

RAPORT KOŃCOWY Z REALIZACJI PRAC BADAWCZO-ROZWOJOWYCH

Dot. Projektu realizowanego w ramach działania „Współpraca”

Grupa operacyjna – „KU-MASZ” (umowa nr 000103.DDD.6509.00189.2022.10)

**Innowacyjne rozwiązania techniczne maszyny wielofunkcyjnej (wieloczynnościowej)
do pogłównego doglebowego wysiewu mineralnych nawozów azotowych, poplonów
oraz do chemicznego i mechanicznego niszczenia chwastów oraz ochrony wód
i klimatu w uprawie kukurydzy**

**Opracowano przez zespół
Międzynarodowej Akademii Nauk Stosowanych w Łomży
pod redakcją dr. hab. inż. Piotra Markowskiego, prof. UWM**

Projekt realizowany jest w ramach grupy operacyjnej Ku-masz:

Międzynarodowa Akademia Nauk Stosowanych w Łomży 
18-402 Łomża, ul. Studencka 19

Podlaski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Szepietowie
Szepietowo-Wawrzyńce 64, 18-210 Szepietowo



ADRAF | Producent maszyn rolniczych 
88-210 Dobro, ul. Fabryczna 2D

Piotr Piechociński – Gospodarstwo Rolne
Stare Bóżejewo

Spis treści

1. Wprowadzenie
2. Cel i zakres projektu
 - 2.1. Cel projektu
 - 2.2. Zakres projektu
3. Założenia konstrukcyjne maszyny wieloczynnościowej
4. Opis konstrukcji maszyny wieloczynnościowej
5. Metodyka badań
 - 5.1. Charakterystyka doświadczenia
 - 5.1.1. Miejsce, obiekt i przedmiot badań
 - 5.1.2. Metoda zwalczania chwastów
 - 5.1.3. Warunki przyrodnicze
 - 5.1.4. Metody oceny wschodów roślin
 - 5.1.5. Pomiary głębokości siewu
 - 5.1.6. Pomiary rozmieszczenia wschodzących roślin w rzędzie
 - 5.1.7. Parametry roślin kukurydzy oraz struktura kolb
 - 5.2. Przygotowanie próbek do badań chemicznych
6. Wyniki badań i ich analiza
 - 6.1. Wschody roślin
 - 6.1.1. Kukurydzy
 - 6.1.2. Roślin wysianych na poplon
 - 6.2. Plon ziarna
 - 6.3. Plon zielonki
7. Podsumowanie wyników projektu

1. Wprowadzenie

Z roku na rok zwiększa się w Polsce znaczenie kukurydzy jako rośliny rolniczej, zarówno w produkcji paszowej, jak i przemysłowej. Powierzchnia jej uprawy według danych Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa (ARiMR) w 2021 roku wyniosła 1,73 mln hektarów. Intensyfikacja uprawy kukurydzy niesie jednak ze sobą szereg wyzwań związanych z jej wpływem na środowisko glebowe i ekonomię gospodarstw rolnych.

Kukurydza, z racji swojej specyfiki rozwoju – małej obsady, szerokich rzędów siewu oraz powolnego tempa wzrostu w początkowych fazach rozwoju – pozostawia glebę odsłoniętą na długi czas, zwiększając ryzyko erozji wodnej i wietrznej. Uprawa tej rośliny, szczególnie w monokulturze, prowadzi do degradacji struktury gleby, obniżenia poziomu substancji organicznej oraz zachwaszczenia plantacji. Ponadto, zbiór kukurydzy realizowany jest za pomocą ciężkich maszyn, które dodatkowo przyczyniają się do zagęszczenia gleby i pogorszenia jej właściwości fizycznych. W gospodarstwach specjalizujących się w produkcji bydła, gdzie kukurydza często stanowi podstawowy składnik paszowy, problemy te ulegają nasileniu w wyniku intensyfikacji monokulturowych upraw.

Celem utrzymania plonowania kukurydzy na zadowalającym poziomie, rolnicy zmuszeni są do zwiększania nakładów na środki produkcji – nawozy mineralne, środki ochrony roślin oraz paliwo. W efekcie rosną koszty produkcji, a negatywny wpływ uprawy na środowisko ulega pogłębieniu.

W odpowiedzi na te wyzwania zaproponowano innowacyjne podejście do technologii uprawy kukurydzy, oparte na pogłównym aplikowaniu nawozów mineralnych w trakcie sezonu wegetacyjnego oraz jednoczesnym wysiewie nasion poplonów ścierniskowych. Dzięki precyzyjnemu wprowadzeniu nawozów do gleby w optymalnym momencie rozwoju rośliny możliwe jest ograniczenie strat składników pokarmowych, w szczególności azotu, oraz zwiększenie efektywności ich wykorzystania. Jednocześnie wprowadzenie wsiewek poplonowych poprawia właściwości gleby, ogranicza erozję oraz wzbogaca środowisko glebowe w materię organiczną.

W ramach prowadzonych badań oceniona zostanie skuteczność działania wielofunkcyjnej maszyny do pogłównego doglebowego wysiewu nawozów azotowych, nasion poplonów oraz chemicznego i mechanicznego niszczenia chwastów. Zaproponowane rozwiązania mają na celu nie tylko poprawę jakości i wysokości plonu kukurydzy, ale także przyczynienie się do ochrony gleby, wód gruntowych oraz klimatu.

Zaprojektowany układ roboczy maszyny umożliwia wprowadzenie nawozów mineralnych bezpośrednio do gleby za pomocą redlic, ograniczając straty amoniaku do atmosfery i zwiększając efektywność nawożenia. Wprowadzenie nawozów w późniejszej fazie rozwoju kukurydzy (faza 6–8 liścia) ma na celu ograniczenie strat składników pokarmowych i poprawę wykorzystania azotu przez rośliny. Jednoczesne wykonanie podsiewu wsiewek poplonowych umożliwia poprawę bilansu materii organicznej w glebie, zwiększenie jej zdolności retencyjnych oraz ograniczenie strat składników odżywczych do wód gruntowych.

Zastosowanie poplonów w technologii uprawy kukurydzy pozwala na stworzenie okrywy glebowej, która ogranicza emisję amoniaku i zmniejsza ryzyko erozji. Ponadto rozwój poplonów przyczynia się do sekwestracji węgla organicznego w glebie, co ma istotne znaczenie w kontekście przeciwdziałania zmianom klimatycznym. Wsiewki poplonowe wpływają również korzystnie na strukturę gleby oraz aktywność mikrobiologiczną, co sprzyja poprawie jej właściwości biologicznych i fizykochemicznych.

W trakcie realizacji projektu zostaną zweryfikowane następujące założenia innowacyjnego rozwiązania:

- redlicowy układ wysiewu nawozów umożliwi ograniczenie strat azotu poprzez jego bezpośrednie wprowadzenie do gleby.
- przesunięcie terminu nawożenia azotowego na fazę 6–8 liścia wpływa korzystnie na wschody i rozwój roślin kukurydzy.
- wysiew wsiewek poplonowych w późniejszym okresie ogranicza ryzyko konkurencji młodych roślin z kukurydzą.
- możliwość łącznego wykonania kilku zabiegów agrotechnicznych zmniejsza liczbę przejazdów maszyn, ograniczając negatywne oddziaływanie na glebę oraz zużycie paliwa.

Oddziaływanie zaproponowanego rozwiązania będzie szczególnie istotne w gospodarstwach prowadzących uprawę kukurydzy w systemach uproszczonych, w tym w systemach bezorkowych oraz w gospodarstwach specjalizujących się w produkcji zwierzęcej. Efekty zastosowania innowacyjnej maszyny mogą mieć znaczenie nie tylko na poziomie gospodarstwa rolnego, ale także w skali regionalnej i krajowej, a także w krajach Europy o podobnych warunkach klimatyczno-glebowych.

W ramach prowadzonych badań szczegółowej analizie poddane zostaną zarówno aspekty technologiczne opracowanego rozwiązania, jak i jego wpływ na właściwości gleby, jakość plonów oraz aspekty środowiskowe. Projekt stanowi odpowiedź na rosnące potrzeby związane ze zrównoważonym rozwojem rolnictwa, racjonalnym gospodarowaniem zasobami środowiskowymi oraz wdrażaniem innowacyjnych technologii sprzyjających ochronie klimatu.

2. Cel i zakres projektu

2.1. Cel projektu

Celem realizacji zaplanowanych działań w ramach projektu jest zwiększenie efektywności nawożenia pogłównego nawozami azotowymi w uprawie kukurydzy, poprawa skuteczności uprawy wsiewek poplonowych oraz zwiększenie efektywności zwalczania chwastów, w szczególności w systemach uprawy bezorkowej i monokulturowej. Osiągnięcie powyższych efektów ma prowadzić do poprawy wydajności oraz jakości plonu kukurydzy, zarówno w zakresie produkcji ziarna, jak i zielonej masy roślinnej.

Kluczowym elementem badań jest zastosowanie innowacyjnego prototypu wielofunkcyjnej maszyny przeznaczonej do pogłównego, doglebowego wysiewu mineralnych nawozów azotowych, nasion poplonów oraz do chemicznego i mechanicznego niszczenia chwastów. Urządzenie wyposażone jest w szereg nowatorskich rozwiązań konstrukcyjnych, mających na celu zwiększenie precyzji aplikacji środków produkcji oraz minimalizację strat zasobów glebowych i składników pokarmowych.

W badaniach ocenie podlegać będzie skuteczność systemu wysiewu nawozów umożliwiającego dokładne umiejscowienie granulek nawozowych w bezpośredniej bliskości systemu korzeniowego roślin kukurydzy, zapewniając tym samym ich lepsze wykorzystanie. Przewiduje się również analizę jakości i równomierności wschodów roślin poplonowych wysiewanych w układzie wsiewki w fazie 6–8 liścia kukurydzy, a także skuteczności chemicznego i mechanicznego ograniczania zachwaszczenia w międzyrzędziach.

