

Wybrane aspekty oceny siewu kukurydzy

Janusz Nowak^a*, Wojciech Przystupa^a

^aUniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Inżynierii Produkcji, Lublin

Informacje o artykule

Data przyjęcia: 13.10.2022

Data akceptacji: 16.12.2022

Słowa kluczowe

siewniki do kukurydzy

głębokość siewu

równomierny rozstaw nasion

Dokonano oceny jakości wysiewu kukurydzy siewnikami nowej generacji, a także omówiono wpływ głębokości umieszczania nasion w glebie oraz równomierności rozstawu roślin w rzędach na plonowanie. Zamieszczono kryteria oceny siewników punktowych na podstawie wskaźników jakości pracy i odchylenia standardowego odległości roślin w rzędzie.

Artykuł udostępniony na licencji CC BY 4.0:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>.

1. Wstęp

Wykorzystanie potencjału plonotwórczego kukurydzy zależy w dużej mierze od czynników agrotechnicznych, spośród których głębokość i równomierność rozmieszczenia wysiewanych nasion w rzędzie jest coraz powszechniej analizowana [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Pierwszy z wymienionych czynników decyduje o równomierności wschodów, które zależą między innymi od warunków środowiska glebowego, a zwłaszcza od uwilgotnienia i temperatury gleby. Dostosowanie głębokości siewu nasion do wymienionych warunków może skutecznie wpłynąć na równomierność wschodów, która zapewni zwiększenie plonów [7, 8, 9, 10, 11]. Równomierne rozmieszczenie nasion w rzędzie ogranicza rywalizację o składniki pokarmowe, światło i wodę powstałych z nich roślin, tym samym korzystnie wpływa na ilość i jakość uzyskiwanych plonów [12, 13, 14].

Celem artykułu jest przegląd wyników badań dotyczących siewu kukurydzy najnowszej generacji siewnikami oraz oceny wpływu równomierności rozmieszczenia roślin w rzędzie i głębokości siewu na plony nasion.

2. Ocena jakości pracy wybranych siewników

Jakość pracy siewników do kukurydzy sprowadza się przede wszystkim do oceny zespołów wysiewających. Badania laboratoryjno-polowe obejmują również głębokość umieszczania nasion w glebie, stopień przykrycia nasion glebą oraz poziom ich uszkodzenia przez zespoły wysiewające. Wyniki wielu badań siewników do kukurydzy, prowadzonych w latach 90. ubiegłego stulecia przez Niemieckie Towarzystwo Rolnicze (DLG) wykazały, że ich prędkość robocza nie powinna być większa niż 6-8 km·h⁻¹ [15, 16]. Oferowane współcześnie nowej generacji siewniki mogą

* Autor do korespondencji: janusz.nowak@up.lublin.pl

zapewnić bardzo dobrą jakość wysiewu nasion kukurydzy przy prędkości roboczej nawet 20 km·h⁻¹ [17].

Na podstawie wyników badań oraz obliczonych na ich podstawie wskaźników jakości pracy siewnika Maestro 30 SW można stwierdzić, że zwiększenie prędkości roboczej co najmniej do 12 km·h⁻¹ wpłynęło znacząco na zmniejszenie jego oceny ogólnej (Tab. 1 i 2). Jeśli prędkość robocza siewnika wynosiła 12 km·h⁻¹, to uzyskał ocenę dostateczną bez względu na miejsce prowadzenia badań polowych. Przy prędkości 16,1 km·h⁻¹ ogólna ocena jakości jego pracy była niedostateczna, gdyż wskaźnik jakości wysiewu nasion był poniżej

82,3%. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że według kryteriów Niemieckiego Towarzystwa Rolniczego [17] badany siewnik uzyskalby ocenę niesatysfakcjonującą na podstawie odchylenia standardowego w skali pięciostopniowej (do 2,5 cm: bardzo dobry, >2,5 cm i ≤ 3 cm: dobry, >3 cm i ≤ 3,5 cm: satysfakcjonujący, >3,5 cm i ≤ 4 cm: mniej satysfakcjonujący, >4 cm: niesatysfakcjonujący). Wymienione zakresy dotyczą tylko wyników badań prowadzonych w warunkach polowych; bardziej restrykcyjne kryteria obejmują wyniki z badań laboratoryjnych (od 1 cm do 2,5 cm z krokiem 0,5 cm).

Tab. 1. Wskaźniki jakości pracy siewnika Maestro 30 SW firmy Horsch uzyskane na podstawie pomiarów odległości między roślinami w uprawie polowej [8]

Pole	Prędkość robocza km·h ⁻¹	Wyszczególnienie ¹					
		X _s , cm	CV, %	W _p , %	W _p , %	W _z , %	C, %
A	7,2	17,8	32,6 5,8	93,5	5,3	1,2	22,7
	9,6	17,3	34,1 5,9	88,9	7,4	3,7	25,0
	12,0	17,4	38,5 6,7	87,6	7,9	4,5	27,3
	16,1	18,7	47,6 8,9	77,5	14,8	7,7	29,6
B	7,2	17,7	27,1 4,8	92,0	4,6	3,4	18,3
	9,6	18,0	33,3 6,0	87,7	7,0	5,3	19,9
	12,0	18,1	34,8 6,3	88,1	9,0	2,9	21,6
	16,1	18,3	40,4 7,4	81,9	9,4	8,7	25,4

