



Zachodniopomorski
Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie

Małgorzata Rychel

**Wpływ nowoczesnego agregatu uprawowo-siewnego
stosowanego w uprawie bezpośredniej na plonowanie
kukurydzy, właściwości gleby oraz efektywność
ekonomiczną**

**The effect of modern tilling and sowing machinery
used in direct cultivation on maize yield, soil
properties and economic efficiency**

Rozprawa doktorska

Promotor: dr hab. inż. Andrzej Karbowy

Szczecin, 2024

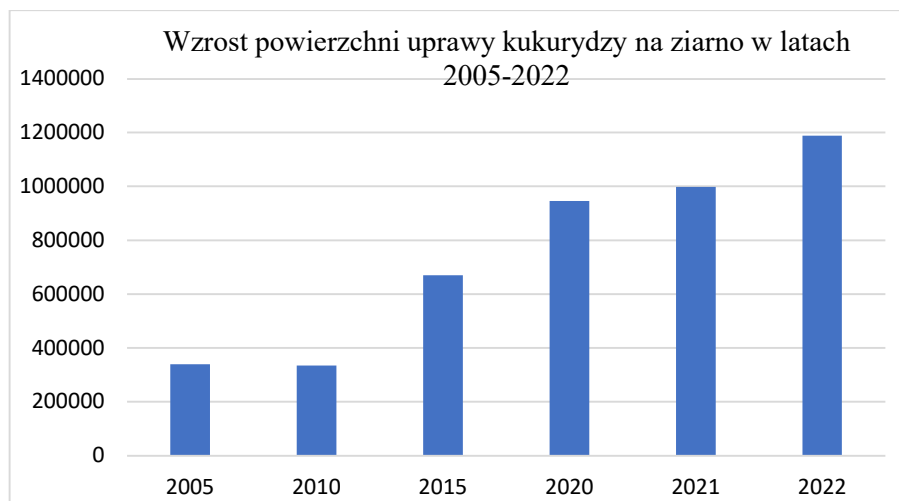
Składam serdeczne podziękowania
osobom, które okazały mi pomoc, wsparcie
i życzliwość przy realizacji niniejszej pracy

SPIS TREŚCI	Str.
Wstęp	4
1. Przegląd literatury	7
1.1. Kukurydza, jej znaczenie, wymagania siedliskowe i agrotechniczne, odmiany.....	7
1.2. Systemy uprawy - historia, perspektywy i znaczenie dla uprawy roślin.....	15
1.3. Wpływ systemów uprawy na plonowanie, elementy struktury plonu i skład chemiczny ziaren kukurydzy.....	17
1.4. Uproszczone systemy uprawy a rozwój szkodników.....	22
1.5. Charakterystyka zachwaszczenia gleby.....	23
1.6. Analiza ekonomiczna.....	25
2. Cel i zakres pracy	26
3. Materiał badawczy, metody badań i warunki doświadczenia	27
3.1. Opis doświadczenia.....	27
3.2. Skład chemiczny gleby.....	42
3.3. Analiza plonu, komponentów plonu, cech biometrycznych.....	43
3.4. Metodyka analiz składu chemicznego nasion.....	47
3.5. Wilgotność ziarna.....	48
3.6. Warunki meteorologiczne w latach 2020 i 2021.....	48
3.7. Analiza statystyczna.....	51
3.8. Analiza ekonomiczna.....	51
4. Wyniki badań	52
4.1. Plon, komponenty plonu i cechy biometryczne.....	52
4.2. Skład chemiczny ziarna kukurydzy.....	60
4.3. Ocena zależności pomiędzy plonem ziarna a komponentami plonu i cechami biometrycznymi roślin.....	61
4.4. Analiza ekonomiczna uprawy.....	65
5. Dyskusja	70
6. Wnioski	75
7. Piśmiennictwo	77
8. Streszczenie	84
9. Summary	85

Wstęp

Kukurydza, po pszenicy i ryżu jest najważniejszą rośliną w produkcji światowego rolnictwa (Dudek i Żarski 2002). Jest rośliną ciepłolubną i światłolubną o wysokim znaczeniu gospodarczym, nazywaną w ostatnich latach „złotym ziarnem”. Ze względu na bardzo wysoki i silnie rozwinięty system korzeniowy bardzo dobrze radzi sobie z rozwojem, w warunkach suszy, jest odporna na zmianę klimatu i toleruje wysokie temperatury. Zajmuje drugie miejsce po pszenicy pod względem powierzchni upraw roślin zbożowych. Zyskuje na coraz większej popularności o czym świadczy stale rosnący wzrost jej produkcji. W roku 2022 największą powierzchnię jej uprawa zajmowała kolejno w: Stanach Zjednoczonych, Chinach, Brazylii, Argentynie, Indiach, Ukrainie, Meksyku oraz Rosji, (<https://www.wrp.pl>). W Unii Europejskiej, pod względem powierzchni zasiewów kukurydzy, czołowe miejsca zajmują Francja, Niemcy, Węgry, Rumunia, Włochy oraz Polska, która w roku 2022 stała się drugim producentem kukurydzy w Unii Europejskiej (po Francji), z przewidywanym 17% udziałem w unijnej produkcji, (<https://igrit.pl>). Duża część produkcji kukurydzy przeznaczona jest na pasze dla zwierząt w postaci ziarna czy kiszonki. Kukurydza stanowi cenne źródło dla przemysłu spożywczego, spirytusowego i chemicznego (Kaszkowiak i Kaszkowiak 2011). Wykorzystywana jest w produkcji biogazu, bioetanolu, krochmalu, fruktozy oraz jako surowiec zielarski. Zyskuje na coraz większej popularności pod względem zapotrzebowania na rynku światowym a koniunktura ekonomiczna spowodowała wzrost powierzchni jej uprawy w ostatnich latach (Oleksiak i Arseniak 2002).

Jak potwierdzają dane Głównego Urzędu Statystycznego powierzchnia kukurydzy na ziarno w Polsce w okresie lat 2005-2022, wzrosła, aż o 848836 tysięcy hektarów (Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2023). Wzrost ten podyktowany jest wejściem naszego kraju w roku 2004 do Unii Europejskiej i rozwojem rolnictwa, który przełożył się przede wszystkim na wielkość gospodarstw, zróżnicowaną strukturę upraw, dopłaty obszarowe oraz duże refundacje do zakupu nowoczesnych i wydajnych maszyn rolniczych, bez których dzisiejsza agrotechnika byłaby niemożliwa.



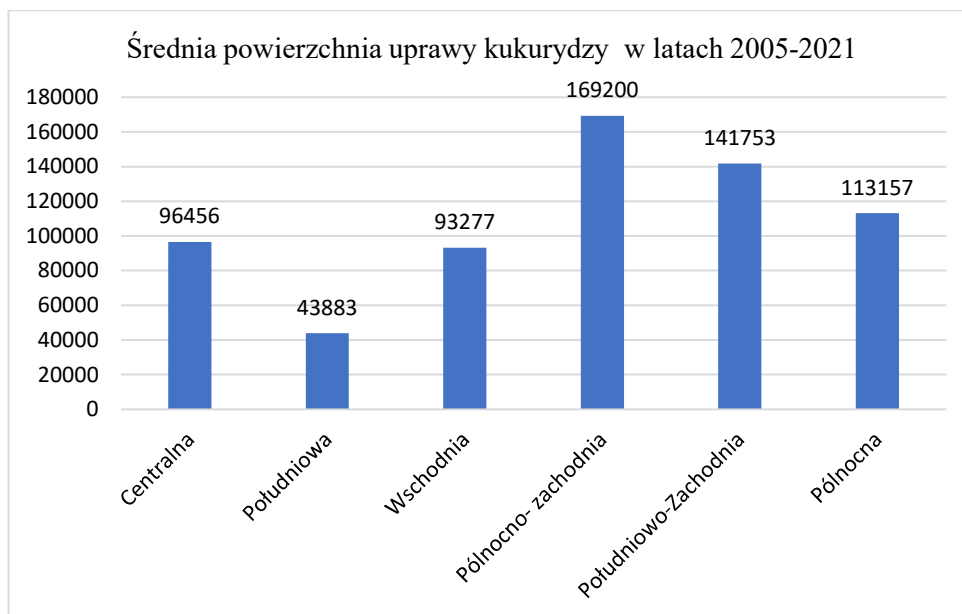
Rys.1. Powierzchnia uprawy kukurydzy na ziarno w Polsce w latach 2005-2022 w tysiącach hektarów. Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS, (Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2023).

Duże zainteresowanie uprawą kukurydzy i wzrost jej powierzchni potwierdzają dane Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa na podstawie ilości złożonych wniosków o dopłaty obszarowe w których to struktura upraw odzwierciedla znaczną przewagę powierzchni kukurydzy w stosunku do pozostałej zgłaszanej powierzchni upraw. Szczególnie dotyczy to gospodarstw wielkoobszarowych położonych w województwach należących do części zachodniej kraju m.in. województwo zachodniopomorskie, lubuskie i dolnośląskie oraz część północna województw pomorskiego i warmińsko-mazurskiego. W tych regionach uprawa kukurydzy na ziarno w stosunku do pozostałej części Polski jest największa ze względu na położenie gospodarstw wielkoobszarowych, dobre warunki glebowo-klimatyczne i ukształtowanie terenu.

Wraz ze zwiększeniem powierzchni upraw kukurydzy, zwiększa się udział technologii bezorkowej, która związana jest z ograniczeniem zabiegów, wpływających na oszczędność kosztów i czas pracy maszyn jakie pochłania technologia orkowa.

Obecnie na całym świecie coraz większe znaczenie w produkcji kukurydzy mają systemy uprawy bezorkowej (Czyż 2005). Decyzja jaką technologię uprawy wybrać, podyktowana jest względami ekonomicznymi i środowiskowymi, które skłaniają do stosowania uproszczeń (Dzienia i Sosnowski 1991).

Szczególnie w rolnictwie wielkoobszarowym, zauważa się wyraźne zmiany dotyczące stosowanych sposobów uprawy roli (Kalinowska-Zdun 1997). Bardzo istotna jest dokładność uprawy i rozwiązania jakie umożliwia nowocześnie technika.



Rys. 2. Powierzchnia uprawy kukurydzy na ziarno w latach 2005-2021 w tysiącach hektarów. Według regionów Polski. Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS, (Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2023).

1. Przegląd literatury

1.1. Kukurydza, jej znaczenie, wymagania siedliskowe i agrotechniczne, odmiany

Kukurydza ma średnie wymagania glebowe, a warunki glebowo klimatyczne w Polsce sprzyjają jej uprawie. (Ptaszyńska i Sulewska 2008). Od lat 90-tych stale zwiększa się powierzchnia uprawy kukurydzy (Kaszkowiak i Kaszkowiak 2011) w większości to odmiany ziarnowe. Średni plon kukurydzy na ziarno w Polsce kształtuje się na poziomie 8-10 t·ha⁻¹, a cena skupu w roku 2022 wynosiła 1320 złotych za tonę. Kukurydza ziarnowa ze względu na tolerancję wysokich temperatur staje się jedną z bardziej bezpiecznych i dochodowych upraw, co przekłada się na opłacalność jej produkcji. Spośród zbóż kukurydza odznacza się najwyższym plonem z hektara i najwyższą wartością energetyczną ziarna (Holka i Bieńkowski 2018). Zastępuje uprawy, które wymagają większych nakładów pracy i są związane z większym ryzykiem jej uprawy, mającym przełożenie na wynik finansowy. Lisowski i Nicikowski. (2020), informują, że kukurydza zaczęła odgrywać ważną rolę w naszym kraju, w związku ze wzrostem liczby pogłowia bydła mlecznego oraz mięsnego. Będąc wykorzystywaną nie tylko jako ziarno, ale i cała część nadziemna.

Elementem wyjściowym uprawy kukurydzy jest gleba, będąca fundamentem i potencjałem plonotwórczym. Badanie gleby to jeden z pierwszych czynników agrotechniki odgrywający ważną rolę w produkcji rolniczej. Jak stwierdzają Handzel i in. (2017) oraz Kuśmierz i Kisiel (2014), określenie właściwości fizykochemicznych oraz składu pierwiastkowego ma wpływ na otrzymane plony oraz dawkovanie nawozów. Według Dorana i Parkina (1994) głównym celem badań gleby jest dążenie do optymalizacji nawożenia, prowadzącej do wzrostu plonu roślin z zachowaniem dobrych cech jakościowych, a zarazem wysokiej efektywności i opłacalności. Wyniki badania gleby określą poziom pH, poziom wybranych pierwiastków, analizę granulometryczną a także wielkość cząsteczek mineralnych i organicznych od której zależy zdolność zatrzymywania wody. Wiedza ta pozwoli na zaplanowanie odpowiedniej do warunków glebowych uprawy i nawożenia, którego końcowym wynikiem będzie jak najwyższy i dobry jakościowo plon przy jak najniższych kosztach uprawy. Odpowiednia uprawa gleby to na wstępie czynność prowadząca do oszczędności wody i ograniczenia strat cennej wilgoci, która jest nierozdzielnie związana z jej strukturą. Wieloletnie

doświadczenia prowadzone przez Małecką i in. (2009) potwierdziły, że uprawa uproszczona i siew bezpośredni przyczyniły się do zwiększenia wilgotności i gęstości objętościowej oraz zmniejszenia kapilarnej pojemności wodnej w powierzchniowej warstwie gleby. Brak wody w glebie to czynnik, który znacznie utrudnia zabiegi przedsiewne, siew, pobranie składników pokarmowych przez rośliny oraz ogranicza działanie środków ochrony roślin. Wilgotność gleby jak twierdzą Weidema i Meeusen (1999) jest jednym z czynników związanych z działalnością rolniczą. Jest czynnikiem plonotwórczym, a jej odpowiedni poziom warunkuje rozwój roślin, zmienia również podatność gleby na ugniatanie kołami przejeżdżającymi po polu agregatów rolniczych. Wyniki doświadczeń realizowanych przez Włodka (2000) wykazały, iż wzrost gęstości gleby oraz zmniejszenie porowatości w wyniku przejazdów kół agregatów występuje w warstwie powierzchniowej, przy czym tempo zmian jest ściśle związane z wilgotnością gleby. Istotą jest, by aktywną uprawą nie doprowadzić do nadmiernego zagęszczenia gleby, która prowadzi do powstania dużych brył o dużej ziarnistości, niosąc za sobą ryzyko utrudnionego siewu w zbitej warstwie gleby, ograniczając przy tym dobre wschody i dostęp korzeni do pobrania wody i składników pokarmowych.

W procesie wegetacji roślin kukurydzy bardzo ważna jest ilość fosforu od której zależy rozwój systemu korzeniowego roślin oraz potasu od której uzależnione są procesy związane z prawidłową gospodarką wodną. Ograniczona wilgotność gleby zmniejsza ich dostępność i prawidłowy rozwój. Z kolei niska zawartość materii organicznej i kwaśny odczyn gleby to czynniki, które w znacznym stopniu wpływają na zaskorupianie się gleby, szczególnie na glebach gliniastych i nadmiernie suchych podatnych na zbrylenie, komplikując tym samym wykonanie zabiegów przedsiewnych.

Dobrze doprowadzona gleba jak i wiedza o jej zasobności w składniki pokarmowe to kolejny krok, by zaplanować nawożenie, odpowiednie do warunków glebowych jak i potrzeb pokarmowych roślin kukurydzy. Na wytworzenie 1 tony ziarna wraz z odpowiednią ilością słomy kukurydza pobiera średnio 32 kg N, 38 kg K₂O i 14 kg P₂O₅, (Dubas 2004). W celu uzyskania odpowiedniego wzrostu roślin wymagana jest obecność 18 pierwiastków. Pierwiastki niezbędne w nawożeniu jak i procesie rozwoju roślin to makroskładniki do których należą: węgiel, tlen, wodór, azot, fosfor, siarka, potas, wapń, magnez oraz mikroskładniki: mangan, cynk, żelazo, bor, miedź, nikiel, chlor, molibden i kobalt, (Handzel i in. 2017). Ich niedobór może znacznie obniżyć plon, dlatego stosuje się je w formie nawożenia doglebowego jak i nalistnego od fazy 2-4 do fazy 6-8 liści. W procesie przyswajalności tych składników istotne znaczenie ma gleba i jej wilgotność,

która jest podstawowym nośnikiem tych pierwiastków. Informacje i wskazówki wyszczególnione w przeglądzie literatury bardzo skupiają się na technologii uprawy gleby, która ma za zadanie stworzyć jak najlepsze warunki by kukurydza mogła prawidłowo pobrać makroskładniki z głębszych warstw gleby i strefy korzeniowej. Nie może być sucha i zbita czy też zbyt rozluźniona, gdyż szybko się przesusza i utrudnia dostępność nawozów. Plan nawożenia powinien minimalizować stresy abiotyczne jak np. susze czy upały oraz ograniczyć podatność roślin kukurydzy na choroby i umożliwić prawidłowy rozwój roślin. Bardzo ważny w procesie pobierania przez roślinę makroskładników jest odczyn gleby, od którego zależy przyswajalność składników nawozowych jak i sprawność mineralizacji nawozów naturalnych, (Kaniuczak i Pruszyński 2015). Optymalny zakres pH gleby w uprawie kukurydzy to zakres pomiędzy 5,5-7,5, (Pikuła 2014). Na glebach kwaśnych i bardzo kwaśnych poniżej 5,5 uprawa wymaga regulacji odczynu pH poprzez wapnowanie pola, (Lipiński 2005; Filipek i in. 2006).

Makroskładniki jak azot, fosfor, potas, magnez, wapń i siarka pobierane są przez rośliny kukurydzy w dużych ilościach. NPK to podstawowe i nierozdzielne składniki pokarmowe w uprawie kukurydzy. Decydujące znaczenie w rozwoju kukurydzy ma azot, który jest czynnikiem plonotwórczym i wpływa na wielkość i jakość plonu, (Kruczek 1997a; Kruczek 1997b). Optymalne dawki azotu stosowane pod kukurydzę mieszczą się w granicach 90-180 kg N ha⁻¹, (Kruczek 1988). Nawożenie kukurydzy azotem, jak uważa Pikuła (2014) nie powinno przekraczać jednorazowo 80 kg czystego składnika na hektar, a wyższe dawki azotu należy podzielić na dwie. Azot skuteczny jest jednak w przypadku dostarczenia roślinom pozostałych składników jak potas, siarka, fosfor i magnez. Według Pikuły (2014) zalecane dawki NPK w kilogramach na hektar dla przykładowo prognozowanego plonu 7t·ha⁻¹, powinny wynieść: 130 kg N, 75 kg P₂O₅, 100 kg K₂O i 45 kg MgO. Niedobór fosforu może zahamować rozwój systemu korzeniowego kukurydzy, co znacznie utrudni pobieranie wody przez korzenie roślin. Potas i fosfor to pierwiastki niezbędne w całym procesie rozwoju kukurydzy, zarządzające gospodarką wodną i rozwojem systemu korzeniowego a także w przypadku potasu mającego wpływ na przebieg fotosyntezy. Niedobór tego pierwiastka może powodować łamliwość łodygi rzutować na słabe zaziarnienie kolb i obniżony plon. Rośliny kukurydzy z niedoborem potasu rozwijają słabszy system korzeniowy a liście na których najlepiej widać brak tego składnika przybierają barwę matową, niebieskozieloną bądź białą. Wiosną przy nieogrzej dostatecznie glebie pobranie azotu i fosforu jest szczególnie utrudnione. Jak wskazuje Pikuła (2014) potas jest słabiej pobierany przy niskich temperaturach

i suszach oraz przy pH poniżej 5,5. Dlatego też w agrotechnice ważny jest termin każdego zabiegu, nierozzerwalnie związany z pogodą. Niedobór magnezu prowadzi do znacznego ograniczenia pobieranego fosforu jak również azotu, co w konsekwencji prowadzi do zaburzeń wzrostu roślin. Dlatego też resztki poźniwne wymieszane z glebą pozostawiają bogatą w potas masę poźniwną. Nawóz wieloskładnikowy zawierający azot, potas, magnez czy fosfor należy dodatkowo zastosować wiosną przed siewem jak i zarówno w trakcie siewu. Nawozy przedsiewnie należy zastosować dogłębowo by umożliwić lepszy rozwój korzeni pobierających wodę gruntową z głębszych warstw gleby. Nawozy powinny być dobrze wymieszane z glebą by ograniczyć ryzyko związane z trudnością pobrania nawozu w wyniku przesuszenia górnych warstw gleby.