Oczekiwanym rezultatem zastosowania nowego rozwiązania będzie zmniejszenie strat wilgoci w glebie, ograniczenie procesów mineralizacji materii organicznej, redukcja strat azotu oraz zmniejszenie ryzyka erozji wodnej i wietrznej. Jednoczesne łączenie kilku zabiegów agrotechnicznych w ramach jednego przejazdu ma prowadzić także do zmniejszenia liczby operacji polowych, ograniczenia zużycia paliwa oraz zmniejszenia nacisku układów jezdnych na glebę.

Realizacja projektu pozwoli na wdrożenie nowoczesnych rozwiązań w technologii uprawy kukurydzy, przyczyniając się do poprawy efektywności gospodarowania zasobami oraz ograniczenia negatywnego wpływu rolnictwa na środowisko.

2.2. Zakres projektu

- I. Zbudowanie prototypu maszyny wielofunkcyjnej do pogłównego doglebowego wysiewu mineralnych nawozów azotowych, poplonów, oraz do chemicznego i mechanicznego niszczenia chwastów. Maszyna będzie wyposażona w ząb z redlicą z regulacją głębokości wysiewu nawozu, na zadaną głębokość najbliższej obszaru zajmowanego przez system korzeniowy roślin kukurydzy oraz w innowacyjny redlicowy system wysiewający z regulacją głębokości siewu poplonów, gwarantujący lepsze kiełkowanie nasion i wschody siewek, równomierniejsze pokrycie powierzchni pola (międzyrzędzi) oraz ochronę gleby przed erozją wodną i wietrzną. W budowanym prototypie zastosowane będą dodatkowo: skrzynia nawozowa, zbiornik na ciecz użytkową (środki ochrony roślin) oraz

zamontowany na współpracującym ciągniku globalny system jazdy automatycznej GPS do kontroli prostoliniowości i równoległości przejazdów roboczych w trakcie zakładania i prowadzenia plantacji.

- II. Wyznaczenie (za pomocą tradycyjnych metod pomiarowych) obiektów eksperymentalnych i kontrolnych (bez doglebowego wysiewu nawozów azotowych i z tradycyjnym wysiewem poplonów) w obrębie wskazanego gospodarstwa rolniczego wchodzącego w skład konsorcjum (2 lokalizacje - kukurydza uprawiana na ziarno i na zieloną masę) w województwie podlaskim. Na wszystkich obiektach zostaną wykonane badania stanu istniejącego obejmujące: badania gleby (przed założeniem doświadczenia i po zbiorze) w zakresie oznaczenia: pH_{H_2O} i pH_{HCl} , zawartości N-ogółem, azotu mineralnego ($N-NH_4$ i $N-NO_3$), Corg. (próchnicy), przyswajalnych form P, K i Mg w glebie, badania roślin po zbiorze na zawartość makroelementów (N, P, K, Ca, Mg) w ziarnie, słomie i zielonce z kukurydzy.
- III. Wykonanie pogłównego doglebowo mineralnego nawożenia azotowego w fazie 6-8 liści roślin kukurydzy i ocena efektywności nawożenia w porównaniu do nawożenia pogłównego powierzchniowego bez mieszania nawozu z glebą. Badania efektywności zastosowania doglebowego pogłównego nawożenia mineralnego na plon zielonki i ziarna roślin kukurydzy (wskaźnik NDVI, plon, zawartość białka).
- IV. Wykonanie podsiewu dwoma metodami siewu: łącznego wysiewu nasion kukurydzy z poplonem oraz oddzielnego wysiewu nasion kukurydzy i poplonu w fazie 6-8 liści roślin kukurydzy. Do wysiewu poplonów zostaną dobrane rośliny w zależności od warunków siedliskowych.
- V. Ocena efektywności podsiewu, oprócz w/w wskaźników będzie oparta o wschody i stopień pokrycia roślinnością międzyrzędzi oraz plon zielonej masy.
- VI. Ocena efektów doglebowego wysiewu mineralnych nawozów azotowych oraz doglebowego wysiewu poplonów. Analiza uzyskanych danych pomiarowych badanych parametrów, danych z analiz materiału glebowego i roślinnego, obserwacji meteorologicznych i warunków wilgotnościowych. W tym celu zostaną utworzone bazy danych, które będą opracowywane matematycznie i statystycznie. Opracowanie technologii wysiewu doglebowego w okresie wegetacji roślin mineralnych nawozów azotowych oraz poplonów, upowszechnianie wyników prac badawczych i rozwojowych, w tym opracowanie broszury informacyjnej oraz zorganizowanie pokazów i prezentacji podczas seminarium i konferencji.

3. Założenia konstrukcyjne maszyny wieloczynnościowej

W celu wsparcia poprawy efektywności nawożenia kukurydzy oraz ograniczenia negatywnego wpływu uprawy na środowisko, w projekcie zaproponowano innowacyjne rozwiązania konstrukcyjne maszyny wielofunkcyjnej przeznaczonej do pogłównego dogłębowego wysiewu nawozów mineralnych, wysiewu poplonów oraz chemicznego i mechanicznego zwalczania chwastów w uprawie kukurydzy przeznaczonej na ziarno lub zieloną masę.

Proponowana maszyna ma na celu zmniejszenie liczby operacji agrotechnicznych poprzez łączenie kilku zabiegów w jednym przejeździe: nawożenia mineralnego, wsiewu poplonów oraz zwalczania chwastów. Takie rozwiązanie ogranicza stopień ugniatania gleby, zmniejsza zużycie paliwa, redukuje koszty produkcji oraz wpływa na poprawę warunków glebowych. Jednoczesne nawożenie i wysiew poplonów umożliwiają racjonalne gospodarowanie zasobami środowiskowymi oraz sprzyjają zwiększeniu efektywności wykorzystania składników pokarmowych.

Wprowadzenie nawozów azotowych bezpośrednio w strefę rozwoju systemu korzeniowego roślin, z wykorzystaniem redlic dostosowanych do zmiennych warunków siedliskowych i faz rozwojowych kukurydzy, pozwoli na ograniczenie strat azotu mineralnego, zwiększenie zawartości azotu w glebie oraz poprawę parametrów plonowania. Z kolei wysiew nasion roślin poplonowych na odpowiedniej, jednolitej głębokości w fazie 6–8 liścia kukurydzy minimalizuje ryzyko konkurencji poplonu z rośliną główną, gwarantując jednocześnie wysoką jakość i równomierność wschodów.

Dzięki trwałej okrywie roślinnej tworzonej przez poplony zmniejszy się ryzyko erozji gleby, nastąpi poprawa bilansu próchnicy, ograniczenie strat wody oraz wzrost sekwestracji węgla organicznego w glebie. Proponowane rozwiązania konstrukcyjne bezpośrednio wspierają cele zrównoważonego rozwoju rolnictwa poprzez efektywne wykorzystanie nawozów, poprawę jakości gleby i ochronę zasobów środowiskowych.

Wprowadzenie wielofunkcyjnej maszyny do praktyki rolniczej umożliwi również poprawę opłacalności produkcji poprzez ograniczenie kosztów nawożenia i ochrony roślin oraz zwiększenie wydajności i jakości plonów kukurydzy. W dalszej części rozdziału szczegółowo przedstawiono założenia konstrukcyjne urządzenia, charakterystykę zastosowanych zespołów roboczych oraz przewidywane efekty ich działania w warunkach polowych.

Zakres realizowanych badań obejmuje opracowanie konstrukcji i budowę prototypu maszyny wielofunkcyjnej wyposażonej w:

- układ zębów zakończonych redlicami do dogłębowego aplikowania nawozów mineralnych,
- układ redlic do dogłębowego wysiewu nasion poplonów,
- sekcję opryskową lub mechaniczną do niszczenia chwastów w międzyrzędziach,
- zbiorniki na nawóz, nasiona i środki ochrony roślin,
- zintegrowany układ napędowy oraz systemy regulacji poszczególnych zespołów roboczych.

Opracowany siewnik umożliwia jednocześnie przeprowadzenie nawożenia pogłównego, wysiewu wsiewki poplonowej oraz ograniczania zachwaszczenia w jednym przejeździe roboczym.

4. Opis konstrukcji maszyny wieloczynnościowej

Konstrukcja ramy wieloczynnościowej maszyny została wykonana z profili o przekroju kwadratowym i grubych ściankach, tworzących przestrzenną kratownicę. Układ ramy zakłada pełną symetrię rozmieszczenia zębów roboczych względem osi symetrii maszyny, co zapewnia równomierne obciążenie konstrukcji oraz optymalne warunki pracy narzędzi.