X_s – średnia odległość między roślinami w rzędzie, CV – współczynnik zmienności odległości między roślinami w rzędzie, WJ – wskaźnik jakości wysiewu nasion, WP – wskaźnik przepustów, WZ – wskaźnik podwójnych wysiewów, C – współczynnik zmienności odległości między roślinami

Tab. 2. Kryteria oceny siewników punktowych na podstawie rozmieszczenia nasion w rzędzie [1, 18]

Wskaźnik jakości wysiewu nasion (W _j), %	Wskaźnik podwójnych wysiewów (W _z), %	Wskaźnik przepustów (W _p), %	Ocena
>98,6	<0,7	<0,7	Bardzo dobry
>90,4 i ≤98,6	≥0,7 i <4,8	≥0,7 i <4,8	Dobry
≥82,3 i ≤90,4	≥4,8 i ≤7,7	≥4,8 i ≤10	Dostateczny
<82,3	>7,7	>10	Niedostateczny

Bardzo dobrą ocenę za jakość wysiewu trzech odmian kukurydzy (Carolinio, Torres i Ferarixx) uzyskał siewnik John Deere 1725 NT ExactEmerge™ [17]. Stwierdzenie to dotyczy tylko warunków polowych, a odchylenie standardowe odległości między roślinami zawierało się w zakresie od 2,1 cm do 2,4 cm). Bardziej restrykcyjne kryteria jakości pracy tego siewnika w warunkach laboratoryjnych nieznacznie wpłynęły na obniżenie oceny. Z połowy wyników pomiarów wynika, że jakość wysiewu nasion kukurydzy była bardzo dobra (odchylenie standardowe w zakresie od 0,753 cm do 1,121 cm). Warto jednak dodać, że siewniki John Deere 1725 NT ExactEmerge™ są wyposażane w aktywne systemy dostarczania nasion do redlic, typu szczoteczki [19].

Jednym ze znaczących czynników, decydujących o równomierności rozmieszczenia nasion wysiewanych siewnikiem punktowym jest sposób ich dostarczania do redlicy [20, 21, 22, 23]. Tradycyjne elementy w postaci przewodów o przekroju kołowym lub kwadratowym nie zapewniają równomiernego dostarczania nasion ze względu na ich obijanie się o ścianki, które nasila się przy pracy siewnika z dużą prędkością roboczą. Nasiona odbijające się kilkukrotnie od ścianek przewodów mogą być dostarczane do redlicy w tym samym czasie co nasiona spadające swobodnie, ale opuszczające aparat wysiewający bezpośrednio po nich. Wpływa to jednocześnie na zwiększenie udziału przepustów i podwójnych wysiewów [4, 24]. Natomiast wyniki porównawczych badań

laboratoryjnych wykazały, że przenośnikowy system dostarczania nasion do redlic nie wpłynął znacząco na zwiększenie wskaźnika jakości wysiewu nasion W_f (tab. 3). Średnia wartość tego wskaźnika dla zespołu z tradycyjnym systemem dostarczania nasion (przy trzech prędkościach roboczych) wynosiła 83,2%. Jeśli zastosowano przenośnikowy system dostarczania

nasion to wskaźnik ten miał wartość 84,5%. Zespoły te, według kryteriów zamieszczonych w tab. 2, mogą uzyskać ocenę co najwyżej dostateczną. Warto jednak dodać, że aktywny system dostarczania nasion do redlic wpłynął znacząco na zmniejszenie współczynnika zmienności odległości między nimi (o 4 punkty procentowe względem tradycyjnego systemu: 21,5% i 17,5%).

Tab. 3. Wpływ prędkości roboczej i sposobu dostarczania nasion do redlic podciśnieniowego zespołu wysiewającego na wskaźnik wysiewu nasion i współczynnik zmienności odległości między nimi [20]

Prędkość robocza, km·h ⁻¹	Numer pomiaru	Wskaźnik wysiewu nasion (W_f), %		Współczynnik zmienności (CV), %	
		TSDNR ¹	PSDNR ²	TSDNR ¹	PSDNR ²
10	1	91,20	92,80	18,60	8,14
	2	90,46	90,47	20,61	10,28
	3	89,06	90,47	18,43	14,85
12	1	79,51	84,34	20,52	18,03
	2	88,21	89,84	20,77	20,41
	3	84,17	79,45	24,85	17,39
14	1	74,40	79,22	23,31	22,64
	2	74,71	81,38	22,76	21,83
	3	76,68	72,87	24,07	23,74

¹TSDNR – tradycyjny system dostarczania nasion, ²PSDN – przenośnikowy system dostarczania nasion

Przedmiotem najnowszych badań prowadzonych przez DLG był siewnik firmy Amazone (rys. 1). Jakość wysiewu nasion kukurydzy siewnikiem Precea 4500-2CC Super okazała się co najwyżej dobra, jeśli prędkość robocza nie przekraczała 9 km·h⁻¹ (tab. 4). Ocena satysfakcjonująca dotyczyła jakości wysiewu wszystkich trzech odmian kukurydzy podczas pracy siewnika z prędkością roboczą 12 km·h⁻¹. Warto jednak dodać, że jakość wysiewu oceniana według odchylenia standardowego odległości między nasionami (SD) zależała również od odmiany kukurydzy. Nasiona dwóch pierwszych odmian były kształtu kulistego, a odmiany