Dbając o rozwój systemu korzeniowego i następnie rozwoju całej rośliny w nawożeniu bardzo dobrze sprawdzają się agregaty uprawowo-siewne dzięki którym za jednym przejazdem następuje uprawa, siew i nawożenie ustawione odpowiednią dawką, bezpośrednio pod korzeń, a precyzja gwarantuje równomierną koncentrację nawozów na całej powierzchni uprawy. W praktyce standardem jest aplikacja startowej dawki nawozów na głębokości 5 cm poniżej ziarniaka kukurydzy i 5 cm w bok od rzędka, (Kruczek 2004; Kruczek 2005; Kruczek i in. 2005; Michalski i Kowalik 2007). Pomimo że siewniki punktowe kukurydzy stosuje się w Polsce od 30 lat, dopiero przed rokiem 2007 zwrócono uwagę na celowość zakupu siewnika z aplikatorem do nawożenia startowego, Michalski i Kowalik 2007. Nawożenie w trakcie siewu dostarcza konkretne pierwiastki jak fosfor, potas czy magnez. Sposób lokalizacji nawozu w glebie ma za zadanie zapewnić łatwy i szybki dostęp do składników pokarmowych przez cały okres wegetacji roślin (Ochal i in. 2015). Jak potwierdzają Grzesiak (2009) oraz Fageria (2013) w uproszczonych uprawach obserwuje się płytsze rozmieszczenie systemu korzeniowego, co skutkuje ograniczeniem zdolności pobierania przez rośliny składników pokarmowych. Prawidłowy rozwój systemu korzeniowego zaopatrującego rośliny w wodę i składniki pokarmowe ma duże znaczenie dla plonowania. Rozbudowany i głęboki system korzeniowy jest również mechanizmem ochrony przed stresem jaką jest susza. Dlatego też zastosowanie nawozu bezpośrednio pod korzeń jest dobrym rozwiązaniem ułatwiającym roślinie pobranie składników pokarmowych.

Kukurydza ma duże potrzeby wodne i pokarmowe. Rośliny kukurydzy potrzebują wzrostu i rozwoju do wydania dużego plonu, a dynamika pobrania składników

pokarmowych w znacznym stopniu zależy od przebiegu pogody, (Pikuła 2014; Kruczek i in. 2004).

Przed siewem, w odpowiednio doprawioną i przygotowaną do siewu glebę stosuje się tzw. nawożenie startowe w postaci granul do nawożenia startowego, to popularny w uprawie kukurydzy, nawóz potasowo-magnezowy Korn Kali® zawierający 40% K_2O , w postaci chlorku potasu oraz 6% MgO w postaci siarczanu magnezu (Kieserit GRAN).

Przyswajalność nawozów, jak już wspomniano, ma silny związek z prawidłowym odczynem pH gleby oraz utrzymaniem odpowiedniej jej wilgotności. Obniżone pH jest wynikiem zakwaszenia, który jest procesem ciągłym zachodzącym w glebie, prowadzącym do spadku jej żyzności. W badaniach Machuła (2005) potwierdzono, iż wieloletnie stosowanie uprawy uproszczonej i siewu bezpośredniego, powoduje niekorzystne zmiany właściwości chemicznych i fizycznych gleb. Następstwem czego jest zakwaszenie górnej warstwy oraz nagromadzenie się tylko w tej warstwie fosforu, potasu i magnezu.

W trakcie wegetacji roślin oprócz makroskładników i nawożenia doglebowego wymagane jest również dokarmianie dolistne, pobierane w niewielkich dawkach, szczególnie w fazie rozpoczynającej rozwój czwartego liścia. Dlatego też nawożenie mikroskładnikami jak cynk, bor, miedź, mangan czy żelazo, będące podstawą fotosyntezy, ma charakter oprysku nalistnie. Nawożenie dolistne przyczynia się do większego zaopatrzenia roślin w wodę i składniki pokarmowe z gleby. Obecność żelaza jest bardzo istotna, ze względu na jego funkcję, która związana jest bardzo ważnymi procesami jakie zachodzą w prawidłowym rozwoju roślin kukurydzy czyli fotosynteza i oddychanie. Fotosynteza bezpośrednio wpływa na wielkość uzyskiwanych plonów w procesie, w którym z dwutlenku węgla i wody, pod wpływem energii świetlnej, otrzymujemy cukry oraz tlen. Bezpośrednie produkty fotosyntezy nazywane asymilatami służące roślinom do budowy organów, transportowane do ziarniaków, są ważne z punktu widzenia wzrostu i ich rozwoju. Im większa ilość asymilatów, tym większy przyrost powierzchni liści czy korzeni. Więcej asymilatów to również wyższy i lepszy jakościowo plon. Składnik ten jest niezbędny przy tworzeniu się chlorofilu, wpływającego na zieloną barwę roślin. Niedobór tego składnika skutkuje wysoką zawartością fosforu w glebie i wysokim pH. Im więcej fosforu w glebie tym mniej dostępnego żelaza. Najniższa zawartość przyswajalnego żelaza występuje przy pH 6,5- 8. Natomiast gdy odczyn spada wówczas wzrasta jego dostępność lecz bez miedzi, boru, manganu i magnezu proces fotosyntezy nie będzie działał prawidłowo. Żelazo i mangan oprócz dawek nalistnych można również dostarczyć roślinom wraz z nawozami NPK. Mangan ogranicza stres będący wynikiem warunków

atmosferycznych jak susza. Niedobór tego składnika objawia się żółtobiałymi paskami pomiędzy nerwami liści oraz tzw. nekrotyczne plamki. Mangan ma czynny udział w procesie fotosyntezy i produkcji chlorofilu, podnoszeniu odporności kukurydzy na choroby grzybowe a także udział we wzroście całej rośliny. Odpowiednio odżywione, składnikami pokarmowymi, rośliny kukurydzy łatwiej sobie radzą ze stresem wywołanym czynnikami atmosferycznymi, są w stanie przetrwać okresy suszy czy chłódów, a także w wyniku prawidłowego rozwoju roślin są w stanie osiągnąć wysoki i dobry jakościowo plon, (Daleszyński 2018).

Dobór właściwej odmiany kukurydzy to kolejny element stosowanej agrotechniki mający wpływ na plon. Szczególnie w okresie suszy nabiera coraz większego znaczenia a wybór odpowiedniego materiału siewnego to inwestycja, która wpływa na opłacalność produkcji. Dlatego też obok właściwej uprawy przygotowującej glebę do siewu i odpowiedniego nawożenia, należy uwzględnić również dobór kwalifikowalnego materiału siewnego dostosowanego do lokalnych warunków środowiska. Duże znaczenie ma postęp genetyczny, który przyczynił się do zmniejszenia ryzyka uprawy kukurydzy w chłodniejszych rejonach kraju (Machul 2002). Z pośród 230 odmian zarejestrowanych w krajowym rejestrze kukurydzy, wybór dobrej odmiany jednak nie jest prosty, (<https://www.coboru.gov.pl>). Właściwa odmiana powinna generować wysokie plony dobrej jakości, być odporna na stresowe czynniki środowiska, powinna być dopasowana do warunków uprawy i gleby, oraz odporna na presję patogenów. Ujawnienie się potencjału plonotwórczego odmiany, jest możliwe po dostosowaniu czynników agrotechnicznych do jej wymagań, (Podolska 2004). Aby jednak maksymalnie wykorzystać potencjał plonotwórczy kukurydzy priorytetowe znaczenie ma grupa wczesności dla danego regionu oznaczona klasą FAO wczesna, średnio wczesna i średnio późna, (<https://www.lgseeds.pl>). Odmiany o wyższym FAO charakteryzują się dłuższym okresem wegetacji w warunkach dłuższego okresu nasłonecznienia. Odnotowany postęp w hodowli nowych odmian pozwala przezwyciężyć barierę długości dnia jak i sumy temperatur, (Bilski i in. 1997; Michalski 1997; Sulewska 1997). Kukurydza należy do roślin ciepłolubnych, wrażliwych na niskie temperatury. Odmiany flint i dent uwzględniają tolerancje kukurydzy na chłody czy ciepło. Mają różne wymagania dotyczące temperatury gleby i terminu siewu. Dlatego też odmiany flint, bardziej odporne na niskie temperatury, zalecane są do uprawy w północnej części Polski. Wcześniejszy ich siew wydłuża czas dojrzewania, umożliwia szybszy rozwój początkowy i lepszą odporność na wiosenne chłody. Z kolei odmiany flex czy fix to odmiany, które różnią się typem kolby. Cecha

ta ma bardzo istotne znaczenie w ustaleniu obsady i normy siewu. Przykładowo kukurydza z kolbą fix to odmiana genetyczna rozwijająca kolbę o tym samym rozmiarze, niezależnie od obsady roślin na polu. Odmiana flex charakteryzuje się różnorodnością wielkości kolby i ilości ziaren przy zmniejszonej obsadzie. Kwalifikowalny materiał siewny powinien być odpowiednio zaprawiony zwiększający odporność na patogeny, które mogą zminimalizować plon o 20-30% i przyczynić się do spadku jakości ziarna uwzględniając przy tym porażenie mikotoksynami wytwarzanymi przez grzyby fusarium. Odmiany o wysokiej odporności mogą przyczynić się do zminimalizowania ilości zabiegów chemicznych zmniejszając przy tym koszty uprawy, (Bereś 2022).

Właściwie dobrana odmiana charakteryzująca się większą odpornością na okresowe niedobory wody, plenniejsza i mocniejsza w fazie początkowego rozwoju, rozwinię silniejszy system korzeniowy, który pobierze składniki pokarmowe wraz z wodą z głębszych warstw gleby, przyspieszy wschody i ograniczy tym samym zachwaszczenie. Odmiana kukurydzy również ma duże przełożenie na terminy siewu. Szereg badań wskazuje na ważność terminu siewu, jako jednego z wielu czynników agrotechnicznych, mających istotny wpływ na plonowanie kukurydzy, (Borowiecki 1992).

Kukurydza jest rośliną ciepłolubną, dlatego też niezależnie od rodzaju odmiany zbyt wczesny siew w zimną glebę może być konsekwencją spowolnionego kiełkowania, ograniczenia wschodów i wynikającego zmniejszenia jej obsady. Dlatego też w przypadku wcześniejszych siewów należy zwrócić uwagę na wybór odmiany odpornej na niskie temperatury jak np. odmiany typu flint, które charakteryzują się większą odpornością oraz szybszym początkowym rozwojem. Sieje się ją gdy temperatura gleby na głębokości 5 cm osiągnie 6-7°C. Odmiana typu dent do siewu wymaga cieplejszych temperatur i dobrze dogrzanej gleby 8-10°C. Jest bardziej wrażliwa na niskie temperatury w okresie wschodów tym samym wykazuje wolniejszy rozwój początkowy. W szybszym tempie pobiera wodę w czasie pęcznienia i rozwija korzenie dzięki temu następują silniejsze wschody. Istotna w rozwoju jest nie tylko temperatura gleby ale i omawiana wcześniej odpowiednia wilgotność. Siewy późniejsze tej odmiany w wyniku wyższych temperatur będą sprzyjały wschodom lecz obniżą plonowanie. Praktyka wykazuje, iż różnice siewu mające rozbieżność kilku dni to kilkuprocentowy ubytek wyniku plonowania tygodniowe przesunięcie to nawet spadek masy ziarna jednej kolby o 5%. Dlatego też należy realizować optymalny terminu siewu i temperatury gleby, która w zależności od wysianej odmiany będzie mieścić się w przedziale 4-7°C oraz 8-10°C.

Ważną kwestią, w stosowanej, agrotechnice jest sposób wysiania ziaren. Rolę tą pełnią nowoczesne siewniki punktowe, które umożliwiają uzyskanie lepszej dokładności wysiewu pod względem zachowania dawki nasion na jednostkę powierzchni jak i precyzji ich równomiernego umieszczania w rzędach (Banasiak 1999; Podleśny 2006). Głębokość siewu zależna jest od rodzaju gleby i terminu siewu. Przy wcześniejszym siewie głębokość powinna być płytsza ze względu na wilgotność gleby i jej niższą temperaturę. Siew głębszy może znacznie utrudnić wschody tym samym obniżyć plon. Siewy późniejsze to większa głębokość siewu ze względu na ograniczenia cennej wilgoci. Na glebach cięższych ziarna powinny być wysiane płycej na głębokości 4-5 cm. Przy lżejszych na głębokości 5-8 cm a na glebach gliniastych 3-4 cm. Ważnym elementem w tym procesie jest odpowiednie przykrycie nasion glebą, w celu zminimalizowania porażenia słonecznego i wyjadania ziaren przez ptaki. Zbyt płytki siew może doprowadzić do porażenia korzeni kukurydzy herbicydami, (<https://zycierolnika.pl/>).

Potencjał plonotwórczy danej odmiany to nie tylko staranność i dokładność uprawionej gleby przygotowanej do siewu. Istotne znaczenie przekładające się na plon to jest gęstość siewu. Z pośród wielu czynników decydujących o plonie ziarna kukurydzy jednym z ważniejszych jest gęstość siewu i związana z nią obsada roślin, (Szmigiel i Oleksy 2004). Według Jeśmanowicza i Ruszkowskiego (1981) wybór optymalnej obsady roślin wymaga uwzględnienia szeregu czynników, takich jak warunki glebowe, klimatyczne, zwłaszcza ilość opadów i wczesność odmiany. Kukurydzę na ziarno sieje się w zmniejszonej obsadzie ze względu na jej przeznaczenie. Zbyt gęsta obsada to zwiększenie konkurencyjności roślin o składniki pokarmowe, wodę, światło i przestrzeń. Od zagęszczenia roślin uzależnione jest ich zaopatrzenie w składniki pokarmowe, wodę a także ilość światła przypadająca na jedną roślinę, a tym samym natężenie fotosyntezy i w rezultacie plon ziarna, (Jeśmianowicz i Ruszkowski 1981). Kukurydza mając większą przestrzeń życiową do dyspozycji lepiej się rozwija, a zbyt duża liczba roślin i większa obsada to następstwo wzajemnej konkurencji i obniżonego plonu. Bereś i Mrówczyński (2016) podają, iż optymalna obsada roślin w przypadku kukurydzy, z przeznaczeniem na ziarno, to 70-80 tysięcy roślin na hektar. Optymalna obsada kukurydzy na ziarno najczęściej wybierana to 80 tysięcy ziaren na hektar, co daje 7 sztuk nasion na m² przy rozstawie międzyrzędzi 75 cm. Dobór obsady na m² jest szczególnie istotny w okresie suszy, a obsada powinna wynosić około 7-8 roślin na m²; wówczas zostanie uzyskany satysfakcjonujący plon, (Sulewska i in. 2013).

W przypadku wykorzystania kukurydzy na ziarno odmiany wczesne o FAO do 200 należy siał w obsadzie 10-12 roślin na m². Odmiany FAO 200-240 należy siał w obsadzie 9-11 roślin na m². Odmiany późne zaleca się siał w obsadzie 8-10 roślin na m². (<https://nawozy.eu>). Zbyt duża norma siewu może się przyczynić do wytworzenia większej zielonej masy niż ziarna, co jest bardzo niekorzystne dla uprawy kukurydzy na ziarno i spadku jej plonu, (Machul i Magnuszewska 2003).

Dobra odmiana przy właściwie przeprowadzonej agrotechnice zapewniającej odpowiednie warunki do wzrostu i rozwoju roślin zwiększy szanse uzyskania wysokich plonów, a stworzenie roślinom uprawnym odpowiednich warunków do wzrostu, przyczyni się bezpośrednio do maksymalnego wykorzystania potencjału plonotwórczego. Większy plon dobrej jakości to lepszy wynik finansowy a każdy niepotrzebny przejazd to strata czasu i zwiększone koszty uprawy.

1.2. Systemy uprawy - historia, perspektywy i znaczenie dla uprawy roślin

Celem każdej uprawy jest uzyskanie wysokich plonów przy jak najniższych nakładach finansowych (Białczyk i in. 2006). Względny ekonomiczny oraz środowiskowy skłaniają do stosowania uproszczeń w uprawie, a kukurydza była jedną z pierwszych roślin uprawianych w siewie bezpośrednim (Radecki i Opic 1991). Dlatego też warto zwrócić uwagę na ekonomiczną stronę jej produkcji. Bardzo istotnym elementem w uprawie kukurydzy na ziarno, jest dobór odpowiednio dobranej, do warunków glebowych, agrotechniki, która ma znaczący wpływ na kondycję roślin, wielkość i jakość plonu co w efekcie finalnym przekłada się na opłacalność jej produkcji. Odchodzi się od stosowania nisko wydajnych maszyn uprawowych zastępując je maszynami o znacznych szerokościach roboczych, wieloczynnościowymi i wydajnymi, (Dobek 2003). W dzisiejszym, nowoczesnym rolnictwie zauważalne są uproszczenia i zmiana technologii polegająca na rezygnacji z uprawy tradycyjnej płużnej na rzecz uprawy uproszczonej, zwanej też powierzchniową, polegającą na zastąpieniu pługa innymi narzędziami uprawowymi, oraz siew bezpośredni, w którym za pomocą specjalnych siewników, wykonuje się siew bezpośrednio w ściernisko lub w mulcz (Jaskulska i Jaskulski 2016).

Dużo kontrowersji wśród gospodarstw rolnych wzbudza wybór systemu uprawy płużnej, czy uproszczonej, uwzględniając przy tym posiadane zaplecze maszynowe

gospodarstwa i możliwości skorzystania z unijnej dotacji, która przy dużych kosztach produkcji i cenie maszyn ma ogromne znaczenie. Uprawa bezorkowa, uproszczona to temat, który w swoich zagadnieniach przewija się od lat. Badania dotychczas prowadzone wskazały argumenty za i przeciw uprawie płużnej oraz udowodniły, iż uprawa uproszczona zwiększa podatność na zachwaszczenie co z kolei wpływa na obniżony plon. Według wielu autorów wyniki krajowych doświadczeń, prowadzonych w krótkich cyklach badawczych, wskazują jednoznacznie na negatywny wpływ siewu bezpośredniego na plonowanie kukurydzy, właściwości gleby oraz wzrost zachwaszczenia kukurydzy (Szymankiewicz 1988; Machul 1993; Dubas i Mencil 1999). W doświadczeniu przeprowadzonym przez Bleharczyka i in. (2004) rezygnacja z uprawy płużnej na rzecz uprawy uproszczonej, przyczyniła się do obniżenia plonowania kukurydzy oraz zmniejszenia obsady i wysokości roślin a wieloletnie uproszczenia wywołały niekorzystne zmiany parametrów fizycznych właściwości gleby oraz zwiększenie zachwaszczenia kukurydzy. Natomiast doświadczenie zrealizowane przez Jabłońskiego (1980) potwierdziło iż w porównaniu z uprawą uproszczoną, kukurydza najlepiej plonowała w uprawie tradycyjnej. Uprawa klasyczna płużna jest niekorzystna szczególnie, w okresie trwającej od lat suszy, ze względu na charakter tej uprawy polegający na odwracaniu gleby i głębokiej uprawie. W dzisiejszym rolnictwie, ze względu na coraz cięższe warunki pogodowe, należy reagować agrotechniką prowadzącą przede wszystkim do starannej uprawy gleby, która jest podstawą gospodarki wodnej dla roślin, fundamentem i początkiem uprawy. Według Białczyka i in. (2006) stosowanie uproszczeń uprawowych wpływa na zdolność utrzymywania większej wilgotności gleby, co jest ściśle związane z nienaruszoną zabiegami uprawowymi strukturą gleby. Niezbędne jest zatem działanie zmierzające do odpowiedniej uprawy gleby poprawiającej jej żyzność, magazynowanie wody i utrzymanie prawidłowego odczynu. Istotną kwestią często poruszaną w świecie precyzyjnego rolnictwa jak i w wielu przeprowadzonych dotychczas badaniach naukowych jest problem związany z ilością przejazdów po powierzchni uprawy, nadmiernym ugniataniem gleby, zagęszczeniem jej struktury, który bardzo niekorzystnie wpływa na glebę i rozwój roślin, szczególnie w pierwszych fazach jej rozwoju. Stosując odpowiednią uprawą należy zapobiec nadmiernemu ugniataniu gleby przez koła maszyn i ciągników, (Marks i in. 2002). Dlatego też technologie uproszczone dążą do zmniejszenia ilości przejazdów, zmniejszając jej zagęszczenie i umożliwiając prawidłowy rozwój roślin i pomyślne wschody, od których w dalszym procesie zależy dobry jakościowo plon. Uprawa płużna negatywnie wpływa na strukturę gleby i niesie za sobą jeszcze wiele

elementów agrotechniki związanej z uprawą przedsiewną i doprawianiem gleby, co w aspekcie przekłada się na dodatkowe zaangażowanie maszyn doprawiających i ciągników rolniczych oraz zaangażowanie dodatkowego czasu przeznaczonego na doprawianie pola. Wyniki doświadczenia Białczyka i in. (2008) potwierdzają, iż orka stosowana w uprawie tradycyjnej jest najbardziej energochłonnym zabiegiem, na wykonanie którego potrzeba najwięcej czasu. Badania wykazały że wyeliminowanie orki z technologii uprawy pozwala zaoszczędzić około 3 godzin czasu pracy maszyn i ludzi oraz 18-20 litrów paliwa na każdym hektarze. Biorąc pod uwagę powyższe informacje, uprawa bezpośrednia z zastosowaniem agregatów uprawowo-siewnych polegająca na przeprowadzeniu trzech zabiegów w jednym czasie tj.: uprawy, siewu i nawożenia za jednym przejazdem jest zachętą polegającą na rezygnacji z uprawy płużnej na rzecz uprawy uproszczonej. Uwzględniając przy tym również skalę ingerencji na strukturę gleby w okresach nasilającej się suszy. Uprawa z wyłączeniem pługa stosowana jest w większości w dużych gospodarstwach, w których dominują maszyny pozwalające na wydajną pracę i oszczędność czasu. Dla mniejszych gospodarstw technologia uproszczona może być nieosiągalna z powodu wysokiej ceny maszyn i konieczności stosowania mocnych ciągników. Nie oznacza jednak, iż uprawa uproszczona przynosi więcej korzyści od uprawy płużnej. Każda z tych dwóch technologii uprawy kukurydzy na ziarno, niesie za sobą dużo wad jak i sporo zalet, wpływających na właściwości gleby, plonowanie i efektywność ekonomiczną, co potwierdzają przeprowadzone wielokrotnie doświadczenia polowe.

