawy pasowej spowodowało średnio w latach badań 11,5% poprawę polowej zdolności wschodów pszenicy ozimej. Większa o blisko 7% obsada kłosów skutkowała ponad 3-procentowym wzrostem plonu ziarna, który w drugim roku badań był istotnie większy od uzyskanego przy wykorzystaniu maszyny standardowej (tab. 2).

Korzystny wpływ innowacyjnych elementów roboczych maszyny ujawnił się również w obsadzie roślin rzepaku ozimego. Zarówno połowa zdolność wschodów, jak i obsada roślin przed zbiorem były w obu latach badań istotnie większe niż po siewie maszyną standardową. Względne zwiększenie wielkości tych cech wyniosło odpowiednio 9,6% i 12,3% (tab. 3). Skutkiem tych zmian był istotnie większy plon nasion w porównaniu z rzepakiem ozimym uprawianym przy użyciu maszyny z niezmienionymi konstrukcyjnie zębami spulchniająco-aplikującymi i redlicami siewnymi.

Tabela 2. Efekt zmiany elementów roboczych maszyny do uprawy pasowej
w agrotechnice pszenicy ozimej
Table 2. The effect of changing the working elements of the strip tillage machine
in the agrotechnics of winter wheat

Cecha Feature	Jednostka Unit	Elementy robocze Working elements	Rok badań/ Year of research		
			pierwszy first	drugi second	średnio average
Polowa zdolność wschodów Field emergence capacity	%	ST-WP	83,6 ^{a*}	82,5 ^a	+11,5
		ST-T	79,6 ^a	69,3 ^b	100,0
Obsada kłosów Ear density	szt. · m ⁻²	ST-WP	689,8 ^a	633,0 ^a	+6,8
		ST-T	643,4 ^b	595,3 ^b	100,0
Masa ziarna z kłosa Grain weight per ear	g	ST-WP	1,22 ^a	1,35 ^a	+0,8
		ST-T	1,19 ^a	1,36 ^a	100,0
Plon ziarna Grain yield	t · ha ⁻¹	ST-WP	8,11 ^a	8,43 ^a	+3,4
		ST-T	7,92 ^a	8,07 ^b	100,0
Zawartość białka w ziarnie Protein content in grain	g · kg ⁻¹	ST-WP	133,0 ^a	127,0 ^a	-0,8
		ST-T	133,0 ^a	128,0 ^a	100,0

ST-WP – zmodyfikowane elementy robocze maszyny/ modified working elements of the machine

ST-T – standardowe elementy robocze maszyny/ standard working elements of the machine

* różne litery (a, b) przy średnich wartościach w kolumnach oznaczają istotne zróżnicowanie danej cechy (p = 0,05)/
different letters (a, b) at the average values in the columns indicate significant differences in a given feature
(p = 0.05)

Tabela 3. Efekt zmiany elementów roboczych maszyny do uprawy pasowej
w agrotechnice rzepaku ozimego
Table 3. The effect of changing the working elements of the strip tillage machine
in the agrotechnics of winter rape

Cecha Feature	Jednostka Unit	Elementy robocze Working elements	Rok badań/ Year of research		
			pierwszy first	drugi second	średnio average
Polowa zdolność wschodów Field emergence capacity	%	ST-WP	85,1 ^a	81,9 ^a	+9,6
		ST-T	78,0 ^b	74,3 ^b	100,0
Obsada roślin przed zbiorem Plant density before harvest	szt. · m ⁻²	ST-WP	41,3 ^a	35,5 ^a	+12,3
		ST-T	36,5 ^b	31,6 ^b	100,0
Masa nasion z rośliny Seed weight per plant	g	ST-WP	9,73 ^a	15,22 ^a	0,0
		ST-T	9,76 ^a	15,20 ^a	100,0
Plon nasion Seed yield	t · ha ⁻¹	ST-WP	3,64 ^a	4,22 ^a	+6,2
		ST-T	3,46 ^b	3,94 ^b	100,0
Zawartość tłuszczu w nasionach Fat content in seeds	g · kg ⁻¹	ST-WP	402,0 ^a	423,0 ^a	+1,0
		ST-T	400,0 ^a	418,0 ^a	100,0

Objaśnienia jak w tab. 2./ Explanation as in tab. 2.