Damario kształtu zęba. Masa tysiąca nasion odmiany Chiller wynosiła 255 gramów, a odmiany Damario 358 gramów. Największa wartość średniego odchylenia standardowego odległości między nasionami dotyczyła odmiany Damario i wynosiło 15,62 mm. Stanowi to prawie 108% średniej wartości odchylenia standardowego odległości między nasionami dwu pozostałych odmian. Średnia wartość wskaźników: przepustów i podwójnych wysiewów dla nasion odmiany Bravissimo wynosiła 0,117%. Stanowi to ponad 680% średniej wartości wymienionych wskaźników dla odmiany Chiller.



Ryc. 1. Siewnik Precea 4500-2CC Super firmy Amazone podczas badań polowych [25]

Tab. 4. Wyniki laboratoryjnych badań siewnika Precea 4500-2CC Super firmy Amazone [25]

Odmiana kukurydzy	LOT ¹ (Ø otworów, mm)	V_R^2 , km·h ⁻¹	X_T^3 , mm	X_S^4 , mm	SD ⁵ , mm	W_f^6 , %	W_P^7 , %	W_Z^8 , %	Ocena według SD
Chiller	42 (5,0)	6	140	140,54	12,10	100,0	0,0	0,0	Dobra
		9	140	140,49	14,29	99,9	0,1	0,0	Dobra
		12	140	140,49	18,23	100,0	0,0	0,0	SACA ⁹

Odmiana kukurydzy	LOT ¹ (Ø otworów, mm)	V _R ² , km·h ⁻¹	X _T ³ , mm	X _S ⁴ , mm	SD ⁵ , mm	W _J ⁶ , %	W _P ⁷ , %	W _Z ⁸ , %	Ocena według SD
Bravissimo	42 (5,5)	6	140	140,59	11,21	99,7	0,3	0,0	Dobra
		9	140	140,37	14,18	99,7	0,2	0,1	Dobra
		12	140	140,28	16,97	99,9	0,1	0,0	SACA
Damario	42 (5,5)	6	140	140,54	12,55	99,9	0,0	0,1	Dobra
		9	140	140,49	15,86	100,0	0,0	0,0	SACA
		12	140	140,43	18,46	99,6	0,3	0,1	SACA

¹LOT – liczba otworów tarczy, ²V_R – prędkość robocza, ³X_T – teoretyczna odległość między nasionami, ⁴X_S – średnia odległość między nasionami, ⁵SD – odchylenie standardowe odległości między nasionami, ⁶W_J – wskaźnik jakości wysiewu nasion, ⁷W_P – wskaźnik przepustów, ⁸W_Z – wskaźnik podwójnych wysiewów, ⁹SACA – satysfakcjonująca

Mniej restrykcyjne kryteria jakości pracy siewnika Precea 4500-2CC Super w warunkach polowych zdecydowały o znacznie lepszej jego ocenie niż w warunkach laboratoryjnych (tab. 5). Jakość wysiew nasion,

oceniona na podstawie średniego odchylenia standardowego odległości między roślinami, okazała się tylko w jednym przypadku jako dobra; w pozostałych: bardzo dobra.

Tab. 5. Wpływ prędkości roboczej siewnika Precea 4500-2CC Super na ocenę jakości wysiewu trzech odmian nasion kukurydzy na podstawie średniego odchylenia odległości między roślinami [25]

Prędkość robocza, km·h ⁻¹	Odmiana	Ocena
6	Chiller	Bardzo dobra
	Bravissimo	Bardzo dobra
	Damario	Bardzo dobra
9	Chiller	Bardzo dobra
	Bravissimo	Bardzo dobra
	Damario	Bardzo dobra
12	Chiller	Bardzo dobra
	Bravissimo	Dobra
	Damario	Bardzo dobra

3. Głębokość siewu

Wyniki wielu wieloletnich badań wykazały, że plonowanie kukurydzy zależy od czterech czynników związanych bezpośrednio z siewem [7, 26, 27], a według Drogera i in. [28] ich wpływ jest następujący:

- od 2 do 5% – termin siewu nasion,
- od 1 do 2% – obsada roślin,
- od 5 do 9% – równomierność wschodów,
- od 1 do 2% – równomierność rozmieszczenia nasion w rzędzie.

Wpływ dwóch pierwszych z wymienionych czynników jest obszernie omówiony w licznych opracowaniach krajowych i zagranicznych, a więc nie jest przedmiotem rozważań niniejszego artykułu. Niemniej jednak, z podanych poprzednio zakresów wpływu wszystkich czynników na plonowanie kukurydzy uprawianej na nasiona, obliczono łączny wskaźnik informujący o przewidywanych stratach plonu. Jego wartość zawiera się a zakresie od 9 do 17%.