1.3. Wpływ systemów uprawy na plonowanie, elementy struktury plonu i skład chemiczny ziaren kukurydzy

]Ze względu na bardzo głęboki i mocno rozwinięty system korzeniowy kukurydza, dobrze radzi sobie z okresowym niedoborem wody. W obliczu zmian klimatu nasuwa się jednak pytanie jaką zastosować technologie uprawy kukurydzy na ziarno, mającą lepszy wpływ na plon, jakość ziarna, właściwości gleby oraz efektywność ekonomiczną. Wyniki badań wielu autorów wskazują, iż sposób uprawy roli ma istotny wpływ na plony kukurydzy (Jabłoński 1980; Dubas i Mencil 1999; Machul 2005). W sytuacji coraz częstszych anomalii pogodowych uprawa kukurydzy staje się coraz trudniejsza a precyzja uprawy gleby w zależności od technologii, to na starcie wyzwanie niosące za sobą

czynności, które dążą do zwiększenia bezpieczeństwa uprawy, uzyskanie poprawnych wschodów i utrzymanie dobrej kondycji roślin. Sposób uprawy roli stanowi integralną część systemu produkcji polowej (Radecki 1986). Zmiany klimatu wymusiły konieczność dostosowania nie tylko wyboru technologii uprawy, lecz całego jej procesu składającego się z wielu elementów agrotechniki, dążącej do prawidłowego rozwoju roślin kukurydzy i opłacalności jej produkcji. Według Adamczyka (2001) niezależnie od kierunku użytkowania, na wysokość i jakość zebranego plonu kukurydzy w 40% decydują czynniki agrotechniczne, w 30% warunki klimatyczne i także w 30% właściwy dobór odmian. Natomiast według Dubasa (1988) na wysokość i jakość zebranego plonu w 70% wpływa agrotechnika a w 30% warunki klimatyczne.

Uprawa płuzna ze względu na charakter uprawy polegający na odwróceniu warstwy gleby jest głęboka, mocno spulchniona, napowietrzona i ma zwiększoną objętość. Sposób uprawy polegający na odwróceniu skiby jest związany z ryzykiem przesuszenia gleby, co skutkuje utrudnionym pobraniem przez rośliny składników pokarmowych oraz słabym rozwojem i kondycją roślin kukurydzy w całym okresie wegetacji. W czasie wysokich temperatur wierzchnia warstwa gleby bardzo szybko przysycha i bezpowrotnie traci wilgoć, zwiększając przy tym ryzyko obniżenia plonu. Powstała w uprawie orkowej podeszwa płuzna wymaga przeprowadzenia szeregu dodatkowych zabiegów, tym samym zastosowania odpowiednich maszyn doprawiających, służących do walki z nadmiernym jej zagęszczeniem w głębszych warstwach, co wiąże się ze wzrostem kosztów paliwa i zaangażowania czasowego. Celem zabiegu jest przerwanie podeszwy płuznej, spulchnienie oraz pozostawienie jej lepszej struktury tym samym umożliwienie podciągania wody do strefy pobierania przez korzenie roślin. Wiaże się to jednak z większą ilością przejazdów i nadmiernym ugniataniem gleby przez ciężkie maszyny uprawowe co powoduje przenoszenie sił pionowych i poziomych na glebę wywołując w niej określony stan naprężeń, odkształceń i przemieszczeń (Chigarev i in. 2009). Stosowanie ciężkiego sprzętu prowadzi do pogorszenia warunków siedliskowych i degradacji fizycznej gleby, która może być przyczyną znacznego ograniczenia wzrostu i plonowania roślin (Mocek i in. 1994). Zaleca się by technologię uprawy zredukować do niezbędnego minimum, by zminimalizować ugniatanie gleby i jej niszczenie, które znacznie ogranicza rozkład materii organicznej, spowalnia mineralizację i dostępność roślin do składników pokarmowych. W agrotechnice uprawy kukurydzy, bardzo ważna jest głębokość uprawy zależna od rodzaju gleby wpływająca na jakość uprawy jak również na koszty związane z paliwem. Jak twierdzi Włodek i in. (2007) zmniejszenie ilości

zabiegów uprawowych oraz ich głębokość wpływa na właściwości gleby oraz plonowanie. Natomiast badania przeprowadzone przez Marczyka (2006) i Bulińskiego (1998) wykazały, iż w powszechnie stosowanych technologiach uprawy orkowej wykonuje się od kilkunastu do 25 przejazdów agregatami rolniczymi, co powoduje znaczne ugniecenie powierzchni przez koła maszyn roboczych. Ma to negatywny wpływ na strukturę gleby, wzrasta zagęszczenie tym samym pogorszenie warunków dla rozwoju roślin (Marczyk 2006). W badaniach Bulińskiego (1998) analizy ruchu agregatów po polu wykazały, że podczas przejazdów agregatów w zabiegach doprawiania gleby po orce, siewie, ochronie roślin i zbiorze ślady kół mogą pokrywać się ponad 25 krotnie. Stosowanie ciężkiego sprzętu oraz zbyt częste zabiegi uprawowe przyczyniają się do zagęszczenia warstwy podglebia tworząc tzw. podeszwę płużną ograniczającą infiltrację wody i jej retencję w głębszych partiach profilu (Jadczyszyn 2010).

Zastosowanie uproszczeń jak wskazuje (Święcicki i in. 2011) wprowadza szereg zalet: jak zapobieganie erozji gleby, intensyfikację w glebie życia biologicznego, zwiększenie zawartości substancji organicznej i wilgotności gleby oraz zmniejszenie zużycia paliwa a także obniżenie emisji spalin i zanieczyszczenia powietrza. Doświadczenia zrealizowane przez Dzień i in. (1995a) oraz Pabina i in. (2000), potwierdzają, iż większa gęstość gleby występuje po siewie bezpośrednim.

Staranne przygotowanie pola do siewu, jej odpowiednie zagęszczenie, wyrównanie i gruzelkowata struktura to podstawa w uprawie kukurydzy by odpowiednio dobranym do warunków glebowych nawożeniem doprowadzić do prawidłowych wschodów i dobrej kondycji roślin w całym procesie jej rozwoju. Według Lisowskiej (2023) racjonalne nawożenie powinno być oparte o znajomość wymagań pokarmowych roślin i zasobność stanowiska przeznaczonego pod uprawę. Dlatego też uprawa przedsiewna ma za zadanie stworzyć dobrą strukturę gleby, by umożliwić dokładny siew, nawożenie, zwiększyć możliwość zmagazynowania wody i ułatwić wykształcenie silnego systemu korzeniowego kukurydzy istotnego przy pobieraniu wody i składników pokarmowych przez roślinę.

Według Talarczyka i Zbytka (2006) w przypadku kiedy uprawa gleby, w dłuższym okresie czasu, prowadzona jest na tej samej głębokości wówczas tworzy się twarda podeszwa, którą należy zaradzić agrotechniką stosując kultywator, jako jeden z podstawowych narzędzi w uproszczonych technologiach uprawy. W celu odpowiedniego przygotowania gleby do siewu i ograniczenia utraty cennej wilgoci w głębszych jej warstwach stosowane zabiegi przedsiewne i późniewne wymagają wprowadzenia na pola coraz cięższych maszyn i ciągników, które przyczyniają się do ugniatania gleb.

Są to kultywatory, wały zagęszczające i kruszące wyposażone w pierścienie uprawowe, głębosze, brony talerzowe oraz wieloczynnościowe agregaty uprawowe, (Carman 1994). W świetle wielkoobszarowych upraw kukurydzy jest to nieuniknione, a w dobie nowoczesnego rolnictwa od coraz większej presji na jego zmotoryzowanie, zmechanizowanie nie ma odwrotu, (Marks i Buczyński 2002).

Według Piskiera i Sekutowskiego (2014) ideą bezorkowej uprawy roli jest spulchnianie oraz wymieszanie resztek poźniwnych, Uprawa ta nie powoduje jednak odwrócenia warstwy roli, co jest głównym założeniem uprawy orkowej. W uprawie kukurydzy na ziarno, resztki poźniwne to duża masa ściętych łodyg, kolb i liści okrywowych stanowiące bardzo cenny nawóz, będący źródłem potasu i wielu składników pokarmowych, a także bardzo ważnej próchnicy, mającej istotne znaczenie w magazynowaniu wody w glebie. Duże znaczenie ma praca kombajnu a zbiór plonu i zagospodarowanie resztek poźniwnych to początek procesu uprawy kukurydzy i kolejny istotny element agrotechniki. Dlatego bardzo ważne jest w uprawie kukurydzy przeprowadzanie, zaraz po zbiorach, starannej uprawy poźniwnej i pocięcie ścierniska na odpowiedniej wysokości i równomierne jej rozrzucenie na powierzchni pola. Odpowiednio rozdrobniona słoma nieprzekraczająca 6-8 cm, dobrze wymieszana z wierzchnią warstwą gleby, szybciej się rozkłada i pozytywnie wpływa na przebieg procesu mineralizacji. Brona talerzowa i ustawiona głębokość pracy talerzy odpowiednio wymiesza resztki poźniwne w warstwie płytkiej na głębokości około 10 cm, by procesy rozkładu przebiegały najszybciej. Płytkie przykrycie rozdrobnionych resztek masy poźniwnej kukurydzy jest ważne w procesie dostarczenia cennego nawozu. Ograniczy również parowanie wody poprzez zminimalizowanie oddziaływania promieniowania słonecznego i nagrzewania się gleby. Pozytywnie wpłynie na rozluźnienie gleby i zredukuje tworzenie się skorupy glebowej, umożliwiając przy tym gromadzenie wody i stworzenie dobrych warunków do racjonalnego nawożenia. Duży wpływ na potencjał gromadzenia wody mają substancje organiczne w pozostawionej masie resztek poźniwnych jak również nawożeniu obornikiem i dobrze przeprowadzonej uprawie wpływającej na powstawanie kapilar zwiększających porowatość gleby i jej pojemność wodną.

Oceniając w jakim stopniu słoma kukurydzy użyźnia glebę Górecka (2014) podaje, że z toną suchej masy resztek poźniwnych kukurydzy do gleby trafia około: 12 kg azotu, 4,7 kg fosforu, 22 kg wapnia i 4,7 kg magnezu. Przyorując 6 t·ha⁻¹ suchej masy słomy kukurydzianej, wprowadza się do gleby równowartość 30 ton obornika. Wykorzystanie

tych składników w pierwszym roku po przyoraniu wynosi dla azotu 30%, a dla fosforu, potasu i magnezu 100%, (<https://technologia.kpodr.pl>).

Ze względu na charakter jaki reprezentuje uprawa uproszczona, składniki pokarmowe, materia organiczna, w postaci resztek poźniwnych czy obornika jest nagromadzona jedynie w górnych warstwach gleby, natomiast minimalne w częściach dolnych. Mając na uwadze, iż materia organiczna, która jest prekursorem próchnicy jest bardzo istotna w procesie gromadzenia i zatrzymania wody w glebie, system uproszczony należy pod tym kątem ocenić negatywnie. Przy braku wzruszonej gleby, systemy uproszczone w małym stopniu wpływają na zwiększenie objętości porów, które magazynują wodę. Plusem jest, iż nie dochodzi do przerywania kapilar glebowych, przez które woda wyparowuje. Gleba zagęszczona ma bardzo mało porów w których mogłaby być zmagazynowana, a im bardziej uproszczony, zredukowany system uprawy, tym w znacznym stopniu gleba ulega zagęszczeniu i znacznym ograniczeniu wsiąkania nadmiaru wody. Dlatego też w uprawie uproszczonej poprzez zastosowanie kultywatorów następuje spulchnianie gleby bez jej odwracania unikając przy tym nadmiernego przesuszania jak ma to miejsce w uprawie płużnej. Wybrane technologie upraw i zaangażowanie odpowiednich maszyn uprawowych zwiększają zdolność do retencjonowania wody. Różnice są znaczące i istotne by poprzez odpowiednią uprawę zminimalizować parowanie wody z głębszych warstw gleby. Warto więc zadbać o próchnicę i dostarczyć materię organiczną w postaci nawożenia obornikiem. Zgodnie z przepisami, wielkość rocznej dawki nawozów naturalnych wykorzystywanych rolniczo nie może zawierać więcej niż 170 kg N ha⁻¹ użytków rolnych, w czystym składniku, (<https://www.dziennikustaw.gov.pl>). Nawóz najlepiej jest rozrzucić wczesną wiosną, a zalecana dawka obornika pod kukurydzę to jest 25-30 t·ha⁻¹, (Pikuła 2014). Nawożenie obornikiem w uprawie kukurydzy powinno się stosować z uzupełniającą dawką nawozów mineralnych: azotowych, fosforowych, potasowych (Hołaj i Zaliwski 2008). Dlatego też nawożenie uzupełniające jest bardzo istotnym elementem w uprawie kukurydzy.

Uprawa płużna i pług jest najlepszym narzędziem do zagospodarowania obornika, który przy udziale korpusów i odpowiednim wymieszaniu z glebą skutecznie ogranicza kontakt nawozu naturalnego z powietrzem zachowując jego pierwotną wilgotność. W przypadku uprawy uproszczonej działanie to jest znacznie ograniczone ze względu na płytki charakter uprawy agregatu talerzowego, który nie jest w stanie tak starannie zagospodarować nawóz organiczny jak pług, zwiększając przy tym straty azotu. Technologia płużna, o ile w przypadku zadania polegającego na wymieszaniu obornika

w glebie jest bardzo korzystna na tyle w przypadku przyorania masy poźniwej niesie za sobą ryzyko zbyt głębokiego wymieszania przyczyniając się przy tym do powolnego jej rozkładu w głębszych warstwach gleby. Dlatego też dobrze rozdrobnione resztki poźniwe są łatwiejsze do prawidłowego przyorania, dłuższe i nieprawidłowo rozdrobnione sprzyjają zapchaniu pomiędzy korpusami, czego efektem będą utrudnione i opóźnione prace polowe.

Uprawa płuzna, dzięki pracy skib znacznie ogranicza zagrożenia związane z zachwaszczeniem, zmniejszając przy tym nakłady na ochronę chemiczną upraw. Zaletą tej uprawy jest też pozytywny wpływ na ograniczenie rozwoju szkodników.

1.4. Uproszczone systemy uprawy gleby, a rozwój szkodników

Uproszczenia w uprawie podyktowane wzrostem powierzchni kukurydzy w Polsce zwiększają rozwój szkodników a poziom ich szkodliwości zależy od stosowanych uproszczeń uprawy, warunków glebowo-klimatycznych, odmiany kukurydzy i jej wczesności. Jak potwierdzają dane literaturowe, większe zagrożenie dla roślin uprawnych ze strony agrofagów obserwuje się w systemach uprawy bezorkowej (Gołębiowska i Kaus 2009).

Najgroźniejszym szkodnikiem w uprawie kukurydzy na ziarno jest omacnica prasowianka (*Ostrinia nubilalis*). W szczególności dla odmian późniejszych, które ze względu na dłuższy okres wegetacji dłużej pozostają na polu i narażone są ze strony tego szkodnika na silne porażenie całej rośliny kukurydzy. Gąsienice atakują łodygi, liście i kolby, powodując znaczne jej uszkodzenia ograniczając przy tym transport składników pokarmowych i wody pobieranej przez rośliny. Ma to negatywny wpływ na nierównomierne zaziarnienie kolb, a wygryzanie wewnętrznej części łodyg przez omacnicę przyczynia się do jej zasychania i zamierania obniżając plon. Zaatakowane omacnicą rośliny kukurydzy są bardziej wrażliwe na choroby grzybowe z rodzaju fusarium odpowiedzialne za pojawienie się zgorzeli siewek, fuzariozy czy też główki guzowatej zwiększając przy tym straty w uprawie. Fuzarioza kolb najczęściej pojawia się z końcem wegetacji, a zawartość mikotoksyn w ziarnie szczególnie wzrasta w okresie jesiennych przymrozków. Jest to kolejny argument, aby zaraz po zbiorach kukurydzy jak najszybciej i starannie uprawić ściernisko, by ograniczyć rozwój larw, które znajdują się częściowo na powierzchni gleby w resztkach łodyg i korzeni mając dobre warunki do zimowania. Uprawa uproszczona sprzyja wzrostowi zagrożenia omacnicą prasowianką, a zastosowanie

talerzówki nie gwarantuje ograniczenia jej populacji, w tak dużym stopniu jak pług, który przyorując słomę kukurydzianą, przyoruje jednocześnie gąsienice omacnicy, ograniczając rozwój tego szkodnika, kryjącego się po zbiorach w dolnych częściach łodyg. Żeby larwy omacnicy zginęły muszą być przykryte w glebie na głębokość co najmniej 15 cm. Średnia orka wymagana przy uprawie kukurydzy to 20 cm, natomiast agregat talerzowy miesza resztki poźniwe na głębokości 10 cm. Wobec czego uprawa płuzna jest najskuteczniejsza w zwalczaniu tego szkodnika, (Bereś 2022).

Niedokładanie rozdrobniona i nieprzeorana materia organiczna w postaci masy poźniwej, to także czynnik zwiększający ryzyko pojawienia chorób będących następstwem pozostawionych zarodków patogenów znajdujących się pod powierzchnią warstwy gleby.

Uprawa płuzna poprzez odwrócenie gleby pługiem niesie za sobą konsekwencję związaną z zaburzeniem mikroflory glebowej i bytowaniu mikroorganizmów tlenowych i beztlenowych. Powszechnie znana i potwierdzona jest wzmożona aktywność dżdżownic na polach nieoranych, (Machul 2005).

1.5. Charakterystyka zachwaszczenia gleby

Uprawa kukurydzy, szczególnie w bezorkowym systemie uprawy, narażona jest na silne zachwaszczenie. W literaturze przedmiotu przeważa pogląd, że uproszczenia powodują wzrost zachwaszczenia oraz zwiększenie liczebności i masy chwastów. W badaniach Machula (1993) oraz Radeckiego (1986) uzyskano wynik, że sucha masa chwastów w obiektach uprawy uproszczonej była od dwóch do trzech razy większa niż w uprawie tradycyjnej. Podobnie spostrzeżenia dotyczące obniżenia plonów podyktowane wzrostem zachwaszczenia przy siewie bezpośrednim odnotowali inni autorzy, (Krążel 1991; Dzienia i in. 1995b; Dzienia i Piskier 1998). Szeroka rozstawa rzędów, znaczne odległości roślin w rzędach, długi okres od siewu do wschodów i początkowy powolny wzrost kukurydzy stwarzają dobre warunki do rozwoju chwastów, (Kruczek i Książak 2004; Skrzypczak i in. 2008). Najczęściej pojawiają się: *Chenopodium album*, *Absinthium*, *Echinochloa crus galli*, *Artemisja vulgaris*, (Gołębiowska 2013; Bleharczyk i in. 2004).