Nowe konstrukcje elementów roboczych maszyny do uprawy pasowej, mimo korzystnego wpływu na wschody jęczmienia jarego (tab. 4) oraz grochu siewnego (tab. 5) nie spowodowały istotnego zwiększenia plonu ziarna i nasion tych roślin. Średnio w dwuletnim okresie badań względne zwiększenie polowej zdolności wschodów obu gatunków roślin jarych wyniosło odpowiednio 17,1% i 10,8%. Plon jęczmienia jarego w efekcie uprawy przy użyciu maszyny ze zmodyfikowanymi elementami roboczymi był większy o 3,4% od plonu roślin uprawianych z wykorzystaniem maszyny standardowej, głównie w wyniku większej obsady kłosów w pierwszym roku badań. Różnica plonów w żadnym roku nie była jednak istotna statystycznie. Jeszcze mniejsze zróżnicowanie plonu miało miejsce w agrotechnice grochu siewnego. Jednak względna różnica jego wielkości w drugim roku badań – 6,1% była istotna statystycznie.

Tabela 4. Efekt zmiany elementów roboczych maszyny do uprawy pasowej
w agrotechnice jęczmienia jarego

Table 4. The effect of changing the working elements of the strip tillage machine
in the agrotechnics of spring barley

Cecha Feature	Jednostka Unit	Elementy robocze Working elements	Rok badań/ Year of research		
			pierwszy first	drugi second	średnio average
Polowa zdolność wschodów Field emergence capacity	%	ST-WP	84,1 ^a	92,4 ^a	+17,1
		ST-T	77,6 ^b	73,1 ^b	100,0
Obsada kłosów Ear density	szt. · m ⁻²	ST-WP	845,2 ^a	684,1 ^a	+3,7
		ST-T	809,4 ^b	664,8 ^a	100,0
Masa ziarna z kłosa Grain weight per ear	g	ST-WP	0,76 ^a	1,06 ^a	0,0
		ST-T	0,76 ^a	1,05 ^a	100,0
Plon ziarna Grain yield	t · ha ⁻¹	ST-WP	6,37 ^a	6,83 ^a	+3,4
		ST-T	6,14 ^a	6,61 ^a	100,0
Zawartość białka w ziarnie Protein content in grain	g · kg ⁻¹	ST-WP	115,0 ^a	109,0 ^a	+0,9
		ST-T	115,0 ^a	107,0 ^a	100,0

Objaśnienia jak w tab. 2./ Explanation as in tab. 2.

Największa i istotna statystycznie w obu latach badań zmiana wielkości plonu w efekcie użycia maszyny wyposażonej w innowacyjne elementy robocze wystąpiła w agrotechnice kukurydzy (tab. 6). Średnio w dwuleciu plon ziarna był większy o 6,9% od plonu z obiektu uprawianego maszyną standardową. Stwierdzona różnica wynikała głównie z większej masy ziarna z rośliny i w mniejszym stopniu z większej, ale tylko o 2,7%, polowej zdolności wschodów nie przekładającej się jednak na istotnie większą obsadę roślin przed zbiorem.

Zmodyfikowane zęby spulchniające glebę i aplikujące nawozy oraz redlice wysiewające nasiona nie miały istotnego korzystnego wpływu na jakość ziarna i nasion roślin uprawianych w technologii pasowej one-pass (tab. 2–6). W rezultacie ich uprawy za pomocą maszyny wyposażonej w innowacyjne elementy robocze, w porównaniu z maszyną standardową, największy względny wzrost zawartości białka miał miejsce u grochu – 1,9%. Podobnie nieistotną różnicę stwierdzono w zawartości tłuszczu w nasionach rzepaku ozimego.