Wyniki wielu badań wskazują, że głębokość umieszczania nasion kukurydzy w glebie ma znaczący wpływ na plony suchej masy (nasion, całych roślin). Przy planowaniu tej wielkości uwzględnia się: odmianę, wielkość nasion, warunki klimatyczno-glebowe w czasie siewu nasion oraz przewidywane podczas kiełkowania i wschodów, a także techniczno-eksploatacyjne walory stosowanych maszyn [9, 29,30]. Zmienne warunki glebowe w czasie siewu mogą w wielu wypadkach wpływać na zróżnicowanie głębokości umieszczania nasion, której skutkiem będzie nierównomierność wschodów [8, 9, 11, 13, 31]. Stanowi to dodatkowy czynnik wpływający negatywnie na plonowanie (tab. 6). Najmniejsze plony kukurydzy czterech odmian linii Delalb uzyskano z poletkach, na których wysiewu nasion dokonano rozsiewaczem tarczowym do nawozów mineralnych. Średni plon nasion wynosił 9300 kg·ha⁻¹. Na rys. 2 przedstawiono widok plantacji kukurydzy otrzymanych z nasion wysiewanych na dwóch głębokościach.

Tab. 6. Wpływ głębokości i sposobu siewu kukurydzy na plony nasion ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)¹ czterech odmian linii Dekalb [32]

Odmiana	Głębokość siewu/ Sposób		
	1, 2 cm	5,1 cm	Rzutowy (rozsiawacz)
DKC66-18 VT2P	13500	17250	10200
DKC64-35 VT2P	9900	12600	8400
DKC67-44 VT2P	11100	12300	8700
DKC70-27 VT2P	12150	13200	9600
Średnia	11700	13800	9300



Rys. 2. Wpływ głębokości siewu kukurydzy (1,2 cm – lewa strona plantacji, 5 cm – prawa strona plantacji) na stan roślin w fazie rozwoju liści [32]

Wyniki badań Coxa i Cherney'a [30] wykazały, że zalecany siew kukurydzy na głębokości w zakresie od 2,5 do 6,4 cm można uznać za optymalny. Zależy on jednak od odmiany kukurydzy, warunków glebowo-klimatycznych i terminu siewu. Siew na głębokości mniejszej niż 2,5 cm wiąże się z większym ryzykiem zmniejszenia populacji roślin w porównaniu do siewu na głębokość 6,4 cm. Głębokość w zakresie od 3,8 do 6,4 cm jest zalecana do siewu kukurydzy na dobrze odwodnionych glebach ilasto-gliniastych, a także mniej odwodnionych glebach lekkich.

Sharma i in. [33] wykazali brak znaczących różnic w plonach nasion kukurydzy, którą wysiewano na głębokościach 3,8 i 6,4 cm. Średnie plony kukurydzy uzyskane z nasion wysiewanych na głębokości 3,8 cm były tylko o 4% mniejsze w porównaniu z tymi, które wysiewano głębiej.

Niektóre opracowania z USA zawierają zalecenia dla farmerów, które dotyczą unikania siewu kukurydzy na głębokościach mniejszych niż 38 mm [34, 35, 36]. Jeśli warunki wilgotnościowe gleby są optymalne, to głębokość siewu powinna zawierać się w zakresie od 38 do 51 mm. Głębszy siew (od 64 do 76 mm) zalecany jest wtedy, gdy gleba jest sucha.

Wyniki trzyletnich badań Stewarta i in. [27] wykazały, że plony nasion kukurydzy zależały głównie od: rodzaju gleby aluwialnej (piasek luźny, glina piaszczysto-ilasta, ił zwykły), warunków atmosferycznych w poszczególnych latach (2017-2019) i głębokości siewu (3,8-7,7 cm). Plon nasion kukurydzy uprawianej na glebach z zawartością frakcji piaszkowej w zakresie od 27,3 do 47,9 % (ił zwykły, glina piaszczysto-ilasta) wyniósł średnio $15\,900\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Stanowi to ponad 140%

średniego plonu kukurydzy uprawianej na glebach z dużą zawartością frakcji piaszkowej (piasek luźny, glina piaszczysta, glina piaszczysto-ilasta). W 2017 roku plony były największe i wynosiły średnio: $17\,700\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ na glebach z zawartością frakcji piaszkowej nie więcej niż 47,9% oraz $13\,500\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ na glebach z zawartością frakcji iłowej co najmniej 27,4%. Wynikało to głównie z korzystnych warunków atmosferycznych: 31 mm deszczu w okresie 4-15 dni po siewie, około 17°C średniej temperatury powietrza w okresie 15 dni po siewie. Warto jednak dodać, że niekorzystne warunki atmosferyczne (brak deszczu w okresie 0-10 dni po siewie, 5°C średniej temperatury powietrza w okresie 0-3 dni po siewie) w roku 2018 wpłynęły na znaczne obniżenie plonów kukurydzy uprawianej na glebach piaszczystych; średnia wartość $8100\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Jest to wartość ponad dwukrotnie mniejsza od średnich plonów kukurydzy uprawianej na glebach ilastych (około $16\,500\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