Zachwaszczenie jest istotnym problemem, który może przyczynić się do spadku plonu ziarna. Na ogół uproszczona uprawa powoduje obniżkę plonu, a przyczyną obniżki jest mniejsza obsada roślin i mniejsza liczba kolb z jednostki powierzchni, (Machul. 2005). Jak podają Piskier i Sekutowski (2014) bardzo ważnym czynnikiem regulującym stan

i stopień zachwaszczenia jest płodozmian, a prawidłowo prowadzone zmianowanie, w połączeniu ze zróżnicowanymi zabiegami uprawowymi, sprzyja utrzymaniu zachwaszczenia na względnie niskim poziomie. Taki sam wniosek przedstawiają inni autorzy, (Blecharczyk i in. 2004; Sekutowski 2009). Sulewska (2008) podaje, że kukurydza uprawiana w płodozmianie, nawet uproszczonym plonuje o 10-20% wyżej niż w monokulturze. Pikuła (2014) informuje, iż badania naukowe potwierdzają, że zmianowanie znacznie ogranicza choroby, szkodniki polepszając jakość siedliska. Dlatego też nie można prowadzić uprawy w monokulturze redukując tym samym zagrożenie rozwojem chwastów jak i ograniczając rozwój szkodników. Jak wskazuje w swoim artykule Daleszyński (2021), zwalczanie chwastów jednym zabiegiem jest niemożliwe, dlatego też sposobem w skutecznej walce z chwastami jest zastosowanie dawek dzielonych, doglebowych i nalistnych. Zaletą zabiegu doglebowego jest wczesna eliminacja chwastów od momentu wschodów kukurydzy, z jednoczesną ochroną uprawy, przez najbliższy czas jej rozwoju. Zabiegi nalistne po wschodach kukurydzy są dobrym rozwiązaniem w zwiększeniu skuteczności działania herbicydowego. Przy opryskach dzielonych środki stosowane są w niższych dawkach w których pierwszy powinien być wykonany w fazie 2-3 liści kukurydzy, a następny w fazie 5-6 liścia. To czas w którym chwasty są dobrze rozwinięte, a skuteczność działania duża. Chwasty znacznie pokrywają powierzchnie uprawy, silnie zagłuszają i spowalniają rozwój kukurydzy, obniżając jej plon, a szerokie międzyrzędzia i czas liczony od siewu do wschodów sprzyja ich rozwojowi. Bardzo istotne w zabiegach herbicydowych są warunki pogodowe, które wiosną mogą znacznie utrudnić wykonanie zabiegu w wymaganym terminie. Herbicydy najlepiej działają przy wilgotności powietrza >70% a susza w działaniu herbicydów jest bardzo niekorzystna i przyczynia się do spowolnionego rozkładu czynnej substancji. Opady deszczu z kolei znacznie utrudniają zabieg poprzez wymycie środków w głąb profilu glebowego, niedostępnego dla chwastów a ryzykowanego dla kukurydzy, gdyż pobranie środków herbicydowych w nadmiernej ilości przez korzenie kukurydzy może ją znacznie uszkodzić. Wybrany herbicyd musi gwarantować nie tylko zniszczenie chwastów, które już powschodziły ale także zabezpieczyć kukurydzę przed ich kolejnymi wschodami, wobec czego zalecane są herbicydy o długotrwałym działaniu by zminimalizować wtórne zachwaszczenie. Oprócz doboru odpowiedniego herbicydu jest uzasadniony dobór właściwego adiuwanta poprawiającego rozprowadzenie cieczy zwiększając skuteczność jego działania. W procesie prawidłowego rozkładu cieczy ważna jest woda i jej odpowiednia temperatura, odczyn pH, twardość i zawartość jonów takich

jak: Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Al, które wpływają na prawidłową zdolność rozpuszczenia się środka chwastobójczego pobranego przez chwasty. Temperatura wody i odczyn to element bardzo istotny w uzyskaniu lepszego efektu rozpuszczenia preparatu i większej skuteczności zabiegu. Dlatego też woda w opryskiwaczu powinna odstać by uzyskać przyjętą w agrotechnice temperaturę 15-20°C, a odczyn cieczy opryskowej powinien wpisywać się w zakres pH 5,5-6,5, to jest kwaśny do lekko kwaśnego. Jednak duża ilość stosowanych w praktyce herbicydów oparta jest sulfonilomocznikach, które do ich rozpuszczalności wymagają wyższego pH 7,5-9 by utrzymać skuteczność działania tych środków. Należą do nich bardzo popularny nikosulfuron, który znajduje się w ponad 70 dostępnych preparatach znany i stosowany jako środek ochrony roślin w zabiegach na chwasty w uprawie kukurydzy jako Ikanos (Nikosulfuron) czy Dikamba, zalecane w zastosowaniu Nikosulfuronu $2,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$.

1.6. Analiza ekonomiczna

Celem każdej uprawy jest uzyskanie jak najwyższych plonów dobrej jakości, który dobrze się sprzeda i przyniesie oczekiwany zysk. Dlatego też wybór odpowiedniej technologii uprawy płuźnej czy uproszonej powinien obejmować pełną analizę ekonomiczną, w której jak wskazuje (Hołaj i Zaliwski 2008) ocena działalności gospodarstwa i kondycji finansowej powinna być poprzedzona badaniem kilku lat tj. sezonów wegetacyjnych celem oszacowania bardziej trwałych skutków określonych zabiegów. Ocenie powinny podlegać koszty produkcji kukurydzy, które będą zależne od wielu czynników tj. odpowiednio dobranej agrotechniki i związanych z nią ilością zabiegów, sposobu nawożenia i zastosowania środków ochrony roślin, stopnia mechanizacji, ilości przejazdów i paliwa. Ocena opłacalności produkcji powinna być oparta na analizie ekonomicznej wysokości uzyskanego plonu, ceny skupu oraz poniesione koszty produkcji. Jak twierdzi (Białczyk i in. 2008), dochód z produkcji powinien być większy niż koszty poniesione na tę produkcję. Istotny wpływ ma jednak pogoda warunkująca również powodzenie uprawy jej wydajności i opłacalności produkcji. Według (Szmigiel i Oleksy 2006) opłacalność uprawy kukurydzy na ziarno zależy od tych czynników, które najsilniej oddziałują na wysokość plonu czyli od przebiegu warunków pogodowych, podczas całego sezonu wegetacyjnego. Analiza ekonomiczna uwzględniająca poniesione koszty i otrzymany zysk, podsumuje opłacalność uprawy kukurydzy w dwóch systemach.

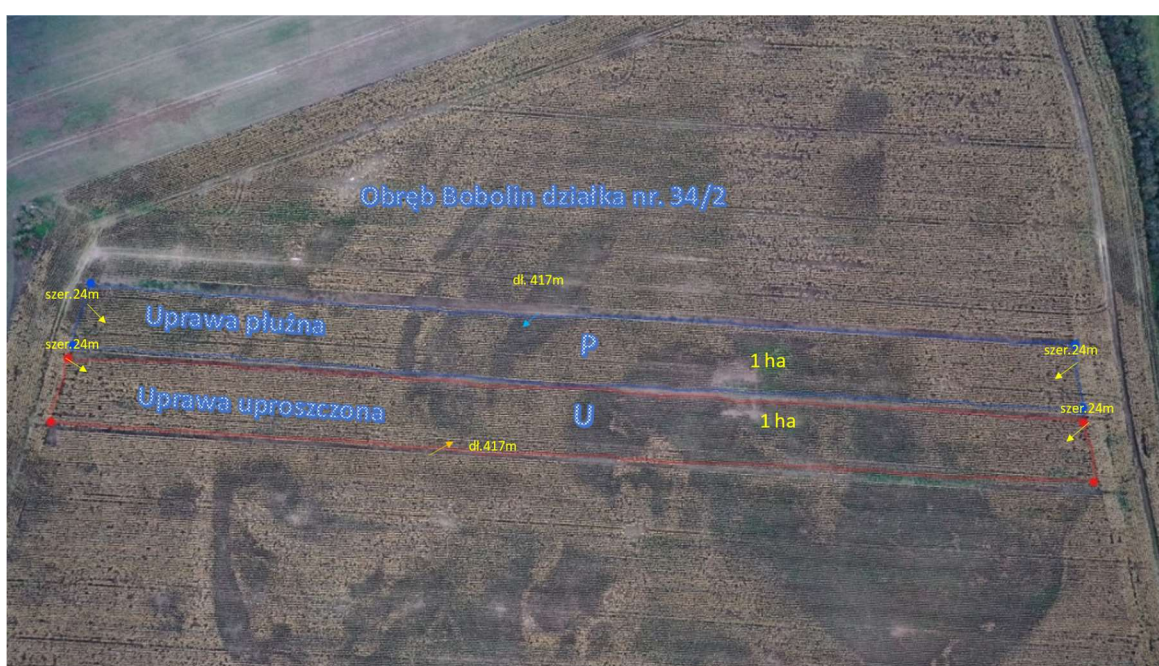
2. Cel i zakres pracy

Celem przeprowadzonych badań była uprawa kukurydzy w dwóch odmiennych technologiach uprawy tj. płużnej i uproszczonej. Realizując badania, porównano, plonowanie kukurydzy, na ziarno, w zależności od technologii uprawy, a także określenie wpływu stosowania uproszczeń na jakość ziaren, cechy biometryczne, właściwości fizykochemiczne gleby, czas pracy maszyn oraz wynik finansowy decydujący o opłacalności uprawy w zależności od stosowanej technologii. Zakres prac obejmował uprawę kukurydzy zawierającą kolejno wszystkie elementy stosowanej agrotechniki, w zależności od zastosowanej technologii uprawy oraz przeprowadzenie szeregu badań materiału badawczego tj. roślin kukurydzy zebranej z obu poletek. Analizy wykonane zostały w laboratorium Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego Wydziału Kształtowania Środowiska i Rolnictwa. Szczegółowe badania przewiezionych roślin kukurydzy miały na celu uzyskanie jak największego zakresu wyników otrzymanych na podstawie pomiarów ilościowych jak i jakościowych. Zakres prac obejmował również, bardzo istotny, w procesie uprawy przebieg warunków atmosferycznych obejmującym dwuletnie doświadczenie, realizowane na zasadzie powtórzenia doświadczenia. Uprawę kukurydzy i analizę zebranego materiału badawczego przeprowadzono dwukrotnie w sposób identyczny. Uzyskane wyniki i szczególnie przeprowadzona analiza porównawcza doświadczenia, odpowiadzą na pytania dotyczące argumentów za i przeciw stosowania odmiennych technologii uprawy tj. płużnej i uproszczonej.

3. Materiał badawczy, metody badań i warunki doświadczenia

3.1. Opis doświadczenia

Doświadczenie polowe przeprowadzono w gospodarstwie rolnym w obrębie miejscowości Bobolin, w gminie Kołbaskowo, o współrzędnych geograficznych 14°25' E, i 53°20' N. Stanowisko badawcze to wydzielone 2 hektary gruntu ornego umiejscowione na działce nr 34/2.



Rys. 3.1. Mapa poletek badawczych ze wskazaniem podziału uprawy płuźnej oznaczonej jako „P” oraz uprawy uproszczonej oznaczonej jako „U”. Źródło: Opracowanie własne rzut poletek badawczych sporządzonych z lotu DRONA

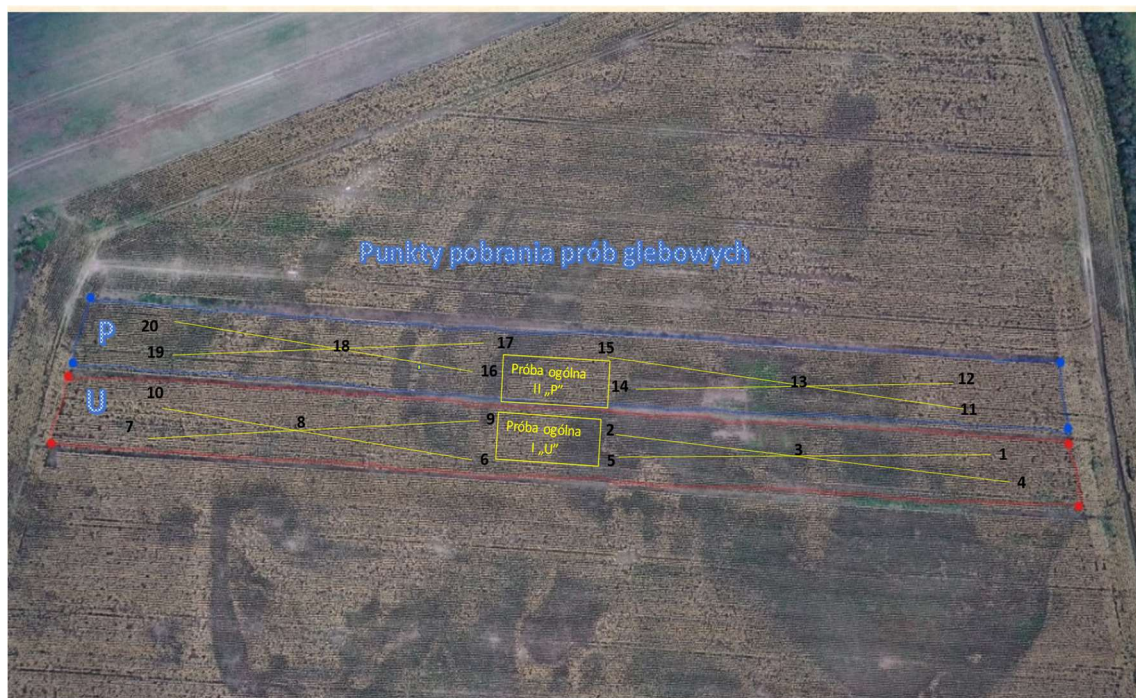
Wybrana lokalizacja, była bardzo istotna w procesie prowadzonych badań, ze względu na możliwość, stałej obecności w całym procesie prowadzonego doświadczenia obejmującego uprawę oraz regularny monitoring plantacji pod kątem rozwoju roślin kukurydzy, zachwaszczenia jak i przebiegu warunków atmosferycznych. Okolica, która bezpośrednio graniczy z wydzielonym miejscem przeznaczonym pod uprawę kukurydzy to 200 hektarów gruntu ornego, na którym prowadzona jest uprawa zbóż, rzepaku, grochu oraz kukurydzy. Przedplonem kukurydzy, będącej przedmiotem pracy badawczej, były pszenica i żyto. Z wydzielonej powierzchni, przeznaczonej pod doświadczenie wytyczono i odpowiednio oznakowano dwa poletka, położone równolegle

względem siebie o powierzchni 1 hektara każde o identycznym nachyleniu i nasłonecznieniu o wymiarach 24x417 m, na których prowadzone było doświadczenie polegające na uprawie kukurydzy na ziarno w dwóch odmiennych technologiach uprawy płużnej i uproszczonej oznaczonej jako „P” i „U”.

Doświadczenie polowe przeprowadzono w układzie dwuletnim w latach 2020 i 2021, które w każdym roku prowadzonych doświadczeń podzielone były na dwa etapy. Pierwszy etap dotyczył prac polowych dotyczących uprawy kukurydzy w dwóch odmiennych technologiach uprawy, trwający od marca do drugiej połowy listopada, drugi zaś obejmował szczegółową analizę zebranych z pola roślin kukurydzy tzw. materiału badawczego przewiezonego, który trwał od połowy listopada do grudnia. Uprawa prowadzona była zgodnie z zaleceniami dobrej agrotechniki, uwzględniającej szereg elementów, które były bardzo istotne w tym procesie.

Doświadczenie rozpoczęto od analizy gleby, jako pierwszego bardzo istotnego elementu agrotechniki, prowadzącego do dobrego przygotowania stanowiska pod uprawę i zaplanowania odpowiedniego, do warunków glebowych, nawożenia. W pierwszym roku prowadzonego doświadczenia, wczesną wiosną, w dniu 30 marca 2020 roku, jak i w drugim roku prowadzonego doświadczenia w dniu 9 kwietnia 2021, pobrano próby glebowe z warstwy ornej, łaską glebową Egnera na głębokości 20 cm, odgarniając warstwę ściółki, resztek poźniwnych i suchą wierzchnią warstwę gleby. Próby gleby pobrano zgodnie z wymaganiami podanymi w obowiązującej normie, (PN-R-04031:1997). Różnice w terminie pobrania prób glebowych w drugim roku prowadzonego doświadczenia, w stosunku do roku pierwszego wynikały z gorszych warunków pogodowych, opadów i znacznie niższych temperatur jakie miały miejsce w pierwszym roku badawczym.

Pobranie prób glebowych z obu poletek nastąpiło na podstawie szkicu sytuacyjnego obu poletek, który określał po 10 punktów na poletku uprawy płużnej i uproszczonej. Próby glebowe z obu poletek zostały pobrane przed zastosowaniem nawozów. Próby pobrane z danego, oznakowanego liczbą, punktu zostały starannie zamknięte w woreczku oznakowanym danym numerem. Reasumując pobrano łącznie 20 oznakowanych prób glebowych, które zostały natychmiast przewiezione do laboratorium Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Szczecinie. Dostarczone do laboratorium pojedyncze próby, pobrane z 10 miejsc danego poletka zostały wymieszane i oznakowane jako próba ogólna I poletka „U” tj. uprawy uproszczonej i próba ogólna II poletka „P” tj. uprawy płużnej.



Rys. 3.2. Szkic sytuacyjny prób glebowych przedstawiony na podstawie rzutu z DRONA. Źródło: Opracowanie własne.

Wyniki prób glebowych wykazały, iż doświadczenie przeprowadzone będzie na gruncie ornym średnio dobrym, klasy V, na glebie lekkiej, grupie granulometrycznej piasku gliniastego, o odczynie kwaśnym na poziomie pH 5,2-5,5, wymagającym wapnowania, (PN-ISO 10390/1997). Wynik niskiego pH na obu poletkach świadczył o zakwaszeniu gleby i niskiej zasobności w próchnicę. Doświadczenie prowadzone na glebie lekkiej, piasku gliniastym o niskim pH wiązało się z ograniczonym magazynowaniem wilgoci, tym samym ryzykiem zmniejszonej skuteczności nawożenia.

Uwzględniając wyniki gleby i jej zasobność w składniki mineralne, zaplanowano odpowiednie zabiegi agrotechniczne w postaci dostosowanego do warunków glebowych nawożenia mineralnego a szczególnie azotowego jak również dostarczenia odpowiedniej ilości materii organicznej, w postaci obornika. Zaplanowano odpowiednią uprawę przedsiewną, zapewniającą uzyskanie odpowiedniej struktury gruzelkowatej gleby przez co stwarzając korzeniom kukurydzy odpowiednie warunki powietrzno-wodne, za które odpowiedzialna jest próchnica. Dlatego też by zwiększyć pojemność sorpcyjną gleby i powstrzymać degradację próchnicy w pierwszym roku prowadzonych badań w dniu 8 kwietnia 2020 roku jak i w drugim roku prowadzonego doświadczenia w dniu 15 kwietnia 2021 roku na poletkach doświadczalnych uprawy płuźnej i uproszczonej rozrzucono, rozrzutnikiem marki Pichon o ładowności 20 ton, główny nośnik azotu czyli

obornik w ilości $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, pozyskany od okolicznego rolnika. Rozpoczynając orkę wiosenną, po rozrzuconiu, obornik niezwłocznie wymieszano z glebą, aby w procesie parowania nie doszło do strat cennego azotu. Obornik wymieszano z glebą na głębokości 20 cm pługiem 5-skibowym obracalnym marki Kverneland EM/LM o szerokości roboczej 2,5 m z ustawieniem korpusów - 45 cm. Zanim przystąpiono do prac polowych, pług dobrze wypoziomowano aby wszystkie korpusy były tak samo zagłębione i równo dokładały kolejne skiby. Regulację tą przeprowadzono na wstępie, by odpowiednim ustawieniem optymalnej głębokości orki i szerokości pierwszej skiby zminimalizować zużycie paliwa i zwiększyć wydajność pracy ciągnika rolniczego, marki John Deere 6250 R o mocy 250 KM. Uprawę płuzną przeprowadzono z prędkością $8\text{-}10 \text{ km} \cdot \text{ha}^{-1}$, przy zużyciu paliwa na poziomie $16 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Czas pracy orki na poletku uprawy płuznej o powierzchni 1 hektara trwał 50 minut. Warunki glebowe prowadzonego doświadczenia, na glebie lekkiej piasku gliniastym sprzyjały sprawnemu przebiegowi pracy ciągnika. Ustawienie głębokości pracy korpusów na poziomie 20 cm uznano za bezpieczną i optymalną, gdyż zbyt głębokie wiązałyby się z ryzykiem nadmiernego przesuszenia gleby związane z dodatkową uprawą i nadmiernymi przejazdami prowadzącymi do degradacji gleby i nadmiernego jej ugniatania, następstwem czego byłyby zwiększone nakłady pracy i koszty paliwa. Gleba lekka piasek gliniasty, na której prowadzono doświadczenie nie wymagała uprawy wymagającej zwiększonego nakładu czasu pracy i zwiększonych kosztów materiału pędnego, jak przykładowo na glebach cięższych wymagających większego zaangażowania związanego z przygotowaniem pola do siewu.

W pierwszym jak i w drugim roku, prowadzonego doświadczenia, uwzględniono przede wszystkim rodzaj gleby, wyniki laboratoryjne prób glebowych oraz stan gleby po zimie. Uprawa przedsiewna prowadzona była zgodnie z zaleceniami dobrej agrotechniki z zastosowaniem odpowiednich maszyn uprawowych, dostosowanych do warunków glebowych i prowadzonej technologii.