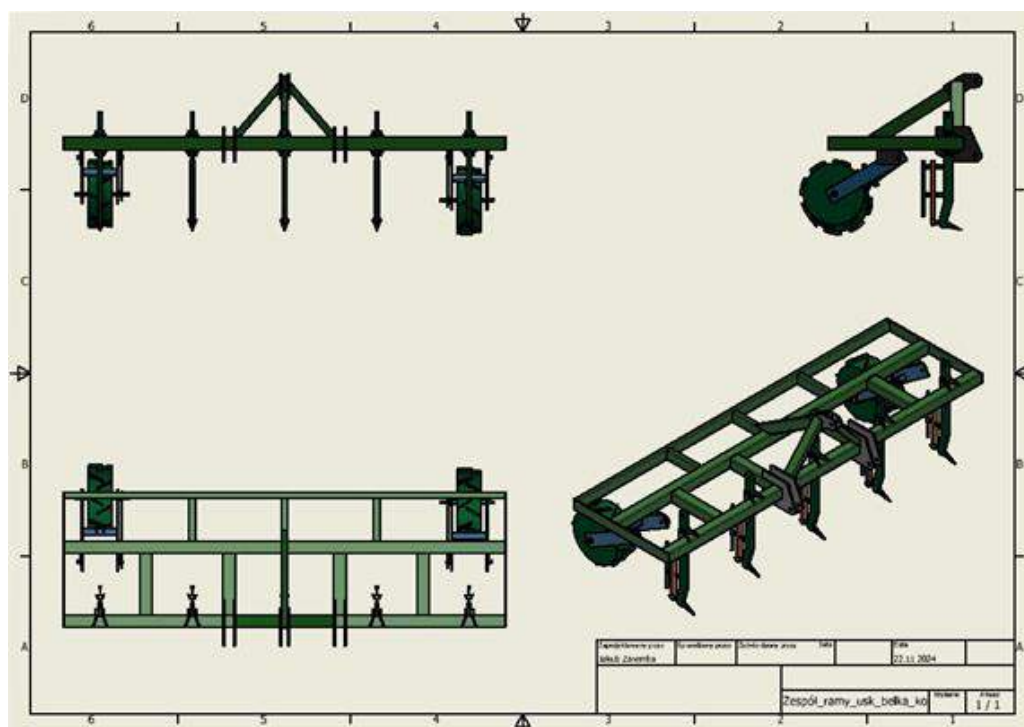
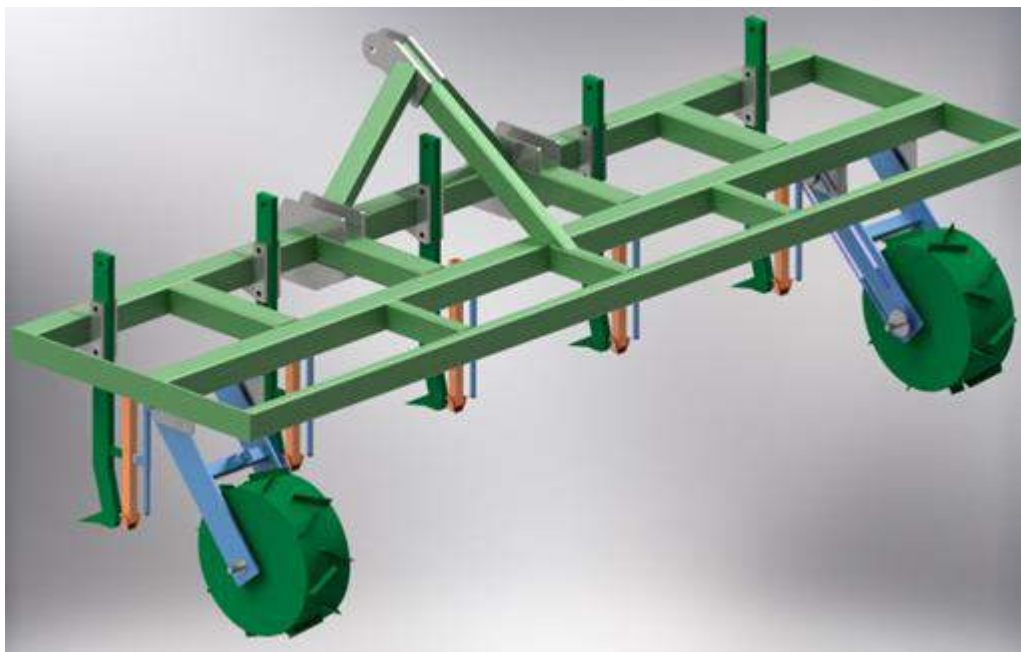
Do pierwszego profilu ramy (patrząc od strony ciągnika), w jednej linii, przesuwnie wzdłuż profilu zamocowano uchwyty zębów roboczych. Takie rozwiązanie umożliwia łatwą zmianę liczby i rozstawu zębów, a tym samym dostosowanie szerokości międzyrzędzi do różnych technologii uprawy. Umożliwia również skokową regulację głębokości roboczej narzędzi, zwiększając uniwersalność maszyny. Ze względu na dużą głębokość roboczą zębów są one zabezpieczone przed uszkodzeniem kołkami ścinanymi, co chroni je przed przeciążeniem w przypadku napotkania przeszkód (kamieni, korzeni) w glebie.

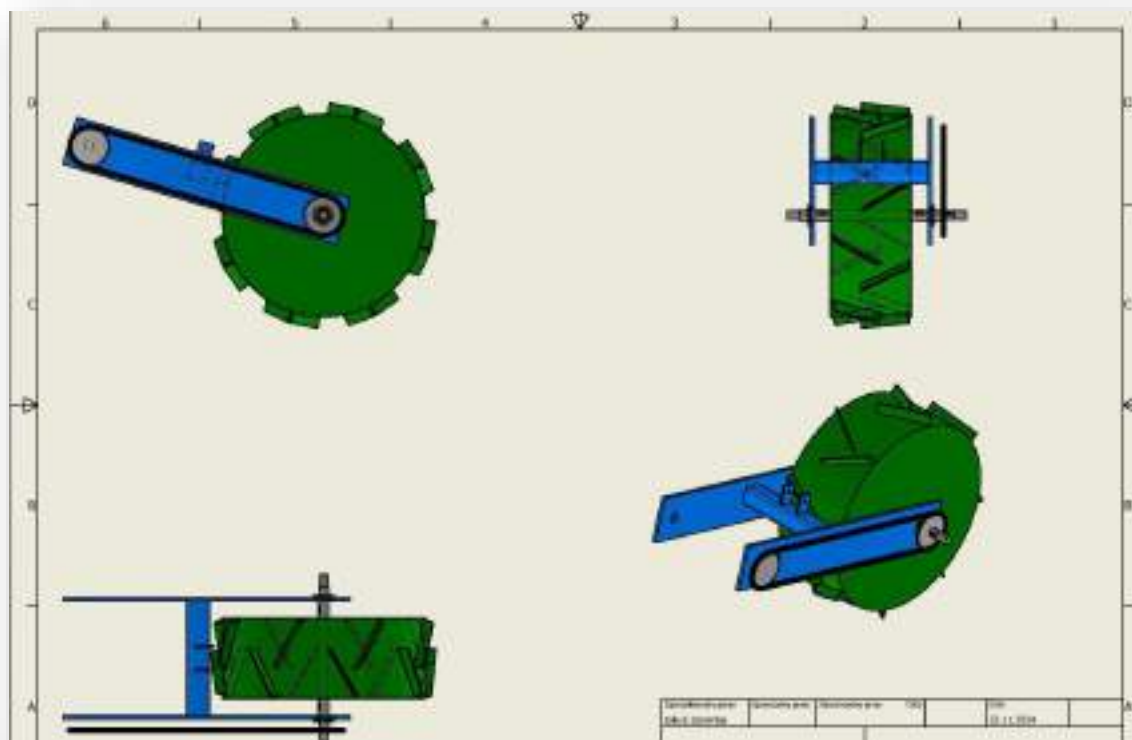
Dla zmniejszenia oporów roboczych oraz poprawy pracy zębów, pomiędzy uchwytem a profilem ramy zastosowano dodatkowo gumowe amortyzatory. Rozwiązanie to zwiększa trwałość konstrukcji i poprawia komfort pracy maszyny w zmiennych warunkach glebowych.

Do drugiego profilu ramy zamocowano uchwyty wleczonych kół napędowych zespołów wysiewających nasiona i cząstki (granulki) nawozów. W zaprojektowanej wieloczynnościowej maszynie koła pełnią dodatkowo funkcję kół podporowych. Wrzeczona umożliwia bezstopniową regulację głębokości roboczej redlic. Płynna regulacja zapewnia utrzymanie optymalnej głębokości siewu zarówno nasion, jak i nawozów, niezależnie od warunków polowych.

W konstrukcji ramy przyjęto zwiększony rozstaw między profilami montażowymi zębów roboczych, co zapewnia swobodny przepływ gleby oraz resztek roślinnych, minimalizując ryzyko zapychania maszyny podczas pracy.

W przedniej części ramy zamocowano stojak umożliwiający agregatowanie maszyny z trzypunktowym układem zawieszenia (TUZ) ciągnika, zapewniając szybkie i bezpieczne podłączenie maszyny do jednostki napędowej.