4. Równomierność rozmieszczenia nasion w rzędzie

Na podstawie wyników wieloletnich badań prowadzonych w USA wykazano, że potencjalne straty plonu nasion kukurydzy powodowane nierównomiernością rozmieszczenia roślin w rzędzie mogą być oszacowane na podstawie standardowego odchylenia odległości między nimi [12, 35]. Jednakże do ich oszacowania niezbędna jest znajomość wskaźników strat jednostkowych (WSJ), które wyznaczano na podstawie wyników badań prowadzonych w różnych rejonach stanu Indiana [35]. Należy jednak dodać, że wartość jednostkowego poziomu potencjalnych strat

plonu, wyrażanego w masie nasion odniesionej do jednego centymetra odchylenia standardowego i jednego hektara powierzchni zależała w znacznym stopniu od warunków uprawy (sześć rejonów stanu Indiana). Ze względu na znaczne różnice wartości tego wskaźnika nie może on mieć uniwersalnego zastosowania. Średnia wartość tego wskaźnika wynosiła $78,7 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ ($2,5 \text{ bu} \cdot \text{in}^{-1} \cdot \text{ac}^{-1}$). Wymieniona wartość pochodzi z zamiany jednostki $\text{bu} \cdot \text{in}^{-1} \cdot \text{ac}^{-1}$ (buszel amerykański łuskanej kukurydzy = 31,751 kg, a do przeliczania jednostek w tym opracowaniu przyjęto 32 kg, cal = 2,54 cm, akr = 0,4 ha). Obliczanie potencjalnych strat plonu nasion kukurydzy, wynikające z nierównomierności odległości między roślinami, bazuje na przyjęciu założenia, że odchylenie standardowe odległości wynoszące około dwóch cali (5 cm) jest uznawane za wielkość niezależną od techniki siewu (np. rodzaj i stan techniczny siewnika, warunki eksploatacyjne, dobór parametrów pracy). Jest to wielkość zależna tylko od zdolności wykiełkowania nasion w warunkach polowych (w zakresie od 90 do 95%) [35]. Wymieniona poprzednio wartość 5 cm stanowi odchylenie standardowe odległości między roślinami, które pochodzą z nasion wysianych równomiernie w warunkach polowych. Jako odniesienie przyjmowano wtedy standardowe odchylenie 5 cm, a potencjalne straty plonu nasion (PSP) obliczano według następującego wzoru:

$$\text{PSP} = 7870 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1} (\text{SD} - 5 \text{ cm}) \cdot m_A^{-1}, \% \quad (1)$$

gdzie:

- SD – standardowe odchylenie odległości między roślinami w rzędzie, cm
- m_A – plon nasion kukurydzy, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Potencjalne straty plonu nasion kukurydzy nie mogą być obliczane według wzoru (1) jeśli standardowe odchylenie odległości między roślinami w rzędzie będzie mniejsze niż 5 cm. Przykładem mogą być wyniki badań nowej generacji siewników do kukurydzy [8, 17, 25]. Podstawą opracowania równania (1) były wyniki badań, które prowadzono w latach 1987-1993. Stosowane wtedy siewniki nie zapewniały

precyzyjnego wysiewu nasion. Przykładem może być rozkład standardowego odchylenia odległości między roślinami kukurydzy uprawianej na 354 polach w stanach Indiana i Ohio, z którego wynika, że aż 24% ich liczebności przekracza 12,7 cm [35]. Wymieniona wartość odchylenia jest w znacznym przybliżeniu równa wymaganej odległości nasion kukurydzy w rzędzie [17, 25]. Standardowe odchylenie odległości między roślinami kukurydzy w rzędzie, które otrzymano z nasion wysiewanych siewnikiem 1725 NT ExactEmerge™ firmy John Deere zawierało się w zakresie od 2,1 do 2,4 cm [17]. Natomiast wyniki badań siewnika Maestro 30 SW firmy Horsch wykazały, że wartość SD zawierała się z granicach 4,8-8,9 cm [8].

Wskaźnik jednostkowych strat nasion kukurydzy, opracowany na podstawie jednorocznych wyników badań prowadzonych w czterech farmach położonych na terenie trzech stanów (Minnesota, Missouri i Iowa) ma średnią wartość $106,3 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ (od 31,5 do $189 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$), tab. 7. Najmniejsza wartość tego wskaźnika dotyczy kukurydzy z poletok zlokalizowanych w stanie Missouri. Wynika to przede wszystkim z bardzo małej obsady roślin (około 47840 ha^{-1}), pomimo że standardowe odchylenie odległości między nimi wynosiło 175,3 mm. Wymieniona wartość stanowi 63,9% średniej odległości między roślinami kukurydzy. Największy wskaźnik strat jednostkowych dotyczy plantacji z największą obsadą roślin. Na szczególne podkreślenie zasługuje współczynnik korelacji Pearsona określający poziom zależności liniowej pomiędzy potencjalnymi stratami plonu nasion kukurydzy a wskaźnikiem jednostkowych strat; wynosi on minus 0,46. Świadczy to o tym, że wraz ze zwiększaniem się wskaźnika jednostkowych strat zmniejszają się potencjalne straty plonu nasion. Zupełnie odmienny poziom zależności liniowej występuje pomiędzy tego typu zmiennymi, które otrzymano na podstawie badań Nielsena [35]. Współczynnik korelacji Pearsona ma wartość dodatnią i wynosi 0,936. Trudno więc uznać wskaźnik jednostkowych strat nasion kukurydzy jako zmienną niezależną, która byłaby wiarygodna w wyjaśnianiu zmienności potencjalnych strat plonu.