Zaplanowano odpowiednio zabiegi przedsiewne uwzględniając przy tym czas rozpoczęcia uprawy płuznej, która ze względu na konieczność ułożenia gleby po orce, powinna być przeprowadzona co najmniej 2 do 3 tygodni przed planowanym terminem siewu. Uprawa płuzna w pierwszym jak i w drugim roku prowadzonych badań odbyła się w glebie suchej, dlatego też, zwracając uwagę na warunki atmosferyczne uwzględniono intensywną jej uprawę by stworzyć jak największą objętość porów mogących zmagazynować wodę. Doprowadzić do ograniczenia strat cennej wilgoci, uzyskać jej

gruzelkowatą strukturę i zapewnić dobre warunki do siewu, wschodów i prawidłowego rozwoju roślin kukurydzy w całym procesie wegetacji. Warstwa siewna gleby i jej głębsze części, to na starcie istotny element doświadczenia prowadzący do wysokich plonów i dobrej jakości ziarna. Dlatego też uprawa orkowa niosła za sobą szereg dodatkowych zabiegów agrotechniki dążących do uzyskania równomiernej warstwy siewnej na całej powierzchni pola, finalnie prowadząc do siewu na stałej wyrównanej głębokości tym samym dążąc do uzyskania wyrównanych wschodów. Właściwe przygotowanie gleby do siewu poprzez odpowiednią jej uprawę prowadziło do szybszego jej ogrzania, a w przyszłości zaopatrzenia w wodę i składniki pokarmowe w procesie zaplanowanego nawożenia. W związku z czym, na poletku uprawy płuźnej, celem wyrównania spulchnionej uprawą orkową gleby, na całej powierzchni pola przeprowadzono dodatkowo uprawę przedsiewną ciężkim agregatem wielozadaniowym Vaderstad TopDown 400 wyposażonym w talerze podcinające glebę o odpowiednim nachyleniu które rozdrabniały glebę, kultywator wykonujący jednocześnie głęboką uprawę, którego zęby rozmieszczone co 27 cm, intensywnie kruszyły i mieszały glebę na głębokości 10 cm, oraz wał uprawowy ugniatający i przyspieszający osiadanie gleby po orce. Agregat uprawowy, podczas jednoczesnej pracy talerzy, kultywatora i wału doprawił glebę, starannie ją docisnął przywracając jej odpowiednią porowatość, wyrównał oraz lekko zagęścił przygotowując tym samym pole uprawy płuźnej do siewu. W tym samym terminie jak w przypadku uprawy płuźnej na poletku uprawy uproszczonej rozrzucony został obornik zagospodarowany odpowiednio talerzówką marki Vaderstad TopDown 400 składający się z talerzy o średnicy 510 mm, którą wymieszano obornik z glebą na głębokości 10 cm. Głębokość tą uznano za odpowiednią, gdyż głębsza praca talerzy wiązałaby się z zagospodarowaniem obornika w głębszych warstwach gleby i ryzykiem utworzenia się tzw. warstwy blokującej podsiąkanie wilgoci skutkując ograniczeniem jej dostępu do korzeni roślin. Ustawiona odpowiednia głębokość pracy talerzy miała za zadanie ograniczyć parowanie wody, stwarzając przy tym warunki do lepszej żyzności gleby. Agregat wyposażony w talerze faliste, podcinające i rozrzucające glebę miały za zadanie ograniczyć rozwój chwastów na powierzchni pola uprawy uproszczonej i jednocześnie spulchnić glebę. Rola rozmieszczonych zębów kultywatora mieszczącego się za talerzami falistymi była bardzo istotna, gdyż praca zagłębionych w glebie zębów prowadziła do redukcji tzw. twardej podeszwy charakterystycznej w uprawie uproszczonej. Uprawa przedsiewna, z jednoczesnym wymieszaniem obornika z glebą na poletku uprawy uproszczonej, wykonana była za jednym przejazdem ciągnika rolniczego marki John Deere

6250 R o mocy 250 KM i agregatu uprawowego TopDown 400 jadącego z prędkością 10-12 km·h⁻¹. Technologia uprawy uproszczonej na etapie przedsięwzięcia wiązała się z ograniczeniem ilości przejazdów, nadmiernym ugniataniem gleby, zmniejszeniem poniesionych kosztów materiału pędnego oraz ograniczyła przesuszenie gleby prowadząc do szybkiego przygotowania pola do siewu w krótkim terminie agrotechnicznym, przy zużyciu paliwa na poziomie 12 dm³·ha⁻¹ i czasie pracy agregatu 40 minut na powierzchni hektara. W związku z tym, iż azot ma największe działanie plonotwórcze, na obu doprawionych odpowiednią uprawą poletkach, 2 tygodnie przed siewem kukurydzy zgodnie z zaleceniami, w godzinach wieczornych przeprowadzono nawożenie łatwo przyswajalnym dla roślin, wysoko skoncentrowanym nawozem azotowym z siarką tj. roztworem saletrzano-mocznikowym tzw. RSM w dawce jednorazowej w ilości 300 dm³·ha⁻¹ zawierającym 30% azotu. Skład RSM, nawozu w postaci płynnej to 50% mocznika i 50% azotanu amonu. Nawożenie przeprowadzono nowoczesnym opryskiwaczem marki Kverneland o poj. 2600 l. szer. belki 24 cm przy stałej prędkości roboczej 10-12 km·h⁻¹ i wysokości oprysku na poziomie 40 cm Czas oprysku 15 minut. Nowoczesny opryskiwacz sterowany komputerem pozwolił na precyzję rozprzodzenia ilości zaplanowanej cieczy na powierzchni obu poletek. Oprysk przeprowadzono w godzinach wieczornych przy temperaturze 15°C, zgodnie z zaleceniami, ponieważ nawożenie RSM nie może odbyć się w temperaturach przekraczających 25°C, dlatego też godziny wieczorne w drugiej dekadzie kwietnia pierwszego roku badań jak i drugiego roku były odpowiednio niskie by przeprowadzić bezpieczny oprysk wybierając przy tym dzień bezwietrzny. Skuteczne pobranie azotu przez rośliny kukurydzy uzależnione jest od obecności innych bardzo istotnych pierwiastków jakim jest potas, magnez, fosfor czy siarka, dlatego też na obu poletkach po wykonanym oprysku RSM, przed siewem kukurydzy tj. 22 kwietnia pierwszego roku badań i 7 maja w drugim roku wysiano rozsiewaczem nawozu marki Kverneland, bardzo popularny, nawóz potasowo-magnezowy stosowany w nawożeniu kukurydzy Korn Kali w ilości 200 kg·ha⁻¹ zawierający potas, magnez, siarkę oraz sól w dawce na hektar wynoszącej: 80 kg K₂O, 25 kg SO₃, 12 kg MgO, oraz 8 kg Na₂O. Korn Kali to granulaty nawozowy na bazie chlorku potasu z dodatkiem kizerytu niezbędny w procesie prawidłowego rozwoju roślin, stosowany wiosną przed siewem jest rozpuszczalny niezależnie od poziomu pH gleby. Zastosowanie tego nawozu jest elementem niezbędnym w procesie uprawy kukurydzy ze względu na obecność potasu, który reguluje gospodarkę wodną roślin, tym samym ułatwia przyswajalność pobranych składników pokarmowych mających wpływ na plonowanie.

Siew kukurydzy przeprowadzony był zgodnie z zaleceniami wybranej odmiany w optymalnym terminie i odpowiedniej temperaturze gleby. Przebieg pogody w kwietniu w pierwszym roku prowadzonego doświadczenia umożliwił terminowy siew, który nastąpił 26 kwietnia. W drugim roku, kukurydzę wysiano dwa tygodnie później tj. 12 maja. Późniejszy siew spowodowany był znacznie niższą temperaturą w stosunku do roku pierwszego, a chłód i deszcze w drugim roku prowadzonego doświadczenia uniemożliwiły siew w terminie wcześniejszym. W związku z faktem, iż kukurydza jest rośliną ciepłolubną i nie toleruje chłódów, termin siewu miał duże znaczenie żeby odbył się w ogrzanej glebę o temperaturze powyżej 10°C. Dlatego też przed siewem na obu poletkach badawczych prowadzono dzienne pomiary temperatury gleby, termometrem glebowym oraz stały monitoring warunków atmosferycznych.

Wybór odmiany kukurydzy w prowadzonym doświadczeniu nie był łatwy ze względu na bardzo szeroką ofertę odmian dostępnych na rynku. Grupa wczesności FAO, jak również odmiany typu flint tolerancyjnej na niskie temperatury, czy dent wymagających cieplejszych temperatur wymagały podjęcia decyzji wyboru odpowiedniej odmiany dostosowanej do lokalizacji prowadzonego doświadczenia i warunków glebowych. Uwzględniając tym samym zmiany klimatu i trwającą od 2017 roku suszę, istotny był wybór kukurydzy zaprawianej, odpornej na patogeny, szkodniki i porażenie przez grzyby *Fusarium*, a także związany przy okresowych niedoborach wody stres towarzyszący w procesie rozwoju roślin. Wykorzystując możliwości i potencjał plonotwórczy kukurydzy odmiana musiała charakteryzować się wysoką wydajnością, rozwojem silnego systemu korzeniowego, odporną na suszę i patogeny.

I rok doświadczenia 26.04.2020



II rok doświadczenia 12.05.2021



Rys. 3.3. Temperatura gleby podczas siewu. Źródło: własna dokumentacja fotograficzna prowadzonego doświadczenia.

W ogrzaną glebę, mającą na obu poletkach w pierwszym jak i drugim roku doświadczenia 15°C, wysiano kukurydzę typu dent wymagającą cieplejszych temperatur, odmianę Pioneer P8307, FAO 230 AQUA MAX zaprawianą zaprawą KORIT 420 FS, ziarnową, średnio późną o wyższym potencjale plonowania i dłuższym okresie wegetacji. Polecaną w uprawach na glebach dobrych i średnich, tolerującą niedobory wody, odporną na suszę, kształtującą silny system korzeniowy o bardzo dobrym wzroście początkowym. Odmiana ta kształtuje kolby typu flex o elastyczności zaziarnienia polecanej szczególnie w rozwoju w warunkach stresowych, ocieplenia i suszy. Przeprowadzony przed siewem przegląd ziarniaków wykazał równomierne ich pokrycie zaprawą, co dało gwarancję ich ochrony, zwiększoną zdolność kiełkowania, jak również działanie odstraszające zapachem przed ptactwem. Na poletku uprawy płużnej jak i uproszczonej siew kukurydzy przeprowadzono nowoczesnymi wielofunkcyjnymi maszynami uprawowo - siewnym przy wsparciu technologii rolnictwa precyzyjnego tj. uprawy, siewu i nawożenia stosowanego za jednym przejazdem.

W pierwszym roku prowadzonego doświadczenia w dniu 26.04.2020 r. siew, z jednoczesnym nawożeniem, przeprowadzono zawieszonym siewnikiem marki Vaderstad Tempo V8 o szerokości roboczej 6 m, składającego się z 8 zamontowanych sekcji siewnych rozstawionych co 75 cm. Rozsiewacz nawozu typu Vaderstad FH 2200 o ładowności 2 ton zamontowano na przednim TUZ ciągnika rolniczego marki Case Puma 240 CVX. Przy szerokości poletek 24 m i ustawionej rozstawie siewu 0,75 m przejazd maszynami na każdym poletku uprawy był 4-krotny z średnią prędkością 11 km·h⁻¹. Czas pracy siewu i jednoczesnego nawożenia na każdym poletku wyniósł 40 minut, a duża szerokość robocza maszyn i zmniejszona ilość przejazdów ograniczyła ryzyko zagęszczenia gleby. Bardzo istotną rolę w procesie siewu i jednoczesnego nawożenia pełnił zamontowany w ciągniku tablet z systemem GPS, który na bieżąco kontrolował ilość wysianego ziarna, głębokość siewu oraz rejestrował odstęp pomiędzy ziarnami. Precyzja siewu i jednoczesnej kontroli ograniczyła straty materiału siewnego spowodowane przejazdem na nierównościach występujących na powierzchni pola. Obsada nasion stanowiła 80 tysięcy hektar. Siew wykonano przy ustawionej redlicy na głębokości 5-6 cm i odległości wysianych nasion pomiędzy 14-17 cm. Ustawioną głębokość siewu, uwzględniając warunki glebowe prowadzonego doświadczenia, na glebie lekkiej piasku gliniastym, uznano za optymalną, gdyż ustawienie głębsze wiązałoby się z ryzykiem opóźnionych wschodów, narażonych na wysoką konkurencję chwastów. Praca siewnika oraz udział bardzo istotnych w procesie siewu rolek dociskających glebę zapewnił

nasionom odpowiednie ich przykrycie, tym samym ochronę przed wysychaniem, ptactwem i innymi szkodnikami. Dobrze doprawiona i zagęszczona uprawą przedsiewną gleba zapewniła dobre warunki sprawnego siewu.

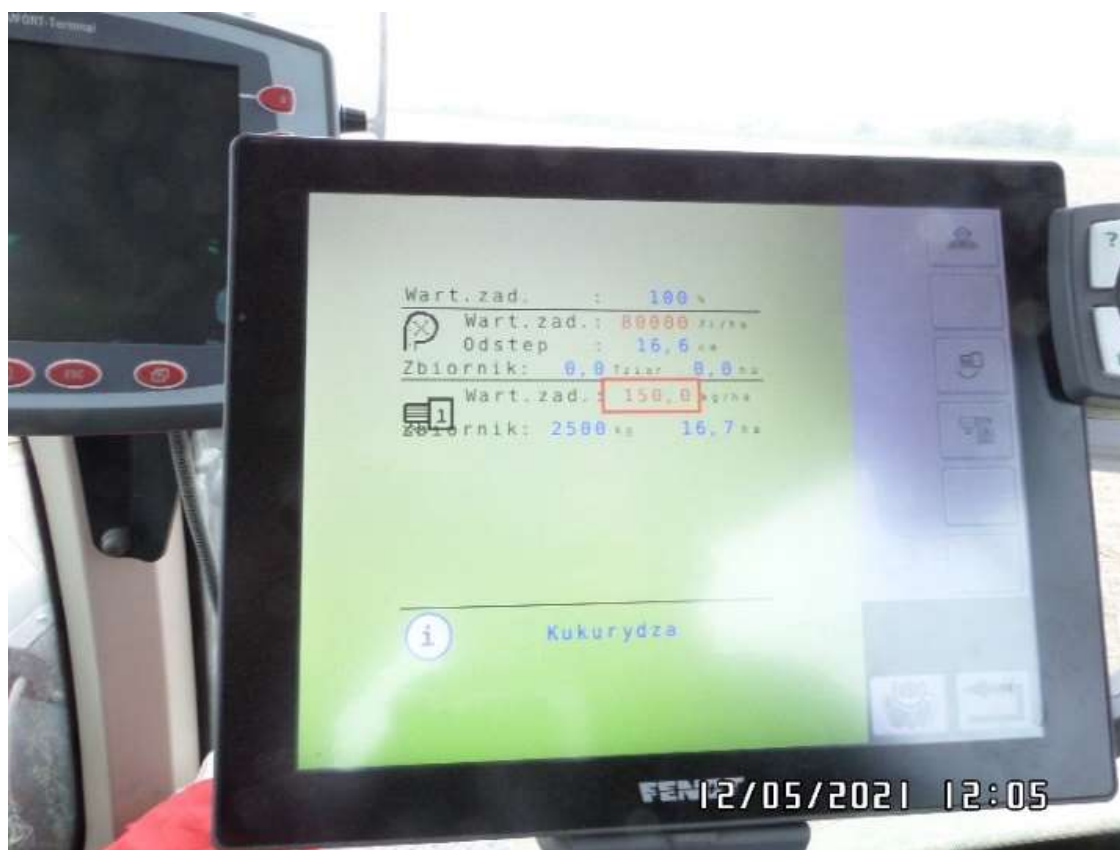
Nawożenie startowe, umiejscowione bezpośrednio pod korzeń, zastosowano w postaci wieloskładnikowego granulatu POLIDAP w ilości $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ zawierającego 14% N w formie amonowej, 20% P_2O_5 oraz 12% SO_3 , które ma bezpośredni wpływ na rozwój korzeni i ich wzrost ze względu na obecność azotu. Nawóz zlokalizowano na głębokości 10 cm w okolicy masy korzeniowej, umożliwiając dostęp do wody składników pokarmowych, w szczególności słabo przemieszczającego się fosforu w glebie.

Warunki atmosferyczne w pierwszym roku siewu i nawożenia były bardzo dobre, słoneczne i bezwietrzne o temperaturze powietrza osiągającej 20°C . W drugim roku doświadczenia tj. 12.0.2021 r. siew i nawożenie przeprowadzono w warunkach chłodniejszych o temperaturze powietrza 17°C maszynami Horsch Maestro 8 CV o szerokości roboczej 6 m., wyposażony w 8 sekcji siewnych siewnik połączony bezpośrednio z rozsiewaczem nawozu dozował nasiona i nawóz z jednej redlicy o ustawionej rozstawie jak w pierwszym roku doświadczenia 0,75 m. Pracę siewnika ustawiono na równej głębokości siewu i normie wysianych ziaren w ilości 80 tysięcy na hektar, identycznie jak w pierwszym roku prowadzonego doświadczenia. Staranna praca obu maszyn umożliwiła jednoczesny siew i nawożenie, umiejscowione bezpośrednio pod korzeń nawozu POLIDAP w ilości $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ na głębokości 10 cm, a redlica dociskowa siewnika i gumowe amortyzatory dokładnie przeprowadziły siew przy wyczuciu nierówności na obu poletkach. Siew i nawożenie przeprowadzono z prędkością $11 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, na głębokości 5-6 cm i odległości wysianych nasion 14-17 cm. Według Jurgi (1995) jakość siewu redlic talerzowych przy prędkościach powyżej $12 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ulega znacznemu pogorszeniu.

Odmiana kukurydzy była taka sama jak w pierwszym roku prowadzonego doświadczenia a siew z jednoczesnym nawożeniem przeprowadzono z funkcją GPS e-control, zamontowanym na ciągniku rolniczym Fendt 828 Vario o mocy 243 KM. Czas pracy maszyn na obu poletkach wyniósł 40 minut, a nowoczesna technologia jednoczesnego siewu, nawożenia i uprawy polegającej na zagęszczeniu gleby poniżej głębokości siewu przygotowała warstwy gleby do dostępu wody do nasion. Technologia trzech zabiegów za jednym przejazdem po polu zminimalizowała nadmierne ugniatanie związane z ryzykiem zaskorupiania się gleby co jest bardzo istotne, szczególnie przed wschodami w procesie rozwoju siwek i kielkowania



Rys. 3.4. Uprawa, siew kukurydzy i nawożenie za jednym przejazdem Źródło: własna dokumentacja fotograficzna prowadzonego doświadczenia.



Rys. 3.5. Rzut GPS siewu i nawożenia rejestrowanego z ciągnika Fendt 828. Źródło: własna dokumentacja fotograficzna prowadzonego doświadczenia.



Rys. 3.6. Rzut GPS siewu i nawożenia rejestrowanego z ciągnika Fendt 828. Źródło: własna dokumentacja fotograficzna prowadzonego doświadczenia.

W procesie kiełkowania, prowadzącego do wyrównanych i szybkich wschodów kukurydzy, wpływ ma wiele czynników. Najważniejsze z nich to wilgotność gleby i jej temperatura oraz warunki pogodowe, temperatura powietrza i usłonecznienie wpływające na ogrzewanie się gleby.

Dwa tygodnie po siewie w pierwszym roku doświadczenia w dniu 11.05.2020 r. oraz w drugim roku w dniu 30.05.2021 r. na poletku uprawy płuźnej i uproszczonej pojawiły się pierwsze widoczne równe wschody roślin kukurydzy. Precyzja siewu i dokładność nowoczesnej technologii umiejscowiły nasiona w glebie na głębokości 6 cm. Na wymierzonej długości 1 m było 7 roślin kukurydzy w odległości 14-17 cm. Na każdym poletku uprawy o szerokości 24 m, były 32 rzędy roślin w rozstawie 0,75 m.

a) ilość roślin na 1 m długości



b) głębokość ziarna



c) rozstawa między rzędami



Rys. 3.7. Precyzja siewu przy zastosowaniu nowoczesnych technologicznie maszyn zastosowanych prowadzonym doświadczeniu. Źródło: własna dokumentacja fotograficzna prowadzonego doświadczenia.

Czas od siewu do wschodów, trwający 14 dni, szeroka rozstawa rzędów, rzadki siew stanowiący 14-17 cm odległości pomiędzy roślinami i powolny początkowy wzrost kukurydzy, to okres w którym najszybciej rozwijają się chwasty. Szczególnie bardzo zauważalna różnica zachwaszczenia widoczna jest na poletku uprawy uproszczonej w porównaniu do poletka uprawy płuknej.



Rys. 3.8. Stopień zachwaszczenia obu poletek w fazie 4 liścia kukurydzy. Źródło: Własna dokumentacja fotograficzna prowadzonego doświadczenia.