Tabela 5. Efekt zmiany elementów roboczych maszyny do uprawy pasowej w agrotechnice grochu siewnego

Table 5. The effect of changing the working elements of the strip tillage machine in the agrotechnics of field pea

Cecha Feature	Jednostka Unit	Elementy robocze Working elements	Rok badań/ Year of research		
			pierwszy first	drugi second	średnio average
Polowa zdolność wschodów Field emergence capacity	%	ST-WP	83,5 ^a	91,5 ^a	+10,8
		ST-T	75,7 ^b	82,3 ^b	100,0
Obsada roślin przed zbiorem Plant density before harvest	szt. · m ⁻²	ST-WP	80,3 ^a	82,4 ^a	+8,1
		ST-T	71,9 ^b	78,7 ^a	100,0
Masa nasion z rośliny Seed weight per plant	g	ST-WP	5,06 ^a	4,02 ^a	-0,4
		ST-T	5,16 ^a	3,95 ^a	100,0
Plon nasion Seed yield	t · ha ⁻¹	ST-WP	3,70 ^a	3,15 ^a	+2,7
		ST-T	3,71 ^a	2,97 ^b	100,0
Zawartość białka w nasionach Protein content in seeds	g · kg ⁻¹	ST-WP	218,0 ^a	209,0 ^a	+1,9
		ST-T	215,0 ^a	205,0 ^a	100,0

Objaśnienia jak w tab. 2./ Explanation as in tab. 2.

Tabela 6. Efekt zmiany elementów roboczych maszyny do uprawy pasowej w agrotechnice kukurydzy

Table 6. The effect of changing the working elements of the strip tillage machine in the agrotechnics of corn

Cecha Feature	Jednostka Unit	Elementy robocze Working elements	Rok badań/ Year of research		
			pierwszy first	drugi second	średnio average
Polowa zdolność wschodów Field emergence capacity	%	ST-WP	88,2 ^a	99,8 ^a	+2,7
		ST-T	83,3 ^a	99,6 ^a	100,0
Obsada roślin przed zbiorem Plant density before harvest	szt. · m ⁻²	ST-WP	6,28 ^a	6,84 ^a	+0,3
		ST-T	6,31 ^a	6,76 ^a	100,0
Masa ziarna z rośliny Grain weight per plant	g	ST-WP	183,5 ^a	147,6 ^a	+6,6
		ST-T	172,1 ^b	138,4 ^b	100,0
Plon ziarna Grain yield	t · ha ⁻¹	ST-WP	11,08 ^a	9,63 ^a	+6,9
		ST-T	10,51 ^b	8,86 ^b	100,0
Zawartość białka w ziarnie Protein content in grain	g · kg ⁻¹	ST-WP	93,0 ^a	88,0 ^a	0,0
		ST-T	94,0 ^a	88,0 ^a	100,0

Objaśnienia jak w tab. 2./ Explanation as in tab. 2.

DYSKUSJA

Uprawa roli jako element technologii polowej uprawy roślin nie jest celem samym w sobie. Powodowane przez nią zmiany właściwości gleby, oprócz jej ochrony przed degradacją, mają przede wszystkim przygotować jak najlepsze warunki dla wzrostu i plonowania roślin. Uzasadnione są więc badania doskonalące elementy agrotechniki, ze szczególnym uwzględnieniem przygotowania łoża siewnego [Lamichhane i Soltani 2020], w tym nad nowymi konstrukcjami maszyn i narzędzi realizującymi to zadanie z poszanowaniem środowiska [Lovarelli i Bacenetti 2017, Hegazy i in. 2021]. W tak realizowany postęp techniczny i technologiczny wpisują się niniejsze badania dotyczące elementów roboczych maszyny do uprawy pasowej one-pass.

Sposób uprawy gleby poprzez zmianę jej właściwości wpływa na wschody, dalszy wzrost, produktywność, plony roślin i ich jakość, co uzasadnia przeprowadzone testy polowe z nowo skonstruowanymi elementami maszyny do pasowej uprawy gleby z jednoczesnym nawożeniem i siewem. W badaniach Barut i Ozdemir [2024] różnica polowej zdolności wschodów pszenicy wysianej w glebę przygotowaną klasycznie z udziałem pługa odkładnicowego, brony talerzowej i wału oraz bezpłużnie (rototiller), a także w efekcie siewu bezpośredniego wyniosła 7,6–8,0 punktów procentowych. Sposób uprawy i siewu pszenicy zróżnicował również, o 1,35 dnia, średni czas wschodów. Różne tempo wschodów nasila efekty konkurencji między siewkami, która według Korohou i in. [2022] zachodzi już od pierwszych faz wzrostowo-rozwojowych i może być przyczyną zmniejszenia plonów. Autorzy stwierdzili, że odległość między ziarniakami i sposób ich umieszczenia w glebie wpływają istotnie na zdolność i tempo wschodów oraz na długość i masę korzeni, powierzchnię liści, suchą masę części nadziemnej. Zróżnicowanie polowej zdolności wschodów roślin i ich tempa zależy szczególnie od właściwości gleby łoża siewnego. Wyniki kompleksowych, wieloetapowych badań szwedzkich jako czynniki determinujące wschody wskazują m.in.: temperaturę [Håkansson i in. 2011a], strukturę agregatową gleby i jej wilgotność [Håkansson i in. 2011b], zawartość tlenu w glebie [Håkansson i in. 2011c]. Nie mniej ważne są parametry i warunki siewu, w tym głębokość, zagęszczenie gleby po siewie czy ryzyko powstania skorupy glebowej [Håkansson i in. 2011d, Håkansson i in. 2011e].