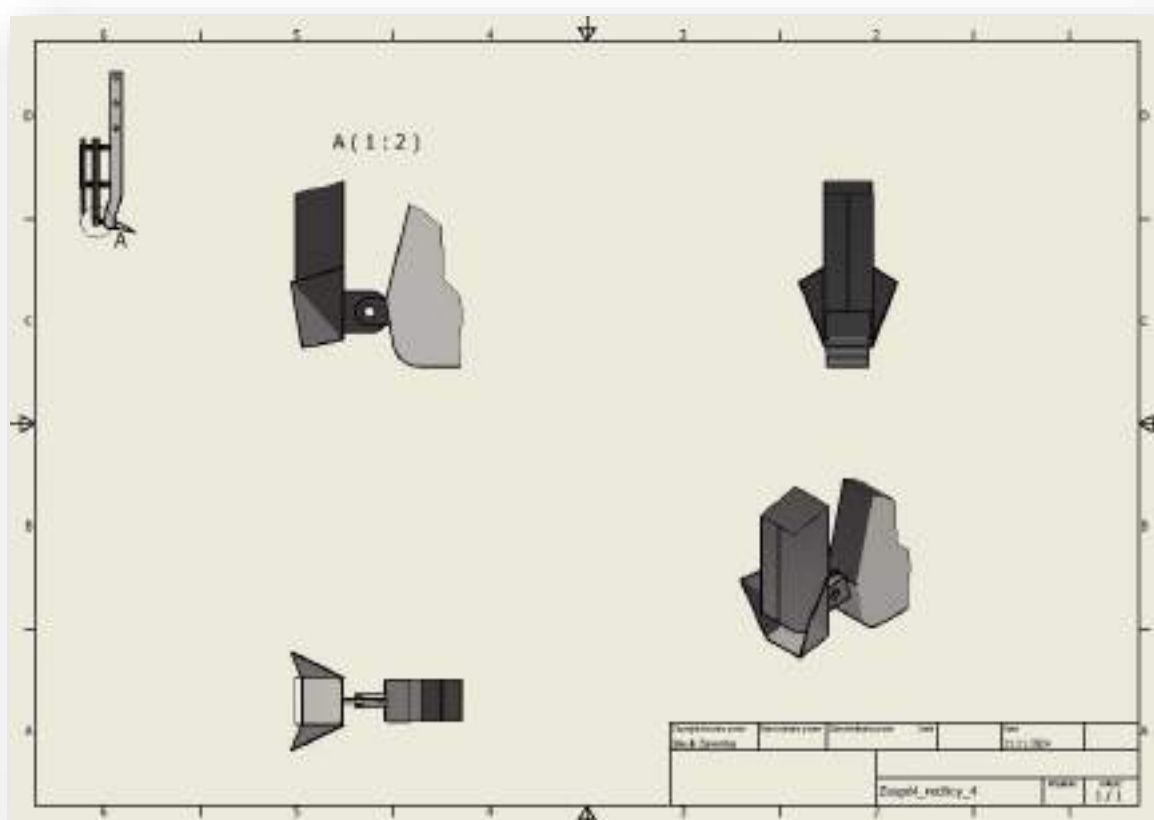


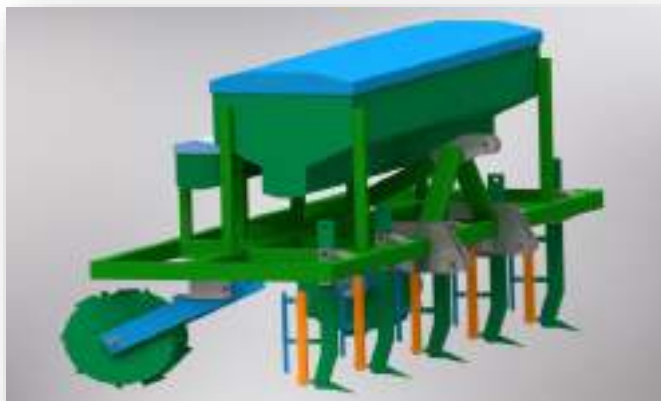


Napęd sekcji wysiewającej w projektowanej maszynie przenoszony jest z koła napędowego za pomocą przekładni łańcuchowej. Zmianę ilości wysiewu uzyskuje się w zależności od stosunku liczby zębów współpracujących kół zębatych, tj. liczby zębów koła napędzającego do liczby zębów koła napędzanego – czyli od przełożenia przekładni. Rozwiązanie to zapewnia efektywne i niezawodne przeniesienie momentu obrotowego z koła napędowego (podporowego) na wałki napędzające mechanizmy wysiewające (sekcji wysiewającej nawozy i nasiona). Dzięki zastosowaniu przekładni łańcuchowej uzyskuje się prostą, trwałą oraz odporną na zmienne warunki polowe konstrukcję napędu.

Przekładnia umożliwia precyzyjną synchronizację prędkości obrotowej zespołów wysiewających z prędkością jazdy maszyny, co pozwala na pracę w szerokim zakresie prędkości z zachowaniem założonej dawki wysiewu. Dodatkową zaletą jest możliwość łatwej zmiany przełożenia (poprzez wymianę kół zębatych), co pozwala na dostosowanie dawki wysiewu do różnych wymagań agrotechnicznych.

Układ napędu został zaprojektowany z myślą o prostocie konserwacji i łatwym dostępie serwisowym, co zapewnia wysoką trwałość i niezawodność pracy nawet w trudnych warunkach polowych.





5. Metodyka badań

5.1. Charakterystyka doświadczenia

5.1.1. Miejsce, obiekt i przedmiot badań

Doświadczenie polowe z kukurydzą uprawianą z przeznaczeniem na zbiór na kiszonkę o łącznej powierzchni działek 4,5 ha i na ziarno o łącznej powierzchni działek 7,28 ha, założono dla obydwu kierunków uprawy w tym samym terminie, tj. 01.05.2024 roku na działkach o numerach i odpowiadających im powierzchniach:

- uprawa z przeznaczeniem na zbiór na kiszonkę (4,5 ha): numer działki 298/1 – powierzchnia 4,29 ha i o numerze działki 298/2 i powierzchni 0,21 ha,
- uprawa z przeznaczeniem na zbiór na ziarno (7,28 ha): numer działki 449 – powierzchnia 2,31 ha, numer działki 450/1 – powierzchnia 2,99 ha, 450/2 – powierzchnia 0,41 ha; i o numerze 451/1 i powierzchni 1,57 ha,

należących do gospodarstwa indywidualnego Pana Piotra Piechocińskiego, położonego w miejscowości Stare Bożejewo (gmina Wizna, powiat łomżyński, województwo podlaskie – położenie geograficzne 53° 11' 29" N, 22° 17' 35" E) metodą *split-blok-split-plot* i prowadzono jako czteroczynnikowe. Doświadczenie dla każdego wariantu założono w trzech powtórzeniach. W eksperymencie użyto kwalifikowane nasiona kukurydzy odmiany średniowczesnej „Digital” o stopniu dojrzałości FAO 240 i masie tysiąca nasion wynoszącej 280-300 g. Wybór odmiany „Digital” był podyktowany przydatnością tej odmiany do uprawy na wszystkich glebach utrzymanych w dobrej kulturze rolnej z przeznaczeniem na ziarno i grys. Zalecana obsada roślin szt. · ha⁻¹ w zależności od jakości gleb (kompleksu glebowego) wynosi:

- kompleks glebowy dobry: 83 000 – 85 000 szt. · ha⁻¹,
- kompleks glebowy średni: 79 000 – 82 000 szt. · ha⁻¹,
- kompleks glebowy lekki: 75 000 – 78 000 szt. · ha⁻¹.

Ponadto odmiana ta charakteryzuje się następującymi cechami agrotechnicznymi:

- wczesny wigor: bardzo dobry,
- tolerancja na wyleganie: bardzo dobra,
- wysokość roślin: średnio wysokie,
- Stay Green: dobry,
- tolerancja na suszę: dobra,
- zdrowotność roślin: dobra.

Poszczególne cechy agrotechniczne dla lepszego zobrazowania przedstawiono dodatkowo na rysunku 1.



Rys. 1. Cechy agrotechniczne kukurydzy odmiany „Digital”

Źródło: <https://topnasiona.pl/kukurydza/digital>

W eksperymencie polowym dla obydwu wariantów użytkowania kukurydzy uprawianej na ziarno i na zieloną masę przyjęto obsadę roślin wynoszącą 83 300 szt. · ha⁻¹ (8,3 rośliny na m³). Przedplonem była pszenica ozima, po zbiorze której jako poplon w dniu 10 sierpnia 2023 r. wysiano siewnikiem Great Plains NTA200 zagregowanym z ciągnikiem Fendt 716 mieszankę nasion łubinu wąskolistnego odmiany *Karo* z nasionami wyki jarej. W dniu 22.04.2024 r. wykonano zabieg talerzowania (mulczowania) broną talerzową Agrisem Disco-Mulch seria R 6,0 o szerokości roboczej 6 m zagregowaną z ciągnikiem Fendt 930. Zabieg talerzowania przeprowadzono celem wymieszania z glebą nawozu zielonego (uprawiany poplon, tj. łubin wąskolistny odmiany *Karo* z wyką jarą) z nawozem mineralnym – wysianym rozsiewaczem odśrodkowym Amozone HydroProfis 2200 l zagregatowanym z ciągnikiem Fendt 716. Zabieg siewu bezpośredniego wykonywano siewnikiem punktowym Strip-till Duo France Monosem NG zagregatowany z ciągnikiem Fendt 930 z dodatkowo zamontowanym przednim zbiornikiem na nawozy mineralne firmy KUHN model Venta. Siew wykonano prędkością 7 km · h⁻¹ wysiewając nasiona na głębokość 4 cm, w rozstawie międzyrzędzi wynoszącej 0,75 m. Czynniki badawczymi były:

- termin siewu nasion roślin uprawianych jako poplon – 2 terminy siewu,
- nawożenie nawozem azotowym – 2 warianty zastosowania nawozu azotowego o nazwie handlowej Mocznik 46% (przedsiewnie/poglównie).

Po wysiewie nasion kukurydzy na polu wyznaczono metodą losową poletka badawcze każde o powierzchni 360 m² i wymiarach 12×30 m. Następnie w trakcie wysiewu nasion kukurydzy w dniu 1 maja wysiano mieszankę nasion (seradela w ilości 10 kg · ha⁻¹ + 50 kg · ha⁻¹ wyki siewnej) – I termin wysiewu poplonu. Z kolei w dniu 11 czerwca 2024 r. wysiano identyczną mieszankę nasion jako wsiewka w roślinę ochronną (seradela w ilości 10 kg · ha⁻¹ + 50 kg · ha⁻¹ wyki siewnej) – poplon w II terminie siewu, tj. w fazie 6-8 liści roślin kukurydzy.

W eksperymencie przedsiewnie zastosowano identyczne dawki nawożenia mineralnego wykonane w tych samych terminach, zarówno dla kukurydzy uprawianej z przeznaczeniem na zbiór na nasiona jak i zieloną masę, a także wariantu wysiewu wsiewki poplonowej (tab. 1).