Tab. 7. Wskaźnik jednostkowych strat (WSJ) i potencjalne straty plonu nasion (PSP) czterech odmian kukurydzy uprawianej w trzech stanach USA [12]

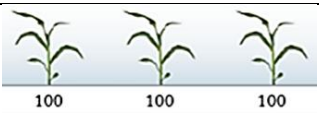
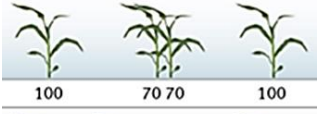
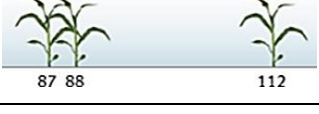
Lokalizacja	Odmiana	X_T , mm	X_S , mm	SD, mm	CV, %	Plon, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$	WSJ, $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$	PSP, %
Missouri	34B28	177,8	274,3	175,3	63,9	8160	31,5	6,3
Iowa 1	34B24	177,8	157,5	81,3	51,6	11120	189,0	12,0
Iowa 2	33G30	177,8	180,3	91,4	50,7	13040	97,6	6,3
Minnesota	35R58	177,8	180,3	96,5	53,5	15440	107,1	6,3
Średnia			198,1	111,1	54,9	11940	106,3	7,7

³ X_T – teoretyczna odległość między nasionami, ⁴ X_S – średnia odległość między nasionami, ⁵SD – odchylenie standardowe odległości między nasionami, CV – współczynnik zmienności, WSJ – wskaźnik strat jednostkowych plonu

Przedmiotem badań Doerge i in.[2020] była ocena wpływu konfiguracji rozmieszczenia roślin w rzędzie na plony nasion z nich pozyskiwane. Podstawą porównań był plon trzech roślin równomiernie rozmieszczonych (tab. 8). Wyniki tych badań wskazują, że zmniejszenie liczby roślin w rzędzie o 33% wpływa na obniżenie plonu ogólnego nasion, pomimo że plony z pozostałych roślin są nieznacznie większe. Plon względem zestawu (1) był jednak o 23% mniejszy. Warto jednak zwrócić uwagę na fakt, że jeśli spośród dwóch odległości między kolejnymi roślinami jedna zostanie zmniejszona o 25% lub 50% kosztem drugiej, to plon ogólny nie zmniejszy się. Nieznaczne zmniejszenie plonu będzie wtedy, gdy jedna z odległości będzie stanowić tylko 25% równomiernego odstępu. Plon nasion jednej z tych trzech roślin jest wtedy większy o 12% względem plonu roślin z zestawu (1). Takie wnioskowanie jest uprawnione tylko wtedy, jeśli uwzględni się te trzy rośliny. Jednakże w przypadku rozmieszczenia roślin, w którym połowa odległości byłaby o 75% mniejsza od pożądanej kosztem drugiej połowy odległości, to plon zmniejszy się wtedy o około 12,5%. Podwójnie wysiane nasiona wpływają na zwiększenie plonu o 13% w porównaniu

do konfiguracji (1). W podsumowaniu można stwierdzić, że zmniejszenie liczby wysianych nasion kukurydzy w rzędach, wynikające z niewłaściwej jakości pracy siewników (przepustów), powoduje obniżenie ogólnego plonu nasion. Większy plon nasion z poszczególnych roślin nie równoważy strat wynikających z mniejszej ich liczby w rzędzie [13, 37]. Natomiast wyniki badań prowadzonych w Słowenii wykazały, że prędkość robocza (w zakresie od 7 do 11 km·h⁻¹) siewnika ED 302 Contour firmy Amazone nie miała istotnego wpływu na plony nasion oraz plony suchej masy roślin przeznaczanych na produkcję kiszonki [38]. Wykazano również, że siew kukurydzy z dużą prędkością roboczą był korzystniejszy pod względem mniejszego zużycia paliwa i nasion. Natomiast wyniki badań Jasy [39] wykazały korzyści ekonomiczne z bardziej precyzyjnego siewu z prędkością 8 km·h⁻¹ w porównaniu z siewem z prędkością półtora raza większą. Zestawienie konkluzji z wymienionych badań wydaje się nie w pełni zasadne, gdyż stosowane siewniki różnią się znacznie walorami eksploatacyjnymi. Siewnik ED 302 Contour był wówczas maszyną nowej generacji, która mogła właściwie pracować przy prędkościach do 12 km·h⁻¹.

Tab. 8. Wpływ konfiguracji odstępów między roślinami kukurydzy na ich względne plony nasion [28]

Opis konfiguracji (wysiewu)	Schemat konfiguracji ¹	Wzg. zmiana plonu zestawu, %	Plon względem zestawu (1), %
(1) Równomierny odstęp między roślinami ¹		0	100
% plonu			
Pojedynczy przepust		-27	73
% plonu			
Podwójnie wysiane nasiona		13	113
% plonu			
Odstęp między roślinami mniejszy o 25%		1	1,01
% plonu			
Odstęp między roślinami mniejszy o 50%		0	100
% plonu			
Odstęp między roślinami mniejszy o 75%		-4	96
% plonu			

¹odległość między roślinami 6 cali

5. Podsumowanie

Głębokość umieszczania nasion w glebie oraz równomierność ich rozstawu w rzędach są obecnie przedmiotem wielu badań, których celem jest dobór zapewniający optymalne plonowanie różnych odmian w zmieniających warunkach środowiska glebowego. Stanowi to podstawę do produkcji siewników umożliwiających wysiew o zmiennej obsadzie nasion i głębokości ich

umieszczania w glebie. Systemy automatycznej kontroli sekcji wysiewających bazują wtedy na informacjach o zmienności gleby pozyskiwanej w czasie realizowanego zabiegu poprzez różnego rodzaju czujniki. Jest to możliwe dzięki elektrycznemu napędowi sekcji wysiewających, którymi można niezależnie sterować. Nowa generacja siewników precyzyjnych pozwala na wysiew nasion kukurydzy z prędkością roboczą do 20 km·h⁻¹.