Warunki glebowe wynikające z przygotowania łoża siewnego, a w konsekwencji wschody roślin, ich wzrost i plony, zależą również od parametrów pracy maszyn i narzędzi używanych do uprawy gleby zgodnie z określonym systemem, w tym strip-till [Boydas i Turgut 2007, Trevini i in. 2013]. Spulchnianie gleby w uprawie pasowej może być realizowane za pomocą czynnych, a także biernych elementów roboczych, w tym zespolonych w sekcje do jednoczesnej aplikacji nawozów i siewu nasion [Barut i Ozdemir 2024], tak jak to miało miejsce w testowanej maszynie Mzuri. Według Celik i in. [2013] zmiana szerokości spulchnianych pasów gleby w uprawie słonecznika z 37,5 cm do 30,0 cm i 22,5 cm w efekcie zmiany ustawienia rotacyjnych noży w kształcie litery C i użycia różnej liczby kołnierzy wpłynęła istotnie na wschody roślin. Ich odsetek zmniejszył się od 93% do 67% wraz ze zwężaniem pasów uprawianej gleby, co było prawdopodobnie wynikiem niższej jej temperatury w strefie kiełkowania nasion mimo większej wilgotności. Plon biomasy, a także nasion roślin rosnących w najszerszej spulchnianych pasach gleby był o 12,8% większy niż roślin wysianych w pasach o szerokości 22,5 cm. W badaniach własnych zmiana konstrukcyjna elementów roboczych maszyny polegała natomiast m.in.

na zwężeniu skrzydeł zębów spulchniających, przez co pasy uprawianej gleby były węższe niż po pracy zębów standardowych. W tak uprawianej glebie wschody roślin były jednak lepsze niż po siewie w szerzej spulchnianych pasach, nawet o 17,1%. Trzeba jednak podkreślić, że w okresie siewu zarówno roślin ozimych, jak i jarych w miejscu realizacji doświadczeń polowych średnia miesięczna suma opadów wynosiła ok. 30–50 mm. W takich warunkach rozwiązanie ograniczające utratę wody z gleby spulchnianej mogło przyczynić się do lepszych wschodów roślin. Natomiast w wyżej cytowanych badaniach słonecznik był uprawiany w rejonie, gdzie opady miesięczne w okresie przygotowania gleby, siewu i początkowego wzrostu wynosiły 60–70 mm, a temperatura była niższa niż w okresie siewu roślin, zwłaszcza ozimych, w badaniach będących przedmiotem niniejszego opracowania. Kriaučiūnienė i in. [2023, 2024] wykazali natomiast, że użycie siewników o różnych elementach roboczych dedykowanych do uprawy pasowej i siewu bezpośredniego, mimo takiego samego sposobu wcześniej wykonanej podstawowej uprawy gleby, zróżnicowało plon ziarna pszenicy i nasion rzepaku. Różnica nie była jednak duża, w przypadku pszenicy nie przekroczyła 3,6%. Bečka i in. [2021], stosując w agrotechnice rzepaku ozimego po jednakowo wykonanej podstawowej uprawie płuźnej siewniki o różnych redlicach, stwierdzili zróżnicowanie obsady roślin i plonu nasion. Po użyciu redlic przystosowanych do siewu w glebę dobrze uprawioną, bez resztek roślinnych obsada roślin po wschodach wynosiła 41 szt. $\cdot$ m⁻², a plon nasion 5,06 t $\cdot$ ha⁻¹. Redlice głęboko spulchniające glebę i wysiewające nasiona w maszynie strip-till spowodowały, że powyższe parametry były istotnie większe, odpowiednio 49 szt. $\cdot$ m⁻² i 5,53 t $\cdot$ ha⁻¹. Względna różnica wyniosła 19,5% i 9,3%. Użyte w badaniach własnych innowacyjne elementy robocze maszyny do uprawy pasowej przyczyniły się do zwiększenia plonu uprawianych gatunków roślin ozimych i jarych, z wyjątkiem jęczmienia, choć nie w każdym roku w stopniu istotnym. Największy przyrost plonu, o 6,9%, w porównaniu z plonem uzyskanym w efekcie pracy maszyny ze standardowymi zębami i redlicami miał miejsce w agrotechnice kukurydzy.