Poletko uprawy uproszczonej silnie konkurowało, już we wczesnym etapie rozwoju kukurydzy z *Echinochloa crus galli*, *Chenopodium album*, *Anthemis arvensis*, *Absinthium*, *Persicaria maculosa* i *Elymus*, zagłuszając rośliny kukurydzy na całej powierzchni pola, tym samym znacznie osłabiając rośliny, w fazie początkowego jej rozwoju. Dlatego też, koniecznym i pilnym zabiegiem był oprysk. W fazie rozwoju 4 liścia gdy większość chwastów już wyrosła na obu poletkach zastosowano herbicydy powschodowe nalistne, stosowane w zwalczaniu chwastów jedno i dwuliściennych. Zabieg nalistny przeprowadzono nowoczesnym opryskiwaczem Kverneland iXtrack T3 o pojemności 2600 l, szerokości roboczej. 24 m, sterowany komputerem z kabiny ciągnika wyposażonym w ISOBUS z funkcją mapowania pola, dozujący zaplanowaną ilość środków ochrony roślin na hektar w zależności od prędkości jazdy, sterowany sekcjami włączaniem i wyłączaniem poszczególnych sekcji roboczych kontrolując jednocześnie dawkowanie cieczy by uniknąć przedawkowania lub niedostatecznego dawkowania środków chemicznych. Warunki pogodowe w trakcie prowadzonego oprysku mają ogromne znaczenie wpływające na jego skuteczność. Dlatego też oprysk w pierwszym jak i w drugim roku prowadzonego doświadczenia przeprowadzono zgodnie z zaleceniami w godzinach wieczornych w dniu suchym i bezwietrznym, ze prędkością stałą $11 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ przy zachowaniu stałego ciśnienia i ustawieniu belki opryskowej na wysokości 50 cm. Czas pracy opryskiwacza wyniósł $15 \text{ min} \cdot \text{ha}^{-1}$. Podczas wykonywania oprysku wilgotność powietrza w pierwszym roku doświadczenia osiągała 60% przy temperaturze powietrza 20°C . W drugim roku prowadzonego doświadczenia zabieg wykonano przy wilgotności

powietrza 70% i temperaturze 18°C. Zastosowano środki chemiczne typu Mocarz 0,2 kg·ha⁻¹ zawierający 500 g·kg⁻¹ Dikamba oraz 250 g·kg⁻¹ Trutosulfuron. Zastosowano też Nikoslfuron 40 g·dm⁻³ substancji czynnej oraz Ikanos herbicyd w ilości 1 dm³·ha⁻¹.

Oprócz wyżej wymienionych herbicydów zastosowano również odżywanie dolistne roślin kukurydzy w formie oprysku mikroskładnikami borem, cynkiem i manganem w ilości Procarn cynk 2 dm³·ha⁻¹, Adob Bor 1 dm³·ha⁻¹, Perifolis 1dm³·10 dm³ wody oraz Proleat 2 dm³·ha⁻¹. Zabieg ten przeprowadzono celem polepszenia kondycji roślin kukurydzy w fazie rozwoju 6 liścia.

W całym okresie wegetacji prowadzono stały monitoring plantacji oraz przebiegu warunków pogodowych. Szczególną uwagą objęto plantacje pod kątem zachowania się roślin kukurydzy i jej rozwoju po zastosowaniu herbicydów jak i dalszego rozwoju konkurencji w postaci chwastów. Obserwacje prowadzono w miejscach w których zachwaszczenie było bardzo nasilone, a chwasty znacznie utrudniły rozwój roślin i nalewanie ziarna.

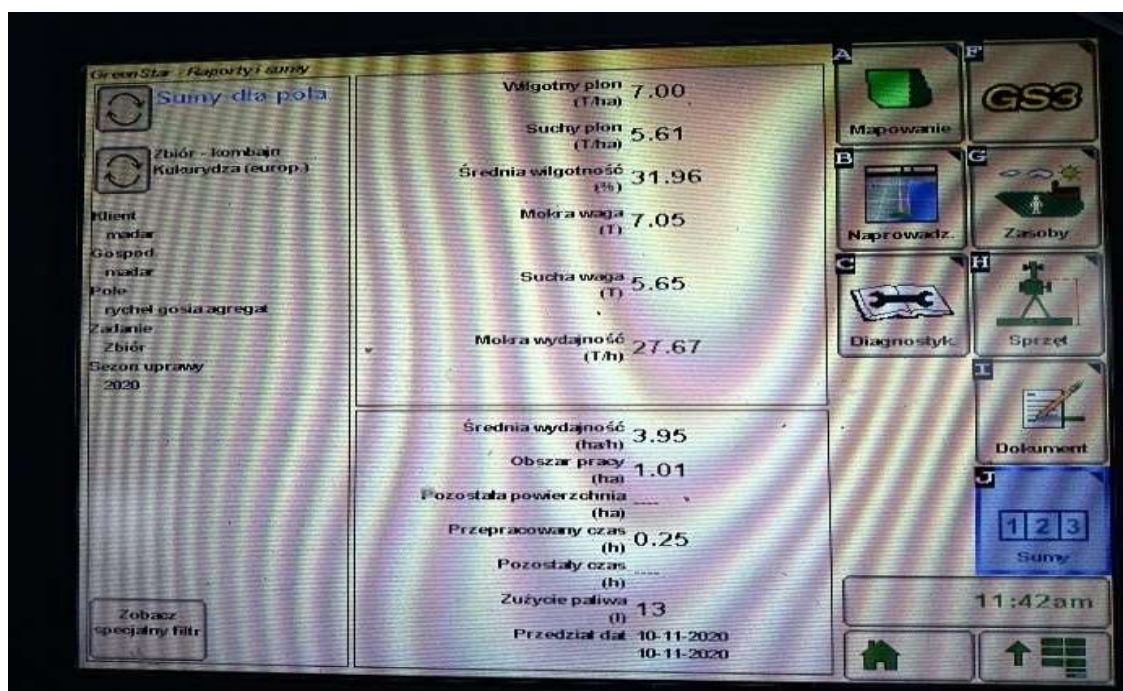
Oznaką dojrzałości kukurydzy i zbliżającego się zbioru były wyschnięte liście okrywowe kolb, a także pojawienie się na liściach czarnej plamki. W podjęciu decyzji o możliwie bezpiecznym terminie rozpoczęcia zbioru kukurydzy decydowała jednak wysokość procentowa wilgotności ziarna. Odmiany późniejsze, jak w przypadku Pioneer P 8307 FAO 230, potrzebują więcej czasu, dlatego też w każdym roku prowadzonego doświadczenia z końcem października i początkiem listopada prowadzono stałe pomiary wilgotności zebranego z obu poletek ziarna, które było pobrane w czasie stabilnych warunków pogodowych w okresie suchym bez opadów. Po osiągnięciu pełnej dojrzałości kukurydzy i odpowiedniej wilgotności w dniu 10.11.2020 r. w pierwszym roku prowadzonego doświadczenia jak i drugim roku w dniu 14.11.2021 r. przystąpiono do żniw kukurydzianych.

Zbiór przeprowadzono kombajnem John Deere T 660i z 8 rzędową przystawką do kukurydzy ustawioną na wysokości cięcia 20-30 cm. Bardzo dobry stan techniczny przystawki oraz ostre noże na rozdrabniaczu bijakowym przeprowadziły zbiór w czasie którego do młocarni trafiły wyłącznie kolby wraz z osadkami i liśćmi, a pozostała część zebranej masy została dobrze rozdrobniona. Kombajn wyposażony w system GPS z funkcją mapowania pola i pomiaru wilgotności ziarna oraz plonów, dokładnie i na bieżąco rejestrował dane, które były widoczne na tablecie GPS zamontowanym w kabinie nowoczesnego kombajnu. Zbiory przeprowadzono z jednoczesną starannością rozdrabniania resztek poźniwnych, co również było bardzo istotnym elementem w procesie

prawidłowego ich zagospodarowania i przygotowania pola pod kolejny siew. Kombajn jechał z prędkością $5-7 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, przy zużyciu paliwa $12 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$.

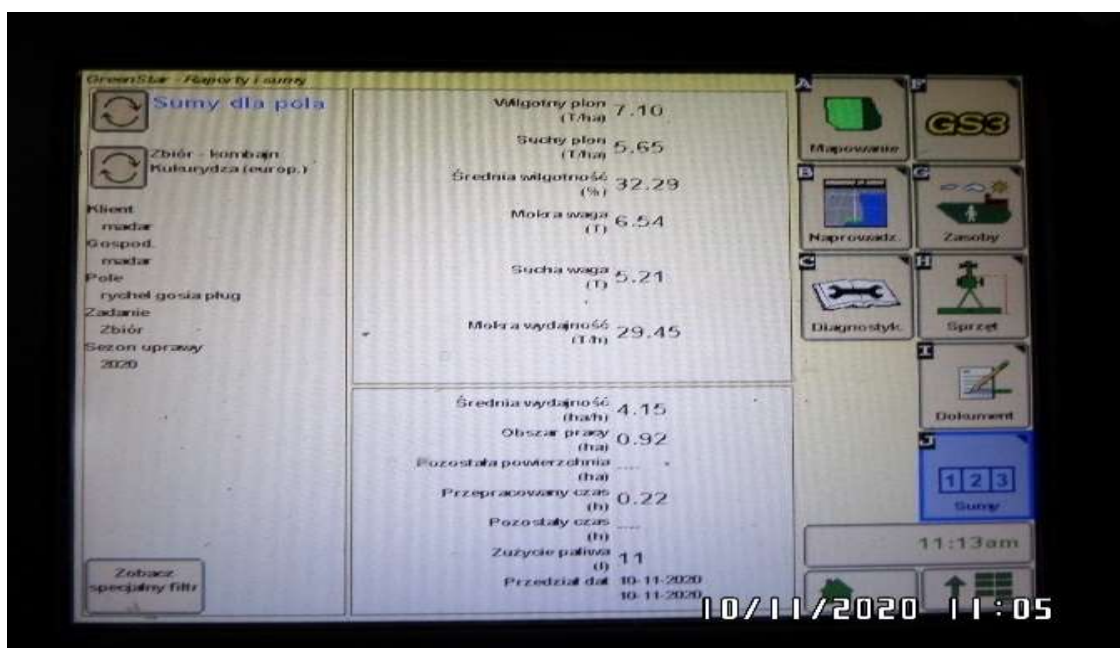
Zbiór kukurydzy odbył się na obu poletkach w tym samym dniu, a wysokość ładu w trakcie cięcia kształtowała się na poziomie 2-3 m. Warunki atmosferyczne w trakcie zbioru były dobre, bez opadów o temperaturze powietrza $8-9^\circ\text{C}$ i temperaturze gleby 10°C . Rejestrowana w trakcie zbioru wilgotność ziarna na zamontowanym w kabinie kombajnu GPS wynosiła 31,96-32,29% zaś plon w przeliczeniu na suche ziarno mieścił się w przedziale $5,61-5,65 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

I Poletko uprawy uproszczonej „U”



Rys. 3.9. Wyniki zbioru kukurydzy z roku 2020 wskazane na rejestrach GPS po zakończeniu zbioru na obu poletkach tj. uprawy uproszczonej. Źródło: własna dokumentacja fotograficzna prowadzonego doświadczenia.

II Poletko uprawy płużnej „P”



Rys. 3.10. Wyniki zbioru kukurydzy z roku 2020 wskazane na rejestrach GPS po zakończeniu zbioru na obu poletkach tj. uprawy płużnej. Źródło: własna dokumentacja fotograficzna prowadzonego doświadczenia.

W trakcie dwuletnich badań prowadzono w formie tabelarycznej regularny rejestr przebiegu warunków pogodowych, pod kątem ilości opadów, temperatury i usłonecznienia. Pomiary prowadzono bezpośrednio na polu doświadczalnym przy użyciu usytuowanego w miejscu doświadczeń deszczomierza oraz osobiście za pomocą naręcznego smartwacha typu Garmin, współpracującego w nowoczesną telefonią komórkową i funkcją GPS, wskazującego miejsce doświadczenia, temperaturę, usłonecznienie i zachmurzenie. Dodatkowo w celu weryfikacji wyników pogodowych skorzystano również z analiz prowadzonych przez stację meteorologiczną Uniwersytetu Szczecińskiego. W czasie prowadzonego doświadczenia prowadzono zestawienie kosztów i czas pracy maszyn mający wpływ na wynik ekonomiczny uprawy kukurydzy stosowanej w dwóch technologiach

3.2. Skład chemiczny gleby

Zawartość w glebie, i ocenę zasobności odnośnie przyswajalnego fosforu i potasu oraz magnezu wymiennego podano w tabeli 3.1. Skład granulometryczny prób glebowych pobranych w poszczególnych latach, zawartość azotu ogólnego i suchą masę podano w tabelach 3.2., 3.3. i 3.4. Analizy i ocena zasobności zostały wykonane w oparciu

o obowiązujące normy, (PN-R-04023:1996; PN-R-04022:1996+Az1:2002; PN-R-04020:1994/Az1:2004; PN-R-04032: 1998; PN-ISO 11261:2002, PN-ISO 11465:1999).

Tabela 3.1. Zawartość przyswajalnych form składników mineralnych w glebie, w latach 2020 i 2021.

Rok	Składniki przyswajalne	Uprawa uproszczona g·kg ⁻¹ gleby	Ocena zawartości	Uprawa płużna g·kg ⁻¹ gleby	Ocena zawartości
2020	Fosfor	65,0	średnia	67,6	bardzo wysoka
	Potas	121,8	średnia	118,7	średnia
	Magnez	23,4	średnia	21,6	średnia
2021	Fosfor	54,9	średnia	55,4	średnia
	Potas	138,6	wysoka	142,6	wysoka
	Magnez	22,8	średnia	25,2	średnia

Tabela 3.2. Skład granulometryczny gleby w latach 2020 i 2021

Rok	Wariant	2,0- 1,0 [mm]	1,0- 0,5 [mm]	0,5- 0,25 [mm]	0,25- 0,10 [mm]	0,10- 0,005 [mm]	0,05- 0,002 [mm]	<0,00 2 [mm]	2,0- 0,05 [mm]	0,005- 0,002 [mm]	<0,002 [mm]
		Fracje i podfrakcje granulometryczne w %									
2020	„U”	0,8	11,3	27,4	29,7	11,7	17,6	1,6	80,9	17,6	1,6
	„P”	2,8	16,0	28	23,3	10,1	18,2	1,6	80,2	18,2	1,6
	„U”	0,0	10,7	30,0	30,2	8,9	18,3	2,0	79,7	18,3	2,0
2021	„P”	0,2	9,6	29,6	31,6	8,8	18,4	2,0	7,6	18,5	2,1

Tabela 3.3. Zawartość azotu ogólnego w glebie w latach 2020 i 2021

Rok	Zawartość	Uprawa uproszczona	Uprawa płużna
2020	N-ogólny	0,10	0,07
2021	%	0,07	0,08

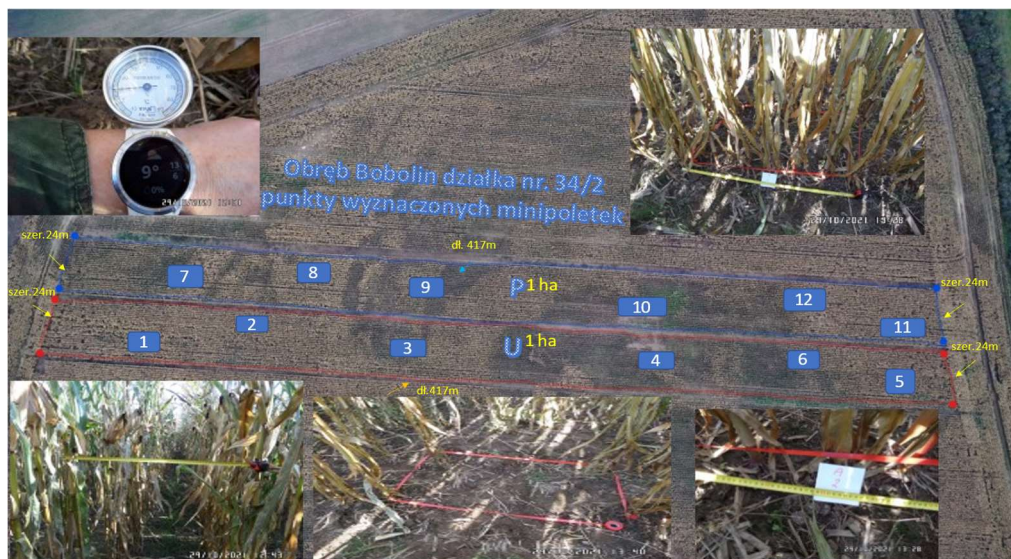
Tabela 3.4. Zawartość suchej masy w glebie

Rok	Parametr	Uprawa uproszczona	Uprawa płużna
2020	Sucha masa	91,3	92,5
2021	%	94,1	95,1

3.3. Analiza plonu, komponentów plonu, cech biometrycznych

W drugim etapie prowadzonego doświadczenia materiał badawczy w postaci całych roślin kukurydzy zebrany ręcznie z pola uprawy płużnej i uproszczonej przewieziono do laboratorium Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego Wydziału Kształtowania Środowiska i Rolnictwa celem przeprowadzenia szczegółowych

pomiarów pobranych roślin kukurydzy. Materiał został pobrany z 12 wytyczonych minipołek badawczych mających powierzchnię 2m^2 każde, w którym było 14 roślin kukurydzy tj. po 7 w rzędzie. Snopki starannie powiązano i oznakowano odpowiednimi numerami minipołek, z których były pobrane.



Rys.3.11. Miejsca usytuowanych i oznaczonych odpowiednim numerem minipołek, z których pobrano, odpowiednio oznakowany, materiał badawczy w postaci całych roślin. Źródło: Opracowanie własne na podstawie zebranej dokumentacji fotograficznej.

Pomiary zebranego materiału badawczego przeprowadzono dokładnie, wg. kolejności określonego schematu badań, ze szczególną uwagą zwróconą na numerację, oznaczoną na łodygach roślin pobranych z wyznaczonego minipołka.



Rys. 3.12. Materiał badawczy pobrany z wyznaczonych minipołek przewieziony do laboratorium ZUT celem przeprowadzenia szczegółowych badań i pomiarów. Źródło: Opracowanie własne na podstawie zebranej dokumentacji fotograficznej.

Pierwszym elementem wytyczonego schematu, prowadzonych badań był pomiar wilgotności ziarna, który przeprowadzono za pomocą bardzo dokładnego i szybkiego, automatycznego testera wilgotności ziarna marki Schaller wyposażonego w 7-calowy wyświetlacz wyniku pomiaru. Pomiar wykonano stosując metodę wagową. Otrzymane wyniki dokładnie zarejestrowano wskazując odpowiednią numerację materiału badawczego. W celu oceny suchej masy kukurydzy, całe rośliny dokładnie posiekano, wymieszano i odważono po 100 g za pomocą wagi elektronicznej. Do określenia suchej masy wykorzystano piec, w którym suszono przygotowaną sieczkę kukurydzy w temperaturze 105°C przez 24 h. Sieczkę suszono w dwóch cyklach trwających po 12 h. Po każdym cyklu oznakowane próby ważono, a wyniki na bieżąco rejestrowano. Cykl suszenia trwał do czasu aż końcowy wynik był niezmienny. Razem przygotowano 10 prób przygotowanej sieczki całych roślin kukurydzy, 10 prób samego ziarna oraz 10 prób posiekanych całych kolb kukurydzy łącznie z liśćmi okrywowymi w podziale po 5 z każdego poletka uprawy płużnej oznakowanej jako „Pług” i uprawy uproszczonej, oznakowanej jako „Agregat”. Otrzymane wyniki na bieżąco rejestrowano po każdym cyklu suszenia.



Rys. 3.13. Suszenie masy przygotowanej sieczki kukurydzy w laboratorium WKSiR. Źródło: Opracowanie własne na podstawie zebranej dokumentacji fotograficznej.



Rys. 4.13. Sucha masa zabezpieczonych w woreczkach wysuszonych prób roślin pobranych z punktów obu poletek wg. pokazanego na zdjęciu schematu. Źródło: Opracowanie własne na podstawie zebranej dokumentacji fotograficznej.

W kolejnym etapie było przeprowadzenie pomiarów, zebranego materiału badawczego, pod kątem cech biometrycznych. Pomiary wykonano na podstawie wybranych losowo 3 roślin kukurydzy, z każdego powiązanego i zaznaczonego numerem snopka roślin kukurydzy pobranych z minipoletek tj. razem po 18 roślin, z hektara poletka uprawy płuznej i hektara poletka uprawy uproszczonej, łącznie 36 roślin. Za pomocą taśmy mierniczej wykonano pomiary pod kątem długości łodyg, którą mierzono od miejsca ich ścięcia na wysokości 1 cm nad ziemią do końca wiechy. W dalszej kolejności mierzono grubość kolanek suwmiarką elektroniczną. Przeliczono ilość liści i zmierzono ich długość. Używając wagi elektronicznej, zważono, masę łodygi z wiechą oraz masę liści.

Zważono masę kolby i ręcznie przeliczono ilość ziaren w kolbie. Zważono masę ziaren i masę liści okrywowych



Rys. 3.14. Pomiary materiału badawczego roślin kukurydzy w laboratorium ZUT WKŚiR Źródło: Opracowanie własne na podstawie zebranej dokumentacji fotograficznej.