Literatura

- [1] Yazgi A., Degirmencioglu A. 2014. Measurement of seed spacing uniformity performance of a precision metering unit as function of the numbers holes on vacuum plate. *Measurement*, 56: 128–135.
- [2] Siemens M.C., Gayler R. 2015. Improving seed spacing uniformity of precision vegetable planters. Paper number: 152190060. 2015 ASABE Annual International Meeting, July 26–29, 2015. New Orleans, Louisiana. <https://www.researchgate.net/publication/280578894> [2022-08-04].
- [3] Liu Q., He X., Yang L., Zhang D., Cui T., Qu Z., Yan B., Wang M., Zhang T. 2017. Effect of travel speed on seed spacing uniformity of corn seed meter. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 8(4): 98–106. <https://www.ijabe.org> [2022-08-07].
- [4] Quanwei L., Xiantao H., Li Y., Dongxing Z., Gao C., Zhe Q., Bingxin Y., Mantao W., Tianliang Z. 2017. Effect of travel speed on seed spacing uniformity of corn seed meter. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(4): 98–107. <https://ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/2675/0> [2022-10-06].
- [5] Elmore R. 2022. Planter speed affect on plant spacing. <https://crops.extension.iastate.edu/encyclopedia/planter-speed-affect-plant-spacing> [2022-08-09].
- [6] Fanigliulo R., Grilli R., Benigni S., Fornaciari L., Biocca M., Pochi D. 2022. Effect of sowing speed and width on spacing uniformity of precision seed drills. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 66(1): 9–18. <https://api.inmateh.eu/public/uploads/66-01-N605-FANIGLIULO05b60479-bda0-45ab-a3da-97c85c297f27.pdf> [2022-07-22].
- [7] Mohammed M.A.A., Al-Rawi A-M.H., Mohammed Dlem T.J. 2020. The effect of forwarding speed and sowing depth on the stability of the chisel furrow openers for the maize planter (Özduman) and effect on field performance indicators. *Plant Archives*, 20(2): 6219–6227. [http://plantarchives.org/20-2/6219-6227%20\(6851\).pdf](http://plantarchives.org/20-2/6219-6227%20(6851).pdf) [2022-07-28].
- [8] Badua S.A., Sharda A., Strasser R., Ciampitti I. 2021. Ground speed and planter downforce influence on corn seed spacing and depth. *Precision Agriculture*, 22(5): 1154–1170. DOI:10.1007/s11119-020-09775-7 [2022-09-09].
- [9] Nemergut K.T., Thomison P.R., Carter P.R., Lindsey A.J. 2021. Planting depth affects corn emergence, growth and development, and yield. *Agronomy Journal*, 113(4): 3351–3360. DOI: 10.1002/agj2.20701 [2022-09-09].
- [10] Cummins M. 2022. Corn planting depth, down force, singulation and soil contact studies in AGCO Crop Tour. <https://myfarmlife.com/crop-care/2018-agco-crop-tour-results/> [2022-09-13].
- [11] Lauer J. 2022. Seeding depth affects corn plant emergence uniformity and grain yield. <https://ipcm.wisc.edu/blog/2022/04/seeding-depth-affects-corn-plant-emergence-uniformity-and-grain-yield/> [2022-09-09].
- [12] b [2022-09-15].
- [13] Dufour J. 2021. Effects of plant spacing variability and non-uniform emergence on corn yield. LSU Master's Thesis. 5410. https://digitalcommons.lsu.edu/gradschool_theses/5410 [2022-08-01].
- [14] He X., Zhang D., Yang L., Cui T., Ding Y., Zhong X. 2021. Design and experiment of a GPS-based turn compensation system for improving the seeding uniformity of maize planter. *Computers and Electronics*, 187 (C). Article number 106250 (11 pages). <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106250> [2022-10-03].
- [15] Schrödl J., Mosch G. 1995. Einzelkornsämaschine Accord-Optima. 4reihing, mit Reihendüngerstreuer für Maisaussaat und 7reihing für Ackerbohnenaussaat. Prüfbericht DLG 4432.
- [16] Schrödl J., Mosch G. 1997. Einzelkornsämaschine Gaspardo ST. 6reihing, mit Reihendüngerstreuer für Maisaussaat. Prüfbericht DLG 4658.
- [17] Schuchmann G.H. 2016. John Deere 1725 NT ExactEmerge™ corn planter. Function Test including fertilizer distribution across rows. DLG Test Report 6320.
- [18] Kuş E. 2021. An attempt to evaluate the performance parameters of a precision vacuum seeder in different seed drop height. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(3): 1846–1853. DOI: 10.21597/jist.930974 [2022-07-20].
- [19] Virtual Tour | John Deere ExactEmerge™. 2022. https://www.youtube.com/watch?v=XebeXoHOI_0 [2022-08-02].
- [20] Liu Q., Cui T., Zhang D., Yang L., Wang Y., He X., Wang M. 2018. Design and experimental study of seed precise delivery mechanism for high-speed maize planter. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(4): 81–87. <https://www.ijabe.org> [2022-09-09].