Tabela 1. Dawki i termin nawożenia mineralnego kukurydzy uprawianej na ziarno i zieloną masę

Lp.	Data wykonania zabiegu	Nazwa handlowa nawozu mineralnego	Rodzaj nawożenia	Zawartość składników [%]	Dawka nawożenia [kg·ha ⁻¹]
1.	02.03.2024	PotashpluS	przedsiewne	37 K ₂ O	300
2.	22.04.2024	Mocznik	przedsiewne	46 N	170/270*
3.	01.05.2024	Polidap	przedsiewne	12 N+ 46 P ₂ O ₅	170
4.	11.06.2024	Mocznik	pogłównie (rzutowo)	46 N	100
5.	11.06.2024	Mocznik	pogłównie (wgłębnie)	46 N	100

* – uprawa kukurydzy wariant kontrolny – całość nawozu azotowego (Mocznik 46% N) w ilości 270 kg·ha⁻¹ zastosowano przedsiewnie, w pozostałych wariantach dawkę nawożenia azotowego podzielono w ilości 170 kg·ha⁻¹ przedsiewnie + 100 kg·ha⁻¹ pogłównie

W przypadku poletek, na których w międzyrzędzia kukurydzy wysiano wsiewkę mieszanki nasion seradeli i wyki siewnej, tj.:

- Wariant I (siew nasion roślin wsiewanych w międzyrzędzia kukurydzy wykonany razem z wysiewem nasion kukurydzy, tj. 01.05.2024 r.),
- Wariant II (siew nasion roślin wsiewanych w międzyrzędzia kukurydzy wykonany w fazie 6-8 liści roślin kukurydzy, tj. 11.06.2024 r.),
- Kontrola – całą dawkę nawozu azotowego (mocznika 46% N) zastosowano przedsiewnie.

Warianty wysiewu nawozu azotowego kształtowały się następująco:

- Wariant I – poplon I termin siewu, nawożenie nawozem azotowym 270 kg·ha⁻¹ Mocznika 46% N w całej dawce przedsiewnie,
- Wariant II – poplon II termin siewu, nawożenie nawozem azotowym 270 kg·ha⁻¹ Mocznika 46% N w całej dawce przedsiewnie,
- Wariant III – nawożenie nawozem azotowym 270 kg·ha⁻¹ Mocznika 46% N podzielone na dwie dawki, tj. 170 kg·ha⁻¹ kg, a 100 kg·ha⁻¹ pogłównie (wgłębnie),
- Wariant IV – nawożenie nawozem azotowym 270 kg·ha⁻¹ Mocznika 46% N podzielone na dwie dawki, tj. 170 kg·ha⁻¹ kg, a 100 kg·ha⁻¹ pogłównie (rzutowo),
- Wariant V – nawożenie nawozem azotowym 270 kg·ha⁻¹ Mocznika 46% N w całej dawce przedsiewnie.

Wielkość dawek nawozów ustalono na podstawie przyswajalnych form P₂O₅ i K₂O w glebie oraz na podstawie doświadczenia właściciela gospodarstwa.

5.1.2. Metoda zwalczania chwastów

W celu ograniczenia zachwaszczenia stanowiska, a tym samym wyeliminowania ryzyka zagłuszenia wschodzących roślin kukurydzy oraz wysianego poplonu, zastosowano metodę chemiczną z użyciem selektywnego herbicydu Mestar 100 SC. Zabieg wykonano 2 maja 2024 roku, aplikując środek w dawce 1,5 dm³·ha⁻¹. Do przeprowadzenia oprysku wykorzystano opryskiwacz polowy Agrio Mamut o pojemności roboczej 4 000 litrów i szerokości roboczej 30 metrów, zagregatowany z ciągnikiem rolniczym New Holland serii T6040.

Oprysk przeprowadzono zgodnie z zaleceniami producenta, w sprzyjających warunkach atmosferycznych – przy braku opadów, optymalnej temperaturze oraz niskiej prędkości wiatru. Warunki te zapewniły wysoką skuteczność działania herbicydu oraz ograniczyły ryzyko znoszenia cieczy roboczej poza strefę oprysku.

5.1.3. Warunki przyrodnicze

Miejscowość Stare Bożejewo jest położona w zachodniej części województwa podlaskiego na tzw. terenie „Zielonych Płuc” Polski nad rzeką Łojewek. Rzeźba terenu jest stosunkowo bogata i jest uwarunkowana różnicami wzniesień. Względne wysokości pomiędzy formami morfologicznymi dochodzą do kilkudziesięciu metrów. Duże jest również zróżnicowanie nachylenia terenu – od prawie płaskich form dolinowych do ponad 15%.

Doświadczenie prowadzono na działce położonej na glebie bielcowej wytworzonej na glinie lekkiej należące do klas bonitacyjnych IVa, IVb. Ukształtowanie powierzchni terenu badanego obiektu zawierało się w kategoriach określanych jako pola o powierzchni płaskiej i niskofalistej. Warunki klimatyczne panujące na terenie gminy Wizna są charakterystyczne dla Polski północno-wschodniej, co oznacza, że są to warunki mniej korzystne do prowadzenia produkcji rolniczej (polowej), niż w innych regionach kraju. Długość okresu wegetacyjnego, liczona jako okres wegetacji z nieprzerwaną liczbą dni, w których średnia temperatura dobową jest wyższa niż 5,0°C, jest średnio o 14 dni krótsza w porównaniu do województw położonych w zachodniej części Polski. Średnia temperatura w najzimniejszym miesiącu (styczniu) wynosi -4,5°C, a w najcieplejszym, tj. w lipcu ok. 18-19°C. Z kolei średnia suma opadów wynosi ok. 550 mm.

5.1.4. Metody oceny wschodów roślin

Ocenę wschodów roślin (równomierności wschodów) kukurydzy i mieszanki nasion seradeli i wyki siewnej jako poplon wykonywano na działce badawczej w wyznaczonych poletkach pomiarowych dokonując codziennej obserwacji – począwszy od pierwszego dnia po siewie do czasu braku wschodów nowych roślin przez trzy kolejne dni. Podczas obserwacji liczono liczbę roślin w wybranych losowo rzędach na każdym elementarnym poletku pomiarowym, aż do momentu, w którym przez trzy kolejne dni nie stwierdzono nowych wschodów. Ostatnim etapem pomiaru było określenie procentowego przyrostu nowych roślin w poszczególnych dniach.

5.1.5. Pomiary głębokości siewu

Głębokość siewu (umieszczania nasion w glebie), podobnie jak rozmieszczenie nasion w rzędzie określana była po wschodach roślin. Pomiar wykonywano dla 15 losowo wybranych roślin z każdego poletka pomiarowego z losowo wybranych. W celu określenia głębokości umieszczenia nasion w glebie, w pobliżu rośliny delikatnie odgarniano wierzchnią warstwę gleby do miejsca, w którym znajdowało się wysiane nasiono, w taki sposób, aby nie uszkodzić rośliny i systemu korzeniowego. Następnie na powierzchni gruntu (pola) nad wykonanym

zagłębieniem przykładano na powierzchni pola listwę, która określała powierzchnie pola. Odległość od miejsca umieszczenia ziarna do dolnej krawędzi listwy była rzeczywistą głębokością siewu. Po dokonaniu pomiaru rośliny starannie obsypywano ziemią, aby mogły prawidłowo się rozwijać. Pomiar dokonywano przy pomocy metrówki z dokładnością odczytu do 1 mm.

5.1.6. Pomiary rozmieszczenia wschodzących roślin w rzędzie

Pomiarów równomierności rozmieszczenia wschodzących nasion w rzędzie dokonywano na losowo wybranym rzędzie roślin na każdym wyznaczonym poletku pomiarowym na odcinku o długości 10 m każdy. Rozmieszczenie nasion rozpatrywano oddzielnie w każdym przejeździe roboczym. Pomiar polegał na wyznaczeniu odległości pomiędzy kolejnymi (sąsiednimi) roślinami wzdłuż rzędu za pomocą zwijanej taśmy pomiarowej z dokładnością odczytu do 1 cm. W efekcie uzyskano wyniki rozmieszczenia poszczególnych roślin dla każdego rzędu. W dalszym etapie badań wyniki przekształcono na odległości poszczególnych roślin od punktu początkowego (zerowego).

5.1.7. Parametry roślin kukurydzy oraz struktura kolb

Wybrane parametry fizyczne roślin kukurydzy (długość i średnicę łodygi, masę całkowitą rośliny i masę kolb) mierzono bezpośrednio przed zbiorem. Średnicę łodygi oraz parametry kolb mierzono na losowo wybranych odcinkach pomiarowych dla 15 kolejnych roślin kukurydzy w rzędzie w przypadku każdego wariantu uprawy roślin kukurydzy z wsiewką poplonu i dla każdego wariantu nawożenia azotowego i powtórzenia (poletka). Badania masy wykonano suwmiarką cyfrową z dokładnością do 1 mm, na trzech wysokościach roślin – 50, 100 i 150 cm (pomiar wykonany od powierzchni pola, w dwóch wzajemnie prostopadłych płaszczyznach). W przypadku wystąpienia na badanej wysokości węzłów, pomiary wykonywano bezpośrednio nad węzłem w odległości około 3 cm. Długość łodygi mierzono z dokładnością do 1 cm między powierzchnią pola a kwiatostanem. W przypadku kolb wyznaczano ich masę i strukturę oraz liczbę rzędów ziarniaków, liczbę ziarniaków w rzędzie i liczbę ziarniaków na kolbie, dodatkowo wyznaczano masę tysiąca ziarniaków (rys. 2).