3.4. Metodyka analiz składu chemicznego ziaren

Ziarno kukurydzy pobrane z minipoletek, oznakowanych numerem 6 uprawy płużnej „P” i 6 minipoletek uprawy uproszczonej „U” oznakowanej jako „A” (agregat uprawowo siewny) zbadano pod kątem całkowitej zawartości makroskładników fosforu, potasu, magnezu i azotu. Ogólną zawartość pierwiastków w ziarnie kukurydzy, oznaczono po mineralizacji w mieszaninie kwasów azotowego(V) i chlorowego(VII) w proporcji 1:1. Zawartość potasu i magnezu, oznaczono za pomocą spektrometru absorpcji atomowej (Thermo Fisher Scientific ICE 3000 Series). Fosfor oznaczono kalorymetrycznie przy użyciu molibdenianu amonu, przy długości fali 470 nm (PN-ISO 6491:2000). Azot oznaczono w roztworze po mineralizacji ziarna w kwasie siarkowym (VI) z H_2O_2 - metodą Kjeldahla (PN-EN-ISO-5983-1: 2005).



Rys. 3.15. Przygotowane do badań i oznakowane numerem próby, ziarno kukurydzy. Źródło: Opracowanie własne na podstawie zebranego materiału fotograficznego.

3.5. Wilgotność ziarna

Wilgotność zebranego ziarna kukurydzy w roku 2020 była niższa o 4,75% w porównaniu do wyników z roku 2021. W roku 2020 na poletkach uprawy uproszczonej stwierdzono o 0,76% większą wilgotność ziarna kukurydzy w stosunku do ziarna pobranego z poletek uprawy płuźnej. Natomiast w roku 2021 na poletkach uprawy uproszczonej stwierdzono niższą wilgotność ziarna o 0,25% w stosunku do ziarna pobranego z poletek uprawy płuźnej, (tabela 3.5.).

Tabela 3.5. Wilgotność ziarna w czasie zbioru roślin kukurydzy w latach 2020 i 2021

Lata			
2020		2021	
Numer poletka uprawy	Wilgotność ziarna [%]	Numer poletka uprawy	Wilgotność ziarna [%]
U - 1, 2, 3	34,52	U - 1, 2, 3	35,04
U - 4, 5, 6	33,88	U - 4, 5, 6	36,26
P - 7, 8, 9	33,57	P - 7, 8, 9	35,29
P - 10, 11, 12	34,32	P - 10, 11, 12	36,20

P – uprawa płuźna, U – uprawa uproszczona

3.6. Warunki meteorologiczne w latach 2020 i 2021

W okresie prowadzonego, dwuletniego doświadczenia rejestrowano na bieżąco przebieg warunków pogodowych takich jak: temperatura, ilość opadów oraz usłonecznienie. Dane odnotowywano na bieżąco, w formie tabelarycznej przez pełny rok począwszy od 01.01.2020 r. do 31.12.2020 r. oraz 01.01.2021 r. do 31.12.2021 r. Tabele

(3.5. i 3,6.) przedstawiają średnie miesięczne temperatury dobowe oraz średnie miesięczne sumy dobowe opadów i usłonecznienia, Wyniki warunków pogodowych, na podstawie których sporządzono poniższe tabele sporządzone zostały na podstawie zebranych danych własnych jak również danych rejestrowanych przez stację meteorologiczną Uniwersytetu Szczecińskiego.



Rys. 3.16. Pomiary warunków pogodowych w czasie prowadzonych badań. Źródło: Opracowanie własne na podstawie zebranego materiału fotograficznego.

Tabela 3.6. Przebieg temperatury w okresie dwuletniego doświadczenia.

Miesiąc	Lata					
	2020	2021	2020	2021	2020	2021
	Średnia temperatura dobową [°C]		Maksymalna temperatura dobową [°C]		Temperatura minimalna przy gruncie [°C]	
Styczeń	4,6	0,6	6,8	2,4	0,8	-2,3
Luty	5,8	0,4	8,6	4,1	2,0	-6,1
Marzec	5,1	4,5	9,5	9,4	-1,6	-1,4
Kwiecień	9,2	6,4	15,8	11,6	0,6	-0,3
Maj	11,8	12,2	16,8	17,3	5,2	5,6
Czerwiec	18,1	19,6	23,3	25,8	11,7	11,3
Lipiec	17,8	20,5	23	25,3	10,7	14,8
Sierpień	20,4	17	26,8	21,4	12,5	11,9
Wrzesień	14,8	15,5	20,9	19,8	7,8	10,2
Październik	11,1	10,6	14,1	14,9	6,7	4,7
Listopad	7,1	6,5	9,5	8,4	2,7	3,1
Grudzień	3,0	1,2	5,3	3,1	-0,4	-2,2

Źródło: opracowanie własne na podstawie prowadzonego rejestru pogody i danych Stacji meteorologicznej Uniwersytetu Szczecińskiego.

Przeprowadzona analiza przebiegu temperatury w okresie prowadzonych badań wykazała, iż maksymalna średnia temperatura dobową, średnia temperatura dobową oraz średnia minimalna temperatura przy gruncie w roku 2020 były wyższe od temperatur

w porównaniu do roku 2021. Rok 2020 charakteryzował się wyższymi temperaturami, większą ilością godzin usłonecznienia i był bardziej suchy w porównaniu do roku 2021.

Kwiecień roku 2020 r. był cieplejszy niż w roku 2021. Maj, czerwiec i lipiec był cieplejszy w roku 2021, natomiast w sierpniu temperatura w roku 2021 spadła i była niższa od temperatury w roku 2020, natomiast już we wrześniu była wyższa w porównaniu z rokiem 2020. Kolejne miesiące tj. październik i listopad były cieplejsze w roku 2020 niż w roku 2021.

Ilość opadu od stycznia do grudnia 2021 r. stanowiła 40% różnicę opadu w stosunku do roku 2020. Ilość opadu w okresie wegetacji roślin kukurydzy tj. od maja do listopada w roku 2021, była wyższa o 52% w stosunku do ilości opadów w roku 2020. Według klasyfikacji Lorenc (Lorenc 1994), w roku 2020 kwiecień i maj były to miesiące suche natomiast czerwiec i lipiec bardzo suche. Dopiero wrzesień 2020 był miesiącem wilgotnym z powodu ilości opadu. Dużą ilością opadu charakteryzował się czerwiec 2021 w którym to spadła największa ilość deszczu w porównaniu do miesięcy roku 2020 i 2021.

Ilości godzin usłonecznienia w okresie wegetacji roślin kukurydzy w roku 2020 było o 30% więcej w porównaniu do ilości godzin usłonecznienia w roku 2021. Czerwiec i lipiec roku 2021 charakteryzował się większą ilością godzin usłonecznienia w porównaniu z rokiem 2020. Z kolei sierpień i wrzesień 2020 był bardziej słoneczny pod względem ilości godzin usłonecznienia w porównaniu do roku 2021, (tabele 3.5. i 3.6).

Tabela 3.7. Suma dobową opadu i przebieg usłonecznienia w okresie dwuletniego doświadczenia.

Miesiąc	Rok		Rok	
	2020	2021	2020	2021
	Suma dobową opadu [mm]		Usłonecznienie [h]	
Styczeń	1,1	1,8	1,8	1,2
Luty	1,6	1,3	2,2	4,0
Marzec	1,0	1,2	6,3	5,1
Kwiecień	0,8	1,4	9,6	6,1
Maj	1,0	1,6	8,7	7,2
Czerwiec	0,8	3,3	8,6	9,9
Lipiec	0,7	1,6	7,2	8,2
Sierpień	1,4	1,8	9,0	6,3
Wrzesień	2,3	0,7	7,3	5,3
Październik	1,4	0,8	2,9	4,6
Listopad	0,3	2,2	1,8	0,7
Grudzień	1,0	1,1	1,1	0,9
Suma	13,4	18,8	66,54	59,46

Źródło: Opracowanie własne na podstawie własnych rejestrów warunków pogodowych oraz rejestrów stacji meteorologicznej Uniwersytetu Szczecińskiego

3.7. Analiza statystyczna

W analizie wyników zastosowano dwuczynnikową analizę wariancji. Do porównania średnich zastosowano wielokrotny test HSD Tukeya. Grupy jednorodne dla efektu lat, systemów uprawy interakcji lata x systemy uprawy oznaczono w tabelach średnich wyników symbolami literowymi. Jeśli różnica pomiędzy średnimi był nieistotna oznaczone zostały takim samym symbolem. W celu oceny ścisłości doświadczenia dla poszczególnych cech wyliczono współczynniki zmienności V%, (Hill i Lewicki 2006).

Do oceny zależności pomiędzy plonem nasion (Y), a komponentami plonu lub cechami biometrycznymi (x) zastosowano współczynnik korelacji prostej Pearsona. Istotność zależności określono na podstawie wartości krytycznych r przy poziomie istotności 0,05 i 0,01. Dodatkowo wyliczono współczynnik determinacji r^2 w celu bliższego określenia siły związku pomiędzy dwoma zmiennymi. W przypadku stwierdzenia przynajmniej istotnej zależności zbudowano równania prostych w postaci $Y=a + bx$, gdzie Y oznacza wartość oszacowaną na podstawie równania regresji, a – wyraz wolny zaś b współczynnik kierunkowy prostej regresji, (Stanisz 2007). Obliczenia wykonano w programie Statistica wersja 13.3. Plon i komponenty plonu przedstawione zostały w postaci wykresów logarytmicznych. Plon= liczba roślin m^2 x liczba kolb z rośliny x liczba ziaren z kolby x masa 1000 ziaren, po zlogarytmowaniu $\text{Log plon} = \log \text{liczba roślin na } m^2 + \log \text{liczba kolb z rośliny} + \log \text{liczba ziaren z kolby} + \log \text{masa 1000 ziaren}$. Po zestandaryzowaniu wielkości logarytmów otrzymujemy równanie w postaci: $\log \text{plon} - 4,40 = (\log \text{liczba roślin na } m^2 - 0,500) + (\log \text{liczba kolb z rośliny} + 0,300) + (\log \text{liczba ziaren z kolby} - 2,30) + (\log \text{masa 1000 ziaren} - 1,900)$. Wykresy sporządzono w trzech wariantach dla: efektu głównego lat, efektu głównego systemów uprawy oraz interakcji lata x systemy uprawy.

3.8. Analiza ekonomiczna

Analizę ekonomiczną przeprowadzono na podstawie kalkulacji poniesionych kosztów uprawy z uwzględnieniem kalkulacji produkcji roślinnej wskazanej w opracowaniach Pomorskiego Oddziału Doradztwa Rolniczego jak i Zachodniopomorskiego Ośrodka Doradztwa Rolniczego, (<https://podr.pl>).

Analiza obejmuje podsumowanie kosztów produkcji nawożenia, materiału siewnego, materiału pędowego, kosztów środków ochrony roślin, zastosowanej agrotechniki uwzględniającej ilość maszyn i czas pracy, uzyskany plon i zysk produkcji podsumowujący wynik końcowy opłacalności uprawy kukurydzy uzyskiwany z jednego hektara.

4. Wyniki badań

4.1. Plon, komponenty plonu i cechy biometryczne

Analiza wariancji wykazała, statystycznie udowodniony, wpływ badanych czynników na plon ziarna, (tab. 4.1.). Przebieg pogody w latach spowodował bardzo wysoce istotne zróżnicowanie plonu. Z kolei plon roślin uprawianych, z zastosowaniem badanych systemów uprawy, różnił się jedynie istotnie. Stwierdzono również niejednakowy wpływ systemów uprawy na plonowanie kukurydzy w zależności od przebiegu pogody w latach. Współczynnik zmienności wynosił 5,7% co wskazuje na prawidłowe przeprowadzenie badań i niewielką zmienność wyników o charakterze przypadkowym. Wyższy plon ziarna uzyskano, po zastosowaniu płuznego systemu, niż systemu uproszczonego, (tab. 4.2.). Przebieg warunków meteorologicznych był korzystniejszy w roku 2021 niż w roku 2020. Różnica w średnim plonie wynosiła 0,75 dt·ha⁻¹ co stanowi 13%. Stwierdzono również niejednakową reakcję na stosowanie systemów uprawy w zależności od lat prowadzonych badań. W roku 2020 różnica była nieistotna, a wyniki były prawie takie same, różnica nie przekraczała 1%. Natomiast w drugim roku różnica w plonie na korzyść systemu płuznego wynosiła 0,67 dt ha⁻¹, co stanowiło około 11%. Kształtowanie się wybranych komponentów plonu w zależności od lat, systemów uprawy oraz lat i systemów uprawy przedstawiono w postaci wykresów logarytmicznych na rysunkach 4.1., 4.2. i 4.3.

Liczba roślin na 1 m² jak i liczba kolb z rośliny (tab. 4.1.) nie różniły się niezależnie od zastosowanego czynnika doświadczalnego. Liczba roślin wynosiła 7 sztuk na m², a liczba kolb z rośliny to 1 sztuka, zarówno w latach 2020 i 2021 oraz dla obydwu systemów uprawy. Zdecydowało to o uzyskaniu współczynnika zmienności wynoszącego 0,0%. Liczba roślin kukurydzy na 1 m² dla systemów uprawy płuznej i uproszczonej była taka sama, (tab. 4.3.). Przebieg warunków meteorologicznych w roku 2020 i 2021 nie miał wpływu na liczbę roślin na 1 m². Liczba kolb z rośliny dla systemów uprawy płuznej i uproszczonej była taka sama, (tab. 4.4.). Przebieg warunków meteorologicznych w roku 2020 i 2021 nie miał również wpływu na liczbę kolb z rośliny.

Stwierdzono że zróżnicowanie masy całej kolby było bardzo wysoce istotne w latach, (tab. 4.1.). Natomiast masa kolby z badanych systemów uprawy była zbliżona – nie było istotnych różnic. Współczynnik zmienności, który wyniósł około 10% wskazywał na dobrą ścisłość doświadczenia. Większą masę kolby kukurydzy, średnio dla systemów

uprawy uzyskano po zastosowaniu płużnego systemu uprawy niż systemu uproszczonego, (tab. 4.5.). Przebieg warunków meteorologicznych był korzystniejszy w roku 2021 w porównaniu do roku 2020. Różnica w średniej masie kolby wynosiła 26 g, co stanowi 24% w stosunku do średniej wartości. Zastosowanie systemów uprawy, w zależności od przebiegu pogody w latach prowadzonych badań, wykazało istotne różnice masy kolb. W roku 2020 różnica była nieistotna i wynosiła 2%, natomiast w drugim roku różnica masy kolby na korzyść systemu płużnego była 12 g, co stanowiło około 9%. Była to różnica wysoce istotna.

W poszczególnych latach, masa liści w kolbie wykazała się różnicą bardzo wysoce istotną, (tab. 4.1.). Natomiast różnica była nieistotna dla badanych systemów uprawy oraz współdziałania –czyli interakcji- pomiędzy czynnikami. Współczynnik zmienności był również niewielki wynosił 6,9%. Różnica masy liści w kolbie, w zależności od systemów uprawy płużnej i uproszczonej była nieistotna, a przebieg warunków meteorologicznych w roku 2020 i 2021 nie miał wpływu na masę liści w kolbie, (tab. 4.6.).

Przebieg pogody w latach spowodował bardzo istotne różnice w masie kolby z ziarnem, (tab. 4.1.). Natomiast masa kolby z ziarnem z badanych systemów uprawy różniła się istotnie. Stwierdzono również niejednakowy wpływ systemów uprawy na masę kolby w zależności od przebiegu pogody w latach. Współczynnik zmienności wynosił 6,80. Wyższą masę kolby z ziarnem średnio dla systemów uprawy uzyskano po zastosowaniu płużnego systemu niż systemu uproszczonego, (tab. 4.7.). Przebieg warunków meteorologicznych był korzystniejszy w roku 2021 niż w roku 2020. Różnica średniej masy kolby wynosiła 22 g co stanowi 22%. Stwierdzono również niejednakową reakcję na stosowanie systemów uprawy w zależności od lat prowadzonych badań. W roku 2020 wyniki były takie same. Natomiast w drugi, roku różnica masy kolby z ziarnem na korzyść systemu płużnego wyniosła 14 g co stanowiło około 12%.

Również przebieg pogody w latach spowodował bardzo wysoce istotne różnice w masie ziaren z kolby, (tab. 4.1.). Masa ziaren z kolby, w zależności od badanych systemów uprawy różniła się wysoce istotnie. Wyniki wskazały również na niejednakowy wpływ systemów uprawy na masę ziaren z kolby w zależności od przebiegu pogody w latach. Współczynnik zmienności wynosił 4,33. Wyższą masę ziarna z kolby, plon ziarna, średnio dla systemów uprawy uzyskano po zastosowaniu płużnego systemu, niż systemu uproszczonego, (tab. 4.8.). Przebieg warunków meteorologicznych był korzystniejszy w roku 2021 niż w roku 2020. Różnica w średniej masie kolby wyniosła 10 g co stanowi 12%. Wyniki wykazały również na niejednakową reakcję

na stosowanie systemów uprawy w zależności od lat prowadzonych badań. W roku 2020 różnica była nieistotna, stanowiąca 1%. Natomiast w drugim, roku różnica średniej masy ziarna z kolby na korzyść systemu płuznego wyniosła 9 g, co stanowiło około 10 %.

Analiza wariancji liczby ziaren z kolby, wykazała nieistotne różnice w latach, natomiast wysoce istotne dla badanych systemów uprawy, (tab. 4.1.). Wyniki wskazały na nieistotne różnice wpływu systemów uprawy na liczbę ziaren z kolby w zależności od przebiegu pogody w latach. Większą liczbę ziaren średnio dla systemów uprawy uzyskano po zastosowaniu płuznego systemu niż systemu uproszczonego, (tab. 4.9.). Przebieg warunków meteorologicznych był korzystniejszy w roku 2021, aniżeli w roku 2020. Różnica średniej liczby ziaren wyniosła 106 co stanowi 25%. Nie stwierdzono jednakowej reakcji na stosowanie systemów uprawy w zależności od lat prowadzonych badań. W roku 2020 różnica była, co prawda, większa na korzyść systemu płuznego niż w drugim roku doświadczenia, ale nie stwierdzono statystycznie udowodnionej interakcji badanych czynników.

Warunki meteorologiczne w latach spowodowały istotne różnice w masie tysiąca ziaren (MTZ), (tab.4.1.). Wpływ systemów uprawy na wielkość MTZ, w zależności od przebiegu pogody w latach był bardzo wysoce istotny, natomiast nieistotna była różnica w zależności od badanych systemów uprawy. Współczynnik zmienności wynosił 6,15. W roku 2020 wartość MTZ średnio dla systemów uprawy—uzyskano wyższą po zastosowaniu systemu uproszczonego, a nie płuznego, (tab. 4.10.). Przebieg warunków meteorologicznych był korzystniejszy w roku 2021 niż w roku 2020. Różnica w średnim plonie wynosiła 16 g, co stanowi 10%. Stwierdzono również niejednakową reakcję na stosowanie systemów uprawy w zależności od lat prowadzonych badań. W roku 2020 różnica MTZ była istotna, o 15% wyższą dla systemu uproszczonego niż systemu płuznego. Natomiast w drugim roku różnica układała się odwrotnie. Lepszy wynik uzyskano dla systemu uprawy płuznego.

Długość łodygi w latach, systemach uprawy jak i wpływu systemów uprawy na długość łodygi w zależności od przebiegu pogody w latach wykazały nieistotne różnice, (tab. 4.1.). Współczynnik zmienności wynosił 12,75. Wyższą długość łodygi średnio dla systemów uprawy uzyskano po zastosowaniu płuznego systemu niż systemu uproszczonego, (tab. 4.11.). Przebieg warunków meteorologicznych był korzystniejszy w roku 2021 niż w roku 2020. Różnica średniej długości roślin wynosiła 19 cm co stanowi około 8%. Stwierdzono również niejednakową reakcję, na stosowanie systemów uprawy w zależności od lat prowadzonych badań. W roku 2020 różnica była również istotna

stanowiąca 15 cm długości co stanowi 6%. Natomiast w drugim, roku różnica długości roślin również była na korzyść systemu płużnego, wynosiła 20 cm, czyli około 8%.

Masa łodygi, w latach, charakteryzowała się różnicami nieistotnymi, natomiast analiza wykazała istotne różnice w badanych systemach uprawy jak i istotną różnicę wpływu systemów uprawy na masę łodygi w zależności od przebiegu pogody w latach, (tab. 4.12.). Współczynnik zmienności wynosił 18,94. Wyższą masę łodygi, średnio, dla systemów uprawy uzyskano po zastosowaniu płużnego systemu w porównaniu do systemu uproszczonego, (tab.4.12). Przebieg warunków meteorologicznych był korzystniejszy w roku 2021 niż w roku 2020. Różnica średniej masy łodygi wynosiła 97 g, co stanowi 170%. Stwierdzono również znaczne różnice masy łodygi w zależności od lat prowadzonych badań. W roku 2020 różnica wyniosła 11g co stanowi 22%, a w roku 2021 również na korzyść systemu płużnego średnia masa łodygi wyniosła 48 g, co stanowi 37%.