Czynnikiem różnicującym wschody roślin, ich dalszy wzrost i plony w technologii pasowej może być również sposób aplikacji nawozów, na co wskazują wyniki badań Adea i in. [2016]. Autorzy, wysiewając rząd ziaren kukurydzy w odległości 0, 10 cm, 20 cm i 38 cm od rzędu aplikowanych nawozów N, P i K w dawce odpowiednio 134 kg $\cdot$ ha⁻¹, 34 kg $\cdot$ ha⁻¹, 11 kg $\cdot$ ha⁻¹, stwierdzili istotny wpływ tego czynnika na obsadę roślin przed zbiorem i plon ziarna, choć przy różnej reakcji kukurydzy w poszczególnych pięciu latach badań. Brak poziomej odległości między rzędem ziarna a nawozu wpłynął niekorzystnie na obsadę roślin i plon ziarna w porównaniu z siewem ziarna w odległości 10 cm od strumienia nawozów. Największa względna różnica tych cech ładu w okresie badań wyniosła 6,9% – liczba roślin na 1 ha i 8,5% – plon ziarna. W testowanej maszynie Mzuri nowo skonstruowany ząb spulchniająco-aplikujący dzięki zastosowanej kierownicy strumienia nawozu dokładnie rozpraszał go w przestrzeni uprawianego pasa gleby. Nie było więc ryzyka bezpośredniego kontaktu wysiewanych nasion z dużą masą nawozu, co by mogło ograniczać kiełkowanie nasion i wschody roślin.

WNIOSKI

Wzrost i plonowanie roślin zależą od zmiennych warunków siedliskowych i agrotechnicznych w latach uprawy. Przeprowadzone badania wskazują, że na wschody, elementy plonowania, plony i ich jakość może wpływać, często w stopniu istotnym, nawet zmiana elementów roboczych maszyny użytej do uprawy gleby, aplikacji nawozów i siewu. Reakcja roślin ozimych i jarych w przeprowadzonych eksperymentach polowych zależała od gatunku, ocenianej cechy charakteryzującej wzrost i plonowanie i była zmienna w latach. Największa względna różnica polowej zdolności wschodów w efekcie użycia maszyny z innowacyjnymi elementami roboczymi wystąpiła u jęczmienia jarego i wyniosła 17,1%. Istotny przyrost plonu, średnio w latach badań ponad 6,0%, miał miejsce w agrotechnice rzepaku ozimego i kukurydzy. Wyniki takie wskazują na zasadność testowania nowo konstruowanych maszyn i narzędzi rolniczych zgodnie z metodyką eksperymentów polowych. Badania realizowane w warunkach polowej produkcji roślinnej mogą przedstawiać rzeczywisty postęp techniczny oraz technologiczny i rekomendować go do praktyki rolniczej. Jednocześnie wskazują na konieczność badań kompleksowych i wieloetapowych pozwalających na właściwą interpretację obserwowanych reakcji roślin na zmiany w obrębie poszczególnych elementów agrotechniki, w tym używanej techniki rolniczej.