Rys. 2. Oznaczenie parametrów kolb: a – liczby rzędów ziarniaków, b – liczby ziarniaków w rzędzie

Struktura kolb jest jednym z mierników, który pozwala ocenić przydatność mieszańców do uprawy na kiszonkę ze śrutowanych kolb (CCM) oraz o procentowym udziale ziarna w stosunku do rdzenia kolbowego w masie kolb. Cechę tą oznaczono stosując wzór:

$$\text{udział ziarna w masie kolby} = \frac{a}{b} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

a – plon ziarna, $t \cdot ha^{-1}$,

b – plon kolb właściwych bez liści okrywowych, $t \cdot ha^{-1}$.

Ponadto po zbiorze roślin w zielonce z kukurydzy dokonano oznaczenia zawartości wybranych makroelementów azotu wapnia, fosforu, potasu i magnezu. Makroelementy oznaczono stosując mineralizację na sucho i dokonując oznaczeń na spektrofotometrze Spektrofotometr UV VIS UV 6000.

5.2. Przygotowanie próbek do badań chemicznych

Z każdej kombinacji czynników pobierano po 15 roślin kukurydzy, które rozdrabniano na sietkę. Proces rozdrabniania roślin przeprowadzono rozdrabniaczem Frezowym do gałęzi – rębak ogrodowy elektryczny produkcji firmy Agreeno, model AG-050 o mocy 3500 W. Szczegółowe dane techniczne oraz widok rębaka zamieszczono odpowiednio w tabeli 2 i zaprezentowano na rysunku 3.

Tabela 2. Parametry rębaka ogrodowego firmy Agreeno, model AG-050

Parametr	Wartość
Model urządzenia	AG-050
Przeznaczenie	rozdrabnianie gałęzi
Rodzaj silnika	elektryczny
Moc silnika	3500 W
Napięcie zasilania	230 V
System rozdrabniania	frezowy
Prędkość obrotowa frezu [obr/min]	60
Średnica rozdrabnianego surowca [mm]	od 5 do 44
Pojemność worka na odpady [litry]	60
Bieg wsteczny (rewers)	Tak
Samoczynne pobieranie (wciąganie) surowca	Tak
Zabezpieczenie przeciążeniowe	tak



Rys. 3. Widok elektrycznego rębaka ogrodowego firmy Agreeno, model AG-050

Źródło: <https://gardenhome.pl>

Po rozdrobieniu roślin z każdej kombinacji czynników (pięć wariantów) pobrano próbę zielonki o masie około 5 kg. Świeżą masę poddano analizie pod kątem zawartości poszczególnych pierwiastków – badania zlecone Stacji Chemiczno-Rolniczej w Olsztynie.

Zbiór na ziarno: Z każdej kombinacji pobrano po 15 kolb, które zważono przed wyłuskaniem oraz po ręcznym wyłuskaniu, w celu określenia struktury plonu, tzn. procentowego udziału ziarna w kolbie (masowego).

Z wyłuskanego ziarna pobrano z każdej kombinacji po 3 próby w celu określenia MTZ oraz wilgotności przy określaniu MTZ. Z każdej próby odliczono po 500 ziaren, połączono je i zważono na wadze laboratoryjnej BASIC PRECISION SCALE SBS-LW-5000/100.

Wyniki MTZ zestawiono w tabeli. Wilgotność określono wilgotnościomierzem DRAMIŃSKI GMDM – wilgotnościomierz do ziarna.

6. Wyniki badań i ich analiza

6.1. Wschody roślin

6.1.1. Kukurydzy

Na podstawie wyników rozmieszczenia roślin kukurydzy obliczono wskaźniki nierównomierności podłużnej wysiewu nasion kukurydzy δ . Uśrednione wartości zestawiono w tabeli 1. Wartości wskaźników zestawiono z uwzględnieniem każdej sekcji wysiewającej. Wartość minimalna wskaźnika wyniosła 0,8969 w wariancie III, a maksymalna 1,5685 (wariant II) nawożenia mineralnego i terminu siewu poplonu. Z kolei wartości średnie wskaźnika dla poszczególnych wariantów zmieniały się w zakresie od 1,1309 (wariant III) do 1,2594 (wariant II). Wartości współczynnika zmienności i odchylenia standardowego mieszczą się odpowiednio w zakresie od ok. 11,8% do ok. 12,8% oraz od 0,1447 do 0,1526 świadczą o powtarzalnym rozmieszczeniu roślin w rzędach, co przekłada się na zapewnienie zbliżonej przestrzeni życiowej roślinom uprawianych w poszczególnych rzędach. Na podstawie podstawowych parametrów statystycznych wskaźnika δ podłużnej nierównomierności wysiewu nasion kukurydzy można przyjąć, że proces siewu, a z tym związane równomierność rozmieszczenia nasion nie miała wpływu na rozwój (wzrost i plonowanie) roślin kukurydzy.

Tabela 1. Wartości wskaźnika δ podłużnej nierównomierności wysiewu nasion kukurydzy

Numer działki	Numer redlicy	Wariant uprawy kukurydzy				
		I	II	III	IV	V
1	1	1,0600	1,1951	1,3432	1,0482	1,4056
	2	1,3690	1,3575	1,1638	1,4354	1,2601
	3	1,2940	1,2335	1,1642	1,1899	1,4142
	4	1,3260	1,2950	0,9616	1,0809	1,0600
	5	1,0490	1,1888	1,0349	1,2308	0,9214
2	1	1,3049	1,1675	1,2748	1,4879	1,0248
	2	1,0809	1,3995	0,9214	1,0988	1,2984
	3	1,0718	1,5601	0,8969	1,1463	0,9821
	4	1,1361	1,1513	1,2984	1,4784	1,2073
	5	1,0349	1,5685	1,0405	1,3119	1,1041
3	1	1,2748	1,0135	1,2166	1,3333	1,0010
	2	1,3100	1,2308	0,9821	0,9821	1,2468
	3	1,1915	1,1804	1,1513	1,2073	1,2166
	4	1,4214	1,1273	1,3333	1,1675	1,0988
	5	1,5601	1,2215	1,1804	1,1598	1,1022
Wartość minimalna		1,0349	1,0135	0,8969	0,9821	0,9214
Wartość maksymalna		1,5601	1,5685	1,3432	1,4879	1,4142
Wartość średnia		1,2323	1,2594	1,1309	1,2239	1,1562
Mediana		1,2748	1,2215	1,1638	1,1899	1,1041
Odchylenie standardowe		0,1526	0,1490	0,1447	0,1504	0,1459
Współczynnik zmienności [%]		12,3861	11,8279	12,7946	12,2856	12,6171

6.1.2. Roślin wysianych na poplon

W celu weryfikacji skuteczności zabiegu siewu wsiewek poplonowych przeprowadzono ocenę wschodów roślin wysianych w międzyrzędziach kukurydzy. Ocenę wykonano w terenie, w okresie umożliwiającym zaobserwowanie początkowej dynamiki wzrostu roślin poplonowych.

Obserwacjom poddano równomierność rozmieszczenia siewek w rzędach, procent wschodów w stosunku do ilości wysianych nasion oraz stan fitosanitarny roślin. Szczególną uwagę zwrócono na stopień konkurencji z rośliną główną (kukurydzą) oraz wpływ warunków glebowo-klimatycznych na skuteczność wschodów.

Uzyskane wyniki stanowią podstawę do oceny przydatności zastosowanej technologii siewu poplonów w trakcie okresu wegetacyjnego oraz efektywności pracy maszyny wielofunkcyjnej.

Wschody roślin odnotowano w dniach od 08.05.2024 r. do 10.05.2024 r.

1. 10.05
2. 08.05
3. 09.05
4. 08.05
5. 08.05

Początek wschodów poplonów I termin siewu – 08.05.2024 r.

Początek wschodów poplonów II termin siewu – 20.06.2024 r.

Stopień pokrycia roślinnością międzyrzędzi

I pole – kukurydza uprawiana na zielonkę

1. Termin – 5; 2
2. Termin – 3; 1

Stopień pokrycia powierzchni roślinnością poplonową oceniono jako średni do słabego. Występująca przed siewem i w okresie początkowego wzrostu kukurydzy susza miała istotny, negatywny wpływ zarówno na rozwój rośliny głównej, jak i wsiewek poplonowych. Brak wody w okresie początkowego wzrostu roślin znacząco wpłynął na opóźnienie rozwoju wsiewek poplonowych, uniemożliwiając im odpowiednie ukorzenienie się i rozbudowę biomasy przed intensywnym wzrostem kukurydzy. W efekcie wsiewki nie były w stanie skutecznie konkurować o światło, wodę i składniki pokarmowe, co doprowadziło do ich stopniowego zagłuszenia przez roślinę główną oraz przedwczesnego zasychania.

Ocenę stopnia pokrycia międzyrzędzi wykonano w terminach:

- I ocena 20 lipca 2024 r.,
- II ocena na 3 dni przed zbiorem roślin.

Wschody roślin poplonowych oceniano na podstawie oceny wizualnej polettek. Posługiwano się skalą 9 stopniową. Założono, że:

- 9 pkt. oznacza 100% pokrycia roślinnością, tzn. międzyrzędzia będą pokryte roślinnością,
- 5 pkt. – 50% pokrycia,
- 1 pkt. – 10% pokrycia roślinnością.

W przypadku pierwszego terminu siewu poplonu pierwszą ocenę wykonano w dniu 20 lipca. Przyznana ocena (5 pkt. w skali 9 stopniowej), co oznacza 50% pokrycia przestrzeni międzyrzędzi roślinnością. Tak niski procent pokrycia powierzchni międzyrzędzi roślinami wysianymi na poplon był związany z bardzo trudnymi warunkami pogodowymi, tj. brakiem opadów atmosferycznych i wysokimi temperaturami (niska wilgotność gleby). Jeszcze niższą punktację (2 pkt.) przyznano w drugiej ocenie wykonanej bezpośrednio przed zbiorem roślin. Tak niska ocena była spowodowana bardzo trudnymi warunkami pogodowymi. W przypadku drugiego terminu siewu poplonu pierwszą ocenę wykonano w dniu 26 lipca. Przyznana liczba punktów wynosiła zaledwie 3 pkt, z kolei procent pokrycia przestrzeni międzyrzędzi w drugiej ocenie – wykonanej bezpośrednio przed zbiorem roślin, został oceniony na ok. 10-15% (ocena punktowa 1).