- [21] Yazgi A. 2016. Effect of seed tubes on corn planter performance. *Applied Engineering in Agriculture*, 32(6): 783-790. DOI 10.13031/aea.11274 [2022-09-09].
- [22] Li H., Liu H., Zhou J., Wei G., Shi S., Zhang X., Zhang R., Zhu H., He T. 2021. Development and first results of a no-till pneumatic seeder for maize precise sowing in Huang-Huai-Hai Plain of China. *Agriculture*, 11. Article number 1023 (22 pages). <https://doi.org/10.3390/agriculture1110102> [2022-06-27].
- [23] Perfect Singulation. 2022. <https://www.precisionplanting.com/products/product/vset> [2022-09-09].
- [24] Staggenborg S.A., Taylor R.K., Maddux L.D. 2004. Effect of planter speed and seed firmers on corn stand establishment. *Applied Engineering in Agriculture*, 20(5): 573-580. doi: 10.13031/2013.17457 [2022-07-20].
- [25] Schuchmann G.H. 2020. 6-row precision drill Amazone Precea 4500-2CC Super with the precis fertiliser metering system. DLG Test Report 7093.
- [26] Novak L., Ransom J. 2018. Factors impacting corn (*Zea mays* L.) establishment and the role of uniform establishment on yield. *Agricultural Sciences*, 9(10): 1317-1336. DOI: 10.4236/as.2018.910092 [2022-09-14].
- [27] Stewart S., Kitchen N., Yost M., Conway L.S., Carter P. 2021. Planting depth and within-field soil variability impacts on corn stand establishment and yield. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 4(3). Article number 20186 (12 pages). <https://doi.org/10.1002/agg2.20186> [2022-09-10].
- [28] Doerge T., Jeschke M., Carter P. 2020. Planting outcome effects on corn yield. *Crop Insights*, 25(1): 1-7. <https://www.pioneer.com/content/dam/dpagco/pioneer/na/ca/en/files/articles/DF-Planting-Outcome-Effects-on-Corn-Yield-English.pdf> [2022-09-09].
- [29] Cox B. 2014. How does corn planting depth affect stand establishment?. <https://blogs.cornell.edu/whatscoppin-gup/2014/07/25/how-does-corn-planting-depth-affect-stand-establishment/> [2022-09-10].
- [30] Cox W.J., Cherney J.H. 2015. Field-scale studies show site-specific corn population and yield responses to seeding depths. *Agronomy Journal*, 107(6): 2475-2481. <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2134/agronj15.0308> [2022-09-12].
- [31] Achieving consistent emergence. 2022. <https://www.precisionplanting.com/agronomy/research/achieving-consistent-emergence> [2022-09-09].
- [32] Effects of corn seed placement on yield potential. 2020. <https://www.dekalbasgrowdeltapine.com/en-us/agronomy/effects-of-corn-seed-placement-on-yield-potential.html> [2022-09-06].
- [33] Sharma S., Warren J., Lofton J., Henry W., Murley C. 2019. Optimum planting depth for uniform germination and emergence of corn. 2019. <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/optimum-planting-depth-for-uniform-germination-and-emergence-of-corn.html> [2022-09-10].
- [34] Abendroth L.J., Woli K.P., Myers A.J.W., Elmore R.W. 2017. Yield-based corn planting date recommendation windows for Iowa. *Crop Forage & Turfgrass Management*, 3(1): 1-7. DOI: 10.2134/cftm2017.02.0015 [2022-09-09].
- [35] Nielsen R.L. 2022. Stand establishment variability in corn. Agronomy Department, Purdue University. AGRY-91-01: 2-10. https://www.agry.purdue.edu/ext/pubs/AGRY-91-01_v5.pdf [2022-09-19].
- [36] Nielsen R.L. 2006. Effect of plant spacing variability on corn grain yield. <https://www.agry.purdue.edu/ext/corn/research/psv/report2005.pdf> [2022-09-19].
- [37] Thompson T. 2013. Within-row spacing on individual corn plant yield. Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science in Crop Sciences in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign. <https://core.ac.uk/download/pdf/19529748.pdf> [2022-09-17].
- [38] Vučajnk F., Šantavec I., Kocjan Ačko D., Rakun J., Verbič J., Bernik R., Trdan S., Vidrih M. 2020. Increased planting speed did not affect silage and grain yield of maize, while saving seed and energy. *Italian Journal of Agronomy*, 15: 206-213. <https://www.agronomy.it/index.php/agro/article/view/1612/1179> [2022-09-18].
- [39] Jasa P. 2022. Increased planting speed can cost yields. <https://cropwatch.unl.edu/increased-planting-speed-can-cost-yields> [2022-09-13].