PIŚMIENNICTWO

- Adee E., Hansel F.D., Ruiz Diaz D.A., Janssen K., 2016. Corn response as affected by planting distance from the center of strip-till fertilized rows. *Front. Plant Sci.* 7, 1232. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01232>
- Barut Z.B., Ozdemir S., 2024a. The effect of different tillage methods on plant emergence parameters for wheat. W: E. Cavallo, F. Auat Cheein, F. Marinello, K. Saçılık, K. Muthukumarappan, P.C. Abhilash (red.), 15th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy in Agriculture. Cham: Springer Nature Switzerland, 51–59. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51579-8_6
- Barut Z.B., Ozdemir S., 2024b. Design approaches of one-pass strip-till machines. W: E. Cavallo, F. Auat Cheein, F. Marinello, K. Saçılık, K. Muthukumarappan, P.C. Abhilash (red.), 15th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy in Agriculture. Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51579-8_7
- Bečka D., Bečková L., Kuchtová P., Cihlár P., Pazderů K., Mikšík V., Vašák J., 2021. Growth and yield of winter oilseed rape under strip-tillage compared to conventional tillage. *Plant Soil Environ.* 67(2), 85–91. <https://doi.org/10.17221/492/2020-PSE>
- Benincasa P., Zorzi A., Panella F., Tosti G., Trevini M., 2017. Strip tillage and sowing: is precision planting indispensable in silage maize?. *Int. J. Plant Prod.* 11(4), 577–588. <http://dx.doi.org/10.22069/ijpp.2017.3719>
- Bojarszczuk J., Księżak J., 2023. Efektywność ekonomiczna uprawy soi w zależności od sposobu uprawy. *Ann. Pol. Assoc. Agric. Aribus. Econ.* 25(4), 26–34. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.9739>
- Boydas M.G., Turgut N., 2007. Effect of tillage implements and operating speeds on soil physical properties and wheat emergence. *Turk. J. Agric. For.* 31(6), 399–412. <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol31/iss6/6>
- Celik A., Altikat S., Way T.R., 2013. Strip tillage width effects on sunflower seed emergence and yield. *Soil Tillage Res.* 131, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.03.004>

- Cheng Z., Bai L., Wang Z., Wang F., Wang Y., Liang H., Wang Y., Rong M., Wang Z., 2024. Strip-till farming: combining controlled-release blended fertilizer to enhance rainfed maize yield while reducing greenhouse gas emissions. *Agronomy* 14(1), 136. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010136>
- 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. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0549>
- 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. B Soil Plant Sci.* 61(5), 458–468. <https://doi.org/10.1080/09064710.2010.506446>
- 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. B Soil Plant Sci.* 61(5), 469–479. <https://doi.org/10.1080/09064710.2010.506447>
- Håkansson I., Keller T., Arvidsson J., Rydberg T., 2011c. Effects of seedbed properties on crop emergence. 4. Inhibitory effects of oxygen deficiency. *Acta Agric. Scand. B Soil Plant Sci.* 62(2), 166–171. <https://doi.org/10.1080/09064710.2011.597423>
- Håkansson I., Keller T., Arvidsson J., Rydberg T., 2011d. Effects of seedbed properties on crop emergence. 5. Effects of aggregate size, sowing depth and simulated rainfall after sowing on harmful surface-layer hardening. *Acta Agric. Scand. B Soil Plant Sci.* 62(4), 362–373. <https://doi.org/10.1080/09064710.2011.622291>
- Håkansson I., Rydberg T., Keller T., Arvidsson J., 2011e. Effects of seedbed properties on crop emergence: 3. Effects of firming of seedbeds with various sowing depths and water contents. *Acta Agric. Scand. B Soil Plant Sci.* 61(8), 701–710. <https://doi.org/10.1080/09064710.2010.544668>
- Hegazy R., Abd-Rabou A., Elsergany A.M., Abdelmouteleb I., 2021. Development and testing mounted multi-use agricultural seedbed preparation machine for Egyptian soils. *J. Sus. Agric. Sci.* 47(3), 13–26. <http://dx.doi.org/10.21608/jsas.2020.50579.1251>
- Jankowski K.J., Sokółski M., Szatkowski A., Załuski D., 2024. The effects of tillage systems on the management of agronomic factors in winter oilseed rape cultivation: a case study in north-eastern Poland. *Agronomy* 14(3), 437. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030437>
- Jaskulska I., Jaskulski D., 2020. Strip-till one-pass technology in central and eastern Europe: A MZURI pro-til hybrid machine case study. *Agronomy* 10(7), 925. <https://doi.org/10.3390/agronomy10070925>
- Jaskulska I., Romanekas K., Jaskulski D., Gałęzewski L., Breza-Boruta B., Dębska B., Lemanowicz J., 2020. Soil properties after eight years of the use of strip-till one-pass technology. *Agronomy* 10(10), 1596. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101596>
- Korohou T., Okinda C., Li H., Torotwa I., Ding Q., Abbas A., 2022. Effect of no-till precise seeding on wheat (*Triticum aestivum* L.) population quality at the emergence stage. *J. Anim. Plant Sci.* 32(1), 186–198. <https://doi.org/10.36899/JAPS.2022.1.0414>
- Kriaučiūnienė Z., Saldukaitė L., Buragienė S., Adamavičienė A., Zabrodskiy A., Šarauskis E., 2023. Effect of strip tillage and direct seeding on winter wheat yield, diesel consumption and environment. *Actual Tasks on Agricultural Engineering. Proceedings of the 49th International Symposium Opatija, Croatia, 28th February – 2nd March 2023*, 41–49. https://atae.agr.hr/49th_ATAE_proceedings.pdf
- Kriaučiūnienė Z., Saldukaitė-Sribikė L., Zabrodskiy A., Adamavičienė A., Buragienė S., Šarauskis E., 2024. Impact of strip-till and no-till systems on soil, crop, and environment. W: *Abstract proceedings for the: 22nd International Soil Tillage Research Organisation Conference, Virginia Beach, Virginia, United States of America, 22–27 September 2024*, 48–49. <https://hdl.handle.net/20.500.12259/271281>
- Kumar D.V., Ramana C., Reddy K.V.S., Kaleemullah S., Reddy B.R., 2023. Optimization of machine and operational parameters in the development of stubble manager cum crop planter. *Int. J. Plant Soil Sci.* 35(16), 12–23. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i163124>