Ocena stopnia pokrycia międzyrzędzi roślinami seradeli i wyki siewnej wysianymi jako poplon wyniosła od średniej po siewie (skala punktowa od 3 do 5 pkt, co odpowiada ok. 40-50% pokrycia powierzchni międzyrzędzi roślinnością) do bardzo słabej – ocena wykonana bezpośrednio przed zbiorem roślin. Tak słaby rozwój roślin wysianych na poplon był spowodowany suszą panującą zwłaszcza w okresie początkowego wzrostu roślin kukurydzy, co również bardzo mocno wpłynęło także na rozwój roślin kukurydzy. Opóźnienia we wschodach i wzroście roślin poplonowych w początkowym okresie ich rozwoju nie były już możliwe do nadrobienia w późniejszym okresie wzrostu i rozwoju, w sytuacji dynamicznego wzrostu i rozwoju roślin kukurydzy, co przyczyniło się do ograniczenia dostępności światła i wody. Sytuacja taka spowodowała przedwczesne zasychanie roślin seradeli i wyki siewnej.



Rys. Widok roślin wsianych jako poplon w międzyrzędziach kukurydzy w dniu 20.07.2024 r i 30.08.2024 r. – zbiór na kiszonkę



Rys. Widok roślin wsianych jako poplon w międzyrzędziach kukurydzy w dniu 20.07.2024 r i 30.08.2024 r. – zbiór na ziarno

6.2. Plon ziarna

Zbiór kukurydzy z przeznaczeniem na ziarno przeprowadzono w dniu 24.09.2024 r. kombajnem New Holland CX 6.20 wyposażony w przystawkę 6- rzędową.

W tabelach 1÷5 zamieszczono wyniki badań liczby rzędów ziarniaków na kolbach kukurydzy, liczby ziarniaków w rzędzie i liczby ziarniaków na kolbie 15 kolejnych roślinach w rzędzie (losowo wybranego) w przypadku każdego wariantu uprawy roślin poplonu i nawożenia azotowego i powtórzenia (poletka).

Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej i interpretacji uzyskanych wyników, i ich interpretacji graficznej można jednoznacznie stwierdzić, że parametr jakim była **liczba ziarniaków w kolbie dla wariantu III wynosiła 547,37 i była znacznie większa (statystycznie istotna)** od wszystkich pozostałych wariantów przyjętych w doświadczeniu.

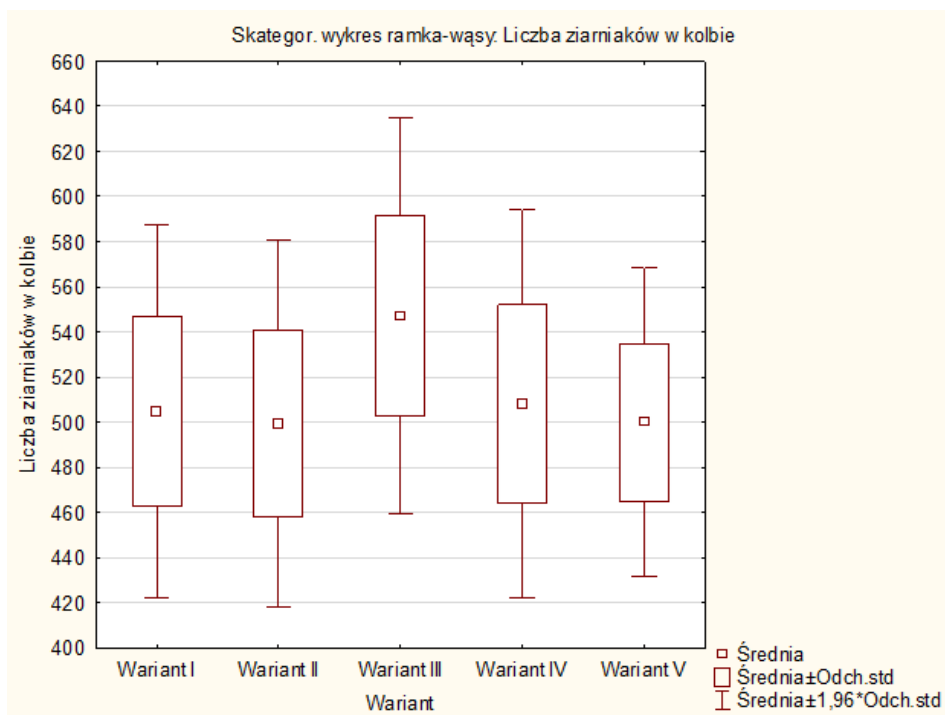
Dla pozostałych wariantów wynosiła odpowiednio:

Wariant I- średnia =**504,8**;

Wariant II- średnia =**499,37**;

Wariant IV- średnia =**508,18**

Wariant V* średnia =**500,00**

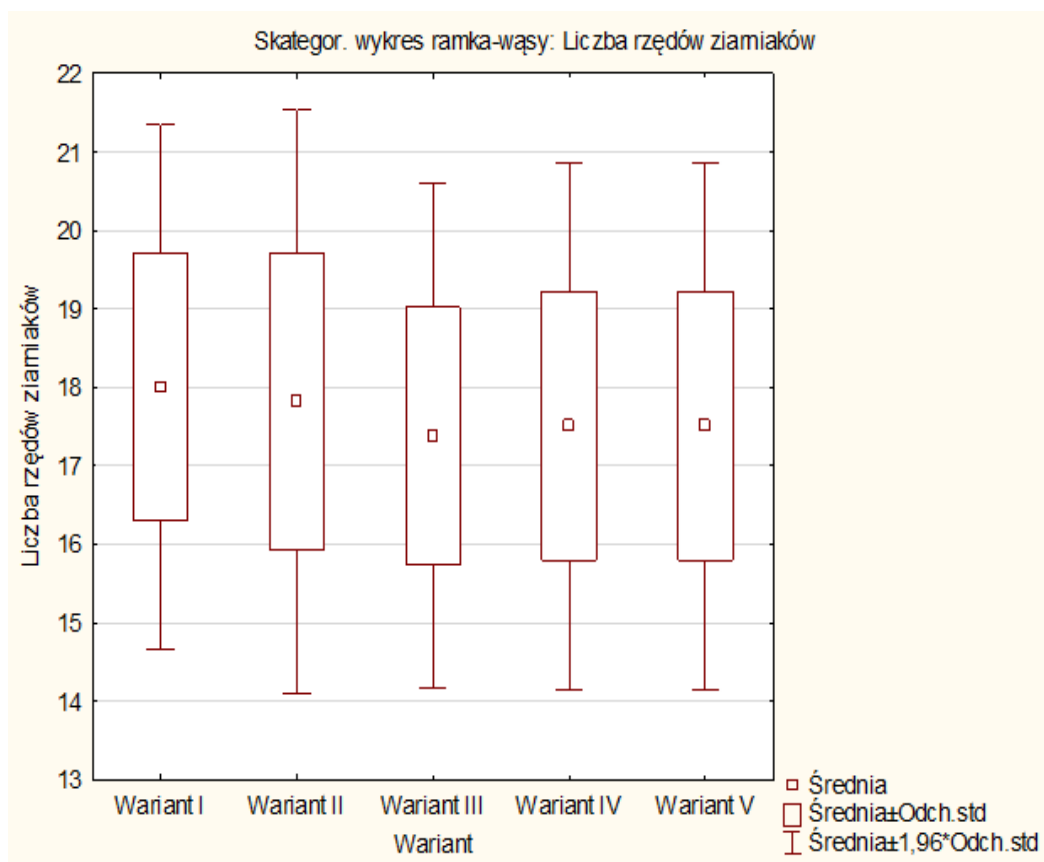


Graficzne przedstawienie zmienności dla wartości średniej liczby ziarniaków w kolbie dla przyjętych wariantów doświadczenia

Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej i interpretacji uzyskanych wyników, można jednoznacznie stwierdzić, że parametr jakim była liczba rzędów ziarniaków dla wszystkich wariantów przyjętych w doświadczeniu **nie różnił się istotnie tzn. był taki sam.**

Wynosiła odpowiednio

- Wariant I- średnia =18
- Wariant II- średnia =17,8
- Wariant III- średnia =17,4
- Wariant IV średnia =17,5
- Wariant V średnia =17,5



Rys. Graficzne przedstawienie zmienności dla wartości średniej liczby ziarniaków dla przyjętych wariantów doświadczenia