- Lamichhane J., Soltani E., 2020. Sowing and seedbed management methods to improve establishment and yield of maize, rice and wheat across drought-prone regions: A review. *J. Agric. Food Res.* 2, 100089. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100089>
- Leskovar D., Othman Y., Dong X., 2016. Strip tillage improves soil biological activity, fruit yield and sugar content of triploid watermelon. *Soil Tillage Res.* 163, 266–273. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.06.007>
- Liu L., Wang X., Zhong X., Zhang X., Geng Y., Zhou H., Chen T., 2024. Design and experiment of furrow side pick-up soil blade for wheat strip-till planter using the discrete element method. *J. Agric. Eng.* 55(1), 1546. <http://dx.doi.org/10.4081/jae.2023.1546>
- Lovarelli D., Bacenetti J., 2017. Seedbed preparation for arable crops: Environmental impact of alternative mechanical solutions. *Soil Tillage Res.* 174, 156–168. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.06.006>
- Melnyk V., Artiymov M., Tsyganenko M., Romanashenko O., Anikeev O., 2021. Test results of co-seeding technology for forage production in Mix-Cropps farming system. W: *Proceedings of 20th International Scientific Conference Engineering for Rural Development*, May 26–28, 2021. Latvia University of Life Sciences and Technologies, 451–456. <http://dx.doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF095>
- Mirzaev B.S., Ergashov G.H., Maiviatov F.M., Ravshanova N.B., Toshtemirov S.J., Begimkulova M.F., 2022. Justification of the parameters of the lister body. W: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1076, 1, 012022. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1076/1/012022>
- Mitev G.V., Bratov K., 2017. Experimental study of strip till machine. *Int. Sci. J. Mech. Agric. Conserv. Resour.* 63(1), 21–25.
- 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 Tillage Res.* 108(1–2), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.03.004>
- Nadykto V., Domeika R., Golub G., Kukharets S., Chorna T., Čėsna J., Hutsol T., 2023. Research on a machine–tractor unit for strip-till technology. *AgriEngineering* 5(4), 2184–2195. <https://doi.org/10.3390/agriengineering5040134>
- Peel M.C., Finlayson B.L., McMahon T.A., 2007. Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11(5), 1633–1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Piechota T., 2017. Przegląd rynku maszyn do pasowej uprawy roli (strip-till). *Technika Rolnicza, Ogrodnicza, Leśna* 4, 2–4.
- Pieper J.R., Brown R.N., Amador J.A., 2015. Effects of three conservation tillage strategies on yields and soil health in a mixed vegetable production system. *HortScience* 50(12), 1770–1776. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.12.1770>
- Potratz D.J., Mourtzinis S., Gaska J., Lauer J., Arriaga F.J., Conley S.P., 2020. Strip-till, other management strategies, and their interactive effects on corn grain and soybean seed yield. *Agron. J.* 112(1), 72–80. <https://doi.org/10.1002/agj2.20067>
- Rózewicz M., Grabiński J., Wyzińska M., 2024. Effect of strip-till and cultivar on photosynthetic parameters and grain yield of winter wheat. *Int. Agrophys.* 38, 279–291. <http://dx.doi.org/10.31545/intagr/188352>
- 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. <http://dx.doi.org/10.37128/2520-6168-2024-1-6>
- Statistica 12. Data Analysis Software System, Version 12. TIBCO Software INC: Palo Alto, CA, USA, 2017. <http://statistica.io>
- Tabatabaeekooloor R., 2011. Soil characteristics at the in-row and inter-row zones after strip-tillage. *Afr. J. Agric. Res.* 6, 6598–6603. <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR11.722>
- Townsend T.J., Ramsden S.J., Wilson P., 2016. How do we cultivate in England? Tillage practices in crop production systems. *Soil Use Manag.* 32(1), 106–117. <https://doi.org/10.1111/sum.12241>