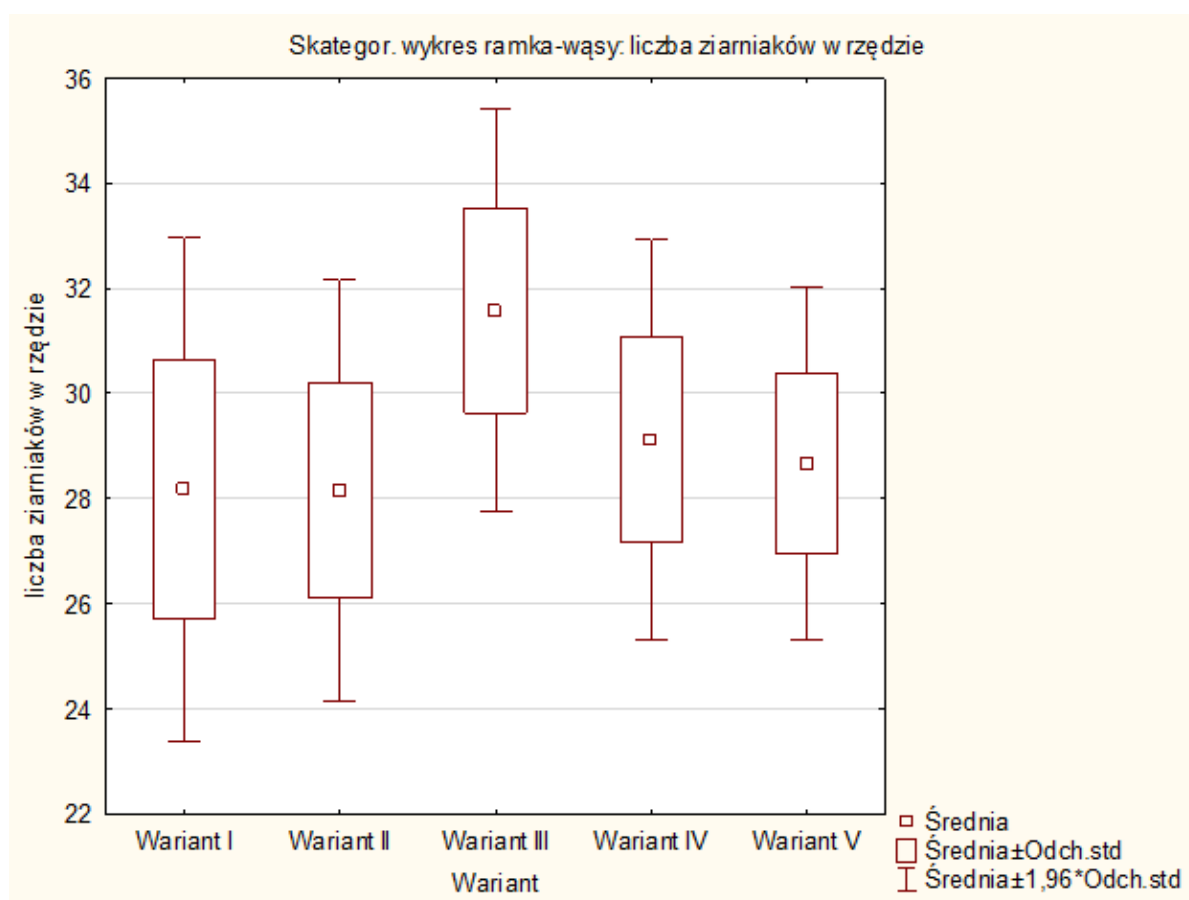
Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej i interpretacji uzyskanych wyników, i ich interpretacji graficznej można jednoznacznie stwierdzić, że parametr jakim była liczba ziarniaków w rzędzie **dla wariantu III wynosiła 31,57 i była znacznie większa (statystycznie istotna)** od wszystkich pozostałych wariantów przyjętych w doświadczeniu. Dla pozostałych wariantów wynosiła odpowiednio:

Wariant I- średnia =**28,17**

Wariant II- średnia =**28,15**

Wariant IV- średnia =**29,11**

Wariant V * średnia =**29,67**



Rys. Graficzne przedstawienie zmienności dla wartości średniej liczby ziarniaków w rzędzie dla przyjętych wariantów doświadczenia

Masa Tysiąca Ziarna (g) w dniu zbioru kształtowała się następująco:

Wariant I – 239,12 g

Wariant II – 249,20 g

Wariant III – 235,15 g

Wariant IV – 220,00 g

Wariant V – 246,00 g

Z kolei plon ziarna w przeliczeniu na 14% h₂O (t·ha⁻¹):

Wariant I – 9,10 t·ha⁻¹

Wariant II – 9,09 t·ha⁻¹

Wariant III – 9,35 t·ha⁻¹

Wariant IV – 8,20 t·ha⁻¹

Wariant V – 9,06 t·ha⁻¹

6.3. Plon zielonki

Zbiór kukurydzy z przeznaczeniem na zielonkę przeprowadzono w dniu 30.08.2024 r. Dla poszczególnych wariantów plon zielonej masy przedstawiał się następująco – **plon przeliczony na dt·ha⁻¹**:

Wariant I – 650,2 dt·ha⁻¹

Wariant II – 622,8 dt·ha⁻¹

Wariant III – 600,4 dt·ha⁻¹

Wariant IV – 617,5 dt·ha⁻¹

Wariant V – 603,9 dt·ha⁻¹

Najwyższy plon uzyskano w **wariancie I**, w którym wyniósł **650,2 dt·ha⁻¹**, co wskazuje na najlepsze warunki wzrostu oraz najbardziej efektywny sposób nawożenia i pielęgnacji. Wariant **II** osiągnął **622,8 dt·ha⁻¹**, co również potwierdza wysoki potencjał plonotwórczy, choć nieco niższy niż w przypadku wariantu pierwszego. **Wariant III**, z plonem **600,4 dt·ha⁻¹**, uzyskał najniższy wynik spośród wszystkich analizowanych, co może wskazywać na mniej korzystne warunki siedliskowe lub niższą skuteczność zastosowanego wariantu technologicznego. Dla **wariantu IV** plon zielonej masy wyniósł **617,5 dt·ha⁻¹**, co plasuje ten wariant na średnim poziomie w porównaniu do pozostałych. **Wariant V** osiągnął **603,9 dt·ha⁻¹**, co jest porównywalne z wynikiem uzyskanym w wariantcie III i również wskazuje na umiarkowaną efektywność przyjętej technologii.

Wyniki te potwierdzają, że zastosowane warianty technologiczne różniły się pod względem wpływu na plon zielonej masy, przy czym najbardziej efektywny okazał się wariant I. Różnice w uzyskanych wartościach mogą wynikać m.in. z rozbieżności w dostępności składników pokarmowych, jakości wschodów oraz przebiegu warunków pogodowych w okresie wegetacyjnym.

Zawartość makroelementów w zielonce roślin kukurydzy zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2. Zawartość makroelementów w zielonce roślin kukurydzy

Kod próbki	Oznakowanie próbki	s.m. [%]	Zawartość suchej masy [%]								
			N-org.	P ₂ O ₅	P	K ₂ O	K	MgO	Mg	CaO	Ca
RX/13/1	1	45,12	1,15	0,58	0,25	1,44	1,20	0,31	0,19	0,14	0,10
RX/13/2	2	47,78	1,27	0,51	0,22	1,36	1,13	0,32	0,19	0,13	0,09
RX/13/3	3	51,52	1,43	0,69	0,30	1,32	1,10	0,27	0,16	0,13	0,09
RX/13/4	4	48,09	1,29	0,61	0,27	1,36	1,13	0,26	0,16	0,12	0,09
RX/13/5	5	50,31	1,12	0,53	0,23	1,36	1,13	0,25	0,15	0,13	0,09
Badania wykonane według		PN-R-04013: 1988 pkt. 3	PB 42 od 2 16.11.2020	PB 04 od 5 16.11.2020		PB 03 od 5 16.11.2020		PB 06 od 5 16.11.2020		PB 38 od 2 16.11.2020	

7. Podsumowanie wyników projektu

Zastosowanie wielofunkcyjnej (wieloczynnościowej) maszyny do pogłównego, dogłębowego wysiewu mineralnych nawozów azotowych, wsiewek poplonowych oraz chemicznego i mechanicznego niszczenia chwastów w uprawie kukurydzy wykazało dodatni wpływ na rozwój roślin, zwiększając zarówno plon ziarna, jak i zielonej masy. Przeprowadzone badania wykazały, że precyzyjna aplikacja nawozów w strefie korzeniowej kukurydzy, dostosowana do fazy rozwojowej roślin i warunków siedliskowych może poprawić efektywność wykorzystania azotu. Niestety panująca w okresie wegetacji susza utrudniła jednoznaczną ocenę zastosowanej maszyny.

Niewątpliwą zaletą zaproponowanego rozwiązania konstrukcyjnego maszyny jest możliwość jednoczesnego wykonania kilku zabiegów agrotechnicznych za jednym przejazdem, co pozwala ograniczyć liczbę przejazdów roboczych, zmniejszyć stopień ugniatania gleby oraz zoptymalizować zużycie środków produkcji. Redukcja częstotliwości zabiegów uprawowych przekłada się bezpośrednio na oszczędność czasu, paliwa i kosztów, a także ograniczenie negatywnego wpływu na strukturę gleby.

Przeprowadzone oceny stopnia pokrycia międzyrzędzi roślinami poplonowymi (seradela i wyka siewna) wykazały niski poziom skuteczności ich wzrostu niezależnie od terminu siewu. W obu terminach uzyskano niskie punktacje (od 5 do 1 pkt w skali 9-stopniowej), co odpowiadało zaledwie 10–50% pokrycia powierzchni międzyrzędzi. Główną przyczyną słabego rozwoju wsiewek były niekorzystne warunki pogodowe – susza, wysokie temperatury oraz niska wilgotność gleby – szczególnie w newralgicznym okresie wschodów i początkowego wzrostu. Opóźniony rozwój poplonów sprawił, że w warunkach dynamicznego wzrostu kukurydzy rośliny poplonowe zostały zdominowane przez roślinę główną i zagłuszone, co skutkowało ich przedwczesnym zasychaniem i brakiem możliwości odbudowy wzrostu w późniejszym okresie wegetacji.

Ostatecznie, wykorzystanie wielofunkcyjnej maszyny umożliwia bardziej zrównoważone i efektywne gospodarowanie zasobami środowiska, zwiększając opłacalność produkcji kukurydzy, przy jednoczesnym ograniczeniu jej negatywnego wpływu na glebę i klimat.