- 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. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.02.007>
- Vaitauskienė K., Šarauskis E., Romaneckas K., Jasinskas A., 2017. Design, development and field evaluation of row-cleaners for strip tillage in conservation farming. *Soil Tillage Res.* 174, 139–146. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.006>
- 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), 2357. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092357>
- 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., 2016. A comparison of soil hydrothermal properties in zonal and uniform tillage systems across the US Corn Belt. *Geoderma* 273, 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.03.010>
- Yang Y., Fielke J., Ding Q., He R., 2018. Field experimental study on optimal design of the rotary strip-till tools applied in rice-wheat rotation cropping system. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 11(2), 88–94. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181102.3347>
- Yang Y., Hu Z., Gu F., Ding Q., 2023. Simulation and experimental study of the tillage mechanism for the optimal design of wheat rotary strip-tiller blades. *Agriculture* 13(3), 632. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030632>

Źródło finansowania. Pracę wykonano w ramach badań przemysłowych i prac rozwojowych współfinansowanych ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (1.1. Projekty Badawczo-Rozwojowe; 1.1.1. Badania Przemysłowe i Prace Rozwojowe Realizowane przez Przedsiębiorstwa, Program Operacyjny Inteligentny Rozwój) w ramach projektu „Prace badawczo – rozwojowe nad innowacyjnym sposobem pasowej uprawy roli i siewu prowadzące do opracowania wysoce zaawansowanego rozwiązania dostosowanego do warunków panujących w Europie środkowo-wschodniej. Projekt nr: PB POIR.01.01.01-00-0910/17 Beneficjentem projektu była firma Mzuri World sp. z o.o.

Abstract. Biological and agrotechnical progress in field crop production requires new solutions in the construction and operation of agricultural machines. Strip tillage with simultaneous fertiliser application and seed sowing requires specialised machines with working elements adapted to working conditions. As a result of research and development work, the soil loosening tines, fertiliser applicators and seeding coulters of a hybrid machine operating in a single-pass technology were developed, with improved material and construction. The effects of their use in winter and spring plant agrotechnology were assessed in field experiments. The growth, yield and quality of winter wheat and rapeseed crops, as well as spring barley, peas and maize were determined. The yields of these plants cultivated using a machine equipped with innovative working elements were 2.7–6.9% higher (depending on species) than the yields from plots cultivated using a standard machine. The difference in yields was mainly due to the greater field emergence capacity of plants. The density of plants before harvest and ears of cereals was also higher, as was the mass of grain per plant in maize. Pea seeds grown with the innovative machine contained 0.4 percentage points (pp) more protein, and rapeseed seeds contained 0.4 pp more fat than seeds grown with the machine without any structural changes.

Keywords: strip-till, machine working elements, plant emergence, yield, protein content, fat content

Otrzymano/Received: 21.12.2024

Zaakceptowano/Accepted: 5.03.2025

Opublikowano/Published: 19.05.2025