Długość liści w latach, systemach uprawy jak i wpływu systemów uprawy na długość liści w zależności od przebiegu pogody w latach wykazały nieistotne różnice, (tab.4.1.). Współczynnik zmienności wynosił 4,81. Wyższą długość liści kukurydzy średnio dla systemów uprawy uzyskano po zastosowaniu płużnego systemu w porównaniu do systemu uproszczonego, (tab. 4.13.). Przebieg warunków meteorologicznych był korzystniejszy w roku 2021 niż w roku 2020. Różnica średniej długości liści wynosiła 7 cm co stanowi 10%. Stwierdzono również niejednakową reakcję na stosowanie systemów uprawy w zależności od lat prowadzonych badań. W roku 2020 wyniki były takie same. W drugim roku różnica długości liści na korzyść systemu płużnego wynosiła 3 cm co stanowiło około 4%.

Masa liści stanowiła wysoce istotne różnice w latach jak i systemach uprawy, natomiast analiza wykazała nieistotne różnice wpływu systemów uprawy na masę liści w zależności od przebiegu pogody w latach, (tab.4.1.). Współczynnik zmienności wynosił 6,25. Różnice masy liści kukurydzy średnio, dla systemów uprawy były nieistotne. Przebieg warunków meteorologicznych był korzystniejszy w roku 2021 niż w roku 2020. Różnica w średniej masy liści wynosiła 4 g, co stanowi 8%. Stwierdzono również niejednakową reakcję na stosowanie systemów uprawy w zależności od lat prowadzonych badań. W roku 2020 różnica średniej masy liści stanowiła 2 g co stanowi 4%. Natomiast w drugim roku różnica w plonie na korzyść systemu płużnego wynosiła 6 g co stanowiło około 12%, (tab.4.14.).

Liczba liści w roślinie kukurydzy w latach, systemach uprawy jak i wpływu systemów uprawy na ilość liści w zależności od przebiegu pogody w latach wykazały

różnice nieistotne (tab. 4.1.). Współczynnik zmienności wynosił 4,00. Ilość liści w roślinach kukurydzy dla systemów uprawy płużnej i uproszczonej była taka sama, (tab. 4.15). Przebieg warunków meteorologicznych w roku 2020 i 2021 nie miał wpływu na liczbę liści.

Tabela 4.1. Istotność efektów w analizie wariancji dla plonu ziaren i komponentów plonu

Cecha	Rodzaj zmienności (efekt)			Współczynnik zmienności V%
	Lata (L)	Systemy uprawy (S)	Interakcja L*S	
Plon ziarna [dt·ha ⁻¹]	***	*	**	5,72
Liczba roślin na 1 m ²	r.n.	r.n.	r.n.	0,00
Liczba kolb z rośliny	r.n.	r.n.	r.n.	0,00
Masa całej kolby [g]	***	r.n.	**	10,15
Masa liści w kolbie [g]	***	r.n.	r.n.	6,93
Masa kolby z ziarnem [g]	***	*	*	6,80
Masa ziarna z kolby [g]	***	**	*	4,33
Liczba ziaren z kolby	r.n.	**	r.n.	3,20
MTZ [g]	**	r.n.	***	6,15
Długość łodygi [cm]	r.n.	r.n.	r.n.	12,75
Masa łodygi [g]	r.n.	**	*	18,94
Długość liści [cm]	r.n.	r.n.	r.n.	4,81
Masa liści [g]	**	**	r.n.	6,25
Liczba liści [szt]	r.n.	r.n.	r.n.	4,00

^{1/} różnica: istotna -p<0,05 *, wysoce istotna – p<0,01**, bardzo wysoce istotna p<0,001 ***

Tabela 4.2. Wpływ systemów uprawy i lat na plon (t·ha⁻¹) ziaren kukurydzy

Lata (L)	Systemy uprawy (S)		Średnia
	Płużny	Uproszczony	
2020	5,65 ^{1/} A	5,61A	5,63 a
2021	6,71 A	6,04 B	6,38 b
Średnia	6,18 a	5,82 b	6,00

Średnie oznaczone takimi samymi literami nie różnią się istotnie

^{1/} Porównań średnich dla kombinacji dokonano dla kierunku S(L)

Tabela 4.3. Wpływ systemów uprawy i lat na liczbę roślin kukurydzy na 1 m²

Lata (L)	Systemy uprawy (S)		Średnia
	Płużny	Uproszczony	
2020	7 ^{1/} A	7 A	7 a
2021	7 A	7 A	7 a
Średnia	7 a	7 a	7

Średnie oznaczone takimi samymi literami nie różnią się istotnie

^{1/} Porównań średnich dla kombinacji dokonano dla kierunku S(L)

Tabela 4.4. Wpływ systemów uprawy i lat na liczbę kolb z rośliny

Lata (L)	Systemy uprawy (S)		Średnia
	Płużny	Uproszczony	
2020	1 ^{1/} A	1 A	1 a
2021	1 A	1 A	1 a
Średnia	1 a	1 a	1

Średnie oznaczone takimi samymi literami nie różnią się istotnie

^{1/} Porównań średnich dla kombinacji dokonano dla kierunku S(L)

Tabela 4.5. Wpływ systemów uprawy i lat na masę całej kolby [g]

Lata (L)	Systemy uprawy (S)		Średnia
	Płużny	Uproszczony	
2020	109 ^{1/} A	107 A	108 a
2021	140 A	128 B	134 b
Średnia	125 a	118 b	121

Średnie oznaczone takimi samymi literami nie różnią się istotnie

^{1/} Porównań średnich dla kombinacji dokonano dla kierunku S(L)

Tabela 4.6. Wpływ systemów uprawy i lat na masę liści w kolbie [g]

Lata (L)	Systemy uprawy (S)		Średnia
	Płużny	Uproszczony	
2020	9 ^{1/} A	7 A	8 a
2021	11 A	10 A	11 a
Średnia	10 a	9 a	10

Średnie oznaczone takimi samymi literami nie różnią się istotnie

^{1/} Porównań średnich dla kombinacji dokonano dla kierunku S(L)

Tabela 4.7. Wpływ systemów uprawy i lat na masę kolby z ziarnem [g].

Lata (L)	Systemy uprawy (S)		Średnia
	Płużny	Uproszczony	
2020	99 ^{1/} A	99 A	99 a
2021	128 A	114 B	121 b
Średnia	114 a	107 b	111

Średnie oznaczone takimi samymi literami nie różnią się istotnie

^{1/} Porównań średnich dla kombinacji dokonano dla kierunku S(L)

Tabela 4.8. Wpływ systemów uprawy i lat na masę ziarna z kolby w [g]

Lata (L)	Systemy uprawy (S)		Średnia
	Płużny	Uproszczony	
2020	81 ^{1/} A	80 A	81 a
2021	95 A	86 B	91 b
Średnia	88 a	83 b	86

Średnie oznaczone takimi samymi literami nie różnią się istotnie

^{1/} Porównań średnich dla kombinacji dokonano dla kierunku S(L)

Tabela 4.9. Wpływ systemów uprawy i lat na liczbę ziaren z kolby

Lata (L)	Systemy uprawy (S)		Średnia
	Płużny	Uproszczony	
2020	453 ^{1/} A	392 B	423 a
2021	519 A	538 B	529 b
Średnia	486 a	465 b	476

Średnie oznaczone takimi samymi literami nie różnią się istotnie

^{1/} Porównań średnich dla kombinacji dokonano dla kierunku S(L)

Tabela 4.10. Wpływ systemów uprawy i lat na MTZ [g]

Lata (L)	Systemy uprawy (S)		Średnia
	Płużny	uproszczony	
2020	178 ^{1/} B	205 A	192 a
2021	190 A	161 B	176 b
Średnia	184 a	183 a	184

Średnie oznaczone takimi samymi literami nie różnią się istotnie

^{1/} Porównań średnich dla kombinacji dokonano dla kierunku S(L)

Tabela 4.11. Wpływ systemów uprawy i lat na długość łodygi [cm]

Lata (L)	Systemy uprawy (S)		Średnia
	Płużny	Uproszczony	
2020	259 ^{1/} A	244 B	252 a
2021	281 A	261 B	271 a
Średnia	270 a	253 b	262

Średnie oznaczone takimi samymi literami nie różnią się istotnie

^{1/} Porównań średnich dla kombinacji dokonano dla kierunku S(L)

Tabela 4.12. Wpływ systemów uprawy i lat na masę łodygi [g]

Lata (L)	Systemy uprawy (S)		Średnia
	Płużny	Uproszczony	
2020	62 ^{1/} A	51 B	57 a
2021	178 A	130 B	154 b
Średnia	120 a	91 b	106

Średnie oznaczone takimi samymi literami nie różnią się istotnie

^{1/} Porównań średnich dla kombinacji dokonano dla kierunku S(L)

Tabela 4.13. Wpływ systemów uprawy i lat na długość liści [cm]

Lata (L)	Systemy uprawy (S)		Średnia
	Płużny	Uproszczony	
2020	77 ^{1/} A	77 A	77 a
2021	85 A	82 A	84 a
Średnia	81 a	80 a	81

Średnie oznaczone takimi samymi literami nie różnią się istotnie

^{1/} Porównań średnich dla kombinacji dokonano dla kierunku S(L)

Tabela 4.14. Wpływ systemów uprawy i lat na masę liści [g]

Lata (L)	Systemy uprawy (S)		Średnia
	Płużny	Uproszczony	
2020	49 ^{1/} A	47 B	48 a
2021	55 A	49 B	52 b
Średnia	52 a	48 b	50

Średnie oznaczone takimi samymi literami nie różnią się istotnie

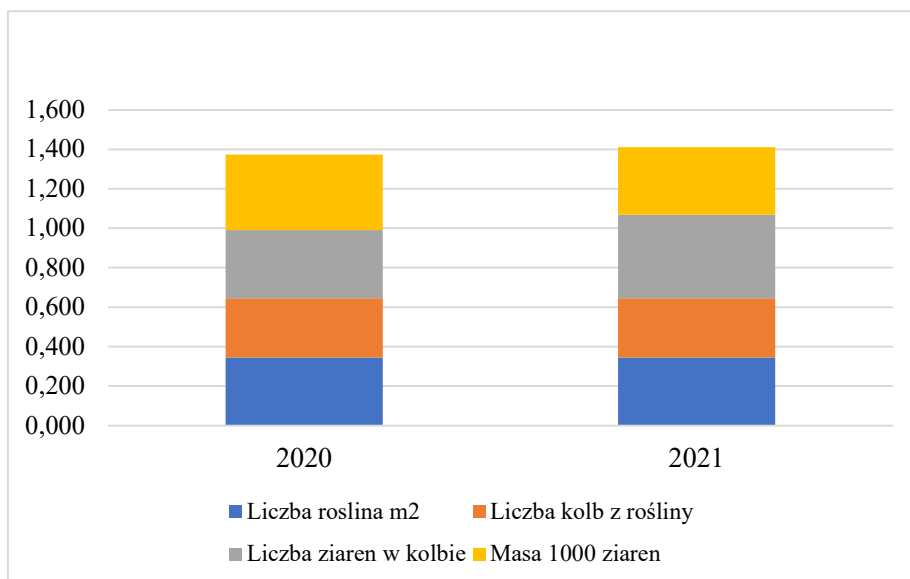
^{1/} Porównań średnich dla kombinacji dokonano dla kierunku S(L)

Tabela 4.15. Wpływ systemów uprawy i lat na liczbę liści

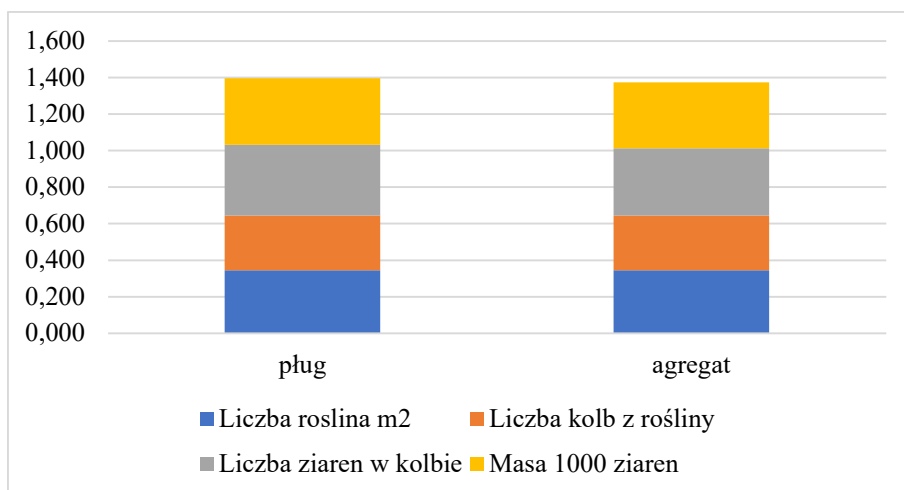
Lata (L)	Systemy uprawy (S)		Średnia
	Płużny	Uproszczony	
2020	13,4 ^{1/} A	13,2 A	13,3 a
2021	13,5 A	13,2 A	13,4 a
Średnia	13,4 a	13,2 a	13,3

Średnie oznaczone takimi samymi literami nie różnią się istotnie

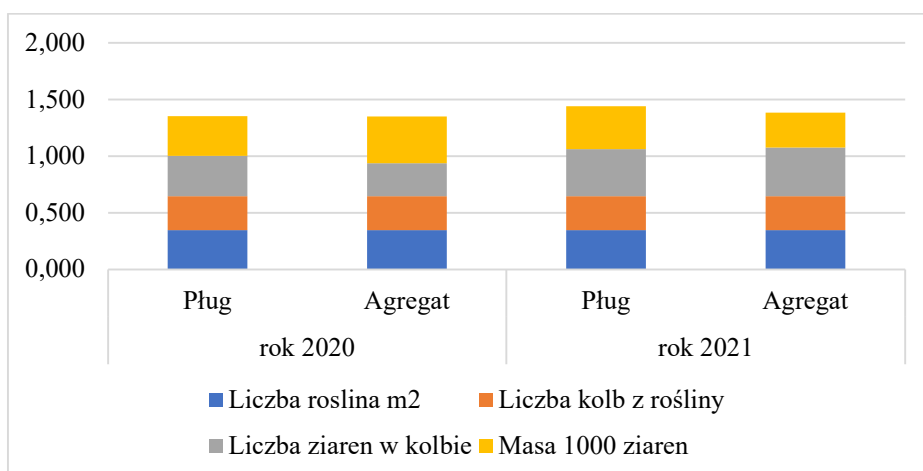
^{1/} Porównań średnich dla kombinacji dokonano dla kierunku S(L)



Rys. 4.1. Kształtowanie się komponentów plonu kukurydzy w latach 2020 i 2021



Rys. 4.2. Kształtowanie się komponentów plonu kukurydzy w systemach uprawy



Rys. 4.3. Kształtowanie się komponentów plonu kukurydzy w latach 2020 i 2021 i systemach uprawy

4.2. Skład chemiczny ziarna kukurydzy

Różnice w zawartość fosforu, potasu oraz magnezu w ziarnie kukurydzy w zależności od: lat, systemów uprawy jak i przebiegu pogody w latach były nieistotne. Jedynie zawartość azotu w zależności od systemu uprawy stanowiła różnicę istotną, (tab. 4.16.). Współczynnik zmienności dla zawartości N wynosił 8,6%, dla zawartości P 6,8%, dla zawartości K 6,4% i dla zawartości Mg 9,1%. Wskazuje to na dobrą ścisłość wyników badań w odniesieniu do składników mineralnych ziarna kukurydzy.

Wyższą zawartość azotu w ziarnie kukurydzy uzyskano po zastosowaniu płuznego systemu w porównaniu do systemu uproszczonego, (tab. 4.17.). Przebieg warunków meteorologicznych był korzystniejszy w roku 2021 niż w roku 2020. Różnica zawartości azotu w ziarnie kukurydzy wynosiła $0,1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, co stanowi 0,8%. Stwierdzono również różnicę w zawartości azotu w ziarnie, w zależności od lat prowadzonych badań. W roku 2020 różnica stanowiła 13%, a w roku 2021 - 8% na korzyść systemu płuznego.

Zawartość fosforu w ziarnie kukurydzy była taka sama, (tab. 4.18.). Przebieg warunków meteorologicznych w roku 2020 i 2021 nie miał wpływu na zawartość tego makroskładnika w ziarnie.

Przeprowadzone badania wykazały wyższą zawartość potasu w ziarnie kukurydzy w roku 2020, (tab. 4.19.). Ilość potasu w ziarnie kukurydzy w roku 2020 była taka sama w przypadku zastosowania dwóch systemów uprawy, jak również nie odnotowano różnic w roku 2021.

Zawartość magnezu w ziarnie kukurydzy była taka sama, (tab.4.20.). Przebieg warunków meteorologicznych w latach 2020 i 2021, nie miał wpływu na zmiany zawartości tego makroskładnika w ziarnie.

Tabela.4.16. Istotność efektów w analizie wariancji dla składu chemicznego ziarna

Cecha	Rodzaj zmienności (efekt)			Współczynnik zmienności V%
	Lata (L)	Systemy uprawy (S)	Interakcja L*S	
Zawartość N [g kg^{-1}]	r.n.	*	r.n.	8,62
Zawartość P [g kg^{-1}]	r.n.	r.n.	r.n.	6,82
Zawartość K [g kg^{-1}]	r.n.	r.n.	r.n.	6,35
Zawartość Mg [g kg^{-1}]	r.n.	r.n.	r.n.	9,12

^{1/} różnica: istotna - $p < 0,05$ *, wysoce istotna – $p < 0,01$ **, bardzo wysoce istotna $p < 0,001$ ***

Tabela 4.17. Wpływ systemów uprawy i lat na zawartość N w ziarnie kukurydzy, [g N·kg⁻¹]

Lata (L)	Systemy uprawy (S)		Średnia
	Płużny	Uproszczony	
2020	13,8 ^{1/A}	12,2 B	13,0 a
2021	13,6 A	12,6 B	13,1 b
Średnia	13,7 a	12,4 b	13,0

Średnie oznaczone takimi samymi literami nie różnią się istotnie

^{1/} Porównań średnich dla kombinacji dokonano dla kierunku S(L)Tabela 4.18. Wpływ systemów uprawy i lat na zawartość P w ziarnie kukurydzy, [g P·kg⁻¹]

Lata (L)	Systemy uprawy (S)		Średnia
	Płużny	Uproszczony	
2020	3,24 ^{1/A}	3,40 A	3,32 a
2021	3,24 A	3,35 A	3,29 a
Średnia	3,24 a	3,37 a	3,30

Średnie oznaczone takimi samymi literami nie różnią się istotnie

^{1/} Porównań średnich dla kombinacji dokonano dla kierunku S(L)Tabela 4.19. Wpływ systemów uprawy i lat na zawartość K w ziarnie kukurydzy, [g K·kg⁻¹]

Lata (L)	Systemy uprawy (S)		Średnia
	Płużny	Uproszczony	
2020	3,51 ^{1/A}	3,66 A	3,58 a
2021	3,45 A	3,45 A	3,45 a
Średnia	3,48 a	3,55 a	3,51

Średnie oznaczone takimi samymi literami nie różnią się istotnie

^{1/} Porównań średnich dla kombinacji dokonano dla kierunku S(L)Tabela 4.20. Wpływ systemów uprawy i lat na zawartość Mg w ziarnie kukurydzy, [g Mg·kg⁻¹]

Lata (L)	Systemy uprawy (S)		Średnia
	Płużny	Uproszczony	
2020	1,00 ^{1/A}	1,02 A	1,01 a
2021	1,01 A	0,90 A	0,95 a
Średnia	1,00 a	0,96 a	0,98

Średnie oznaczone takimi samymi literami nie różnią się istotnie

^{1/} Porównań średnich dla kombinacji dokonano dla kierunku S(L)

4.3. Ocena zależności pomiędzy plonem a komponentami plonu i cechami biometrycznymi roślin

W tabelach 4.21 i 4.22. przedstawiono wyniki analizy korelacji i regresji prostej pomiędzy komponentami plonu i cechami biometrycznym i roślin, a plonem ziarna kukurydzy. Z analizy wyłączono liczbę roślin na m² i liczbę kolb z rośliny, gdyż te cechy przyjmują stałą wartość niezależnie od lat, czy systemów uprawy. Liczba roślin na m² wynosi 7, a liczba kolb z rośliny 1 sztukę. Analizę przeprowadzono osobno dla badanych wariantów systemu uprawy gleby – uprawa płużna i uprawa uproszczona. Dla uprawy płużnej stwierdzono statystycznie udowodnioną zależność w przypadku liczby ziaren z kolby, masy 1000 ziaren (MTZ), masy łodygi i długości liści, (tab. 4.21.).

Wartości współczynników determinacji były wysoce istotne, a współczynniki determinacji kształtowały się na poziomie od 60 do 80%. Wskazuje to na fakt, że zmiany plonu są w takim procencie uzależnione od zmiany wartości tych cech. Równania regresji przedstawiono na rysunkach od 4.4 do 4.10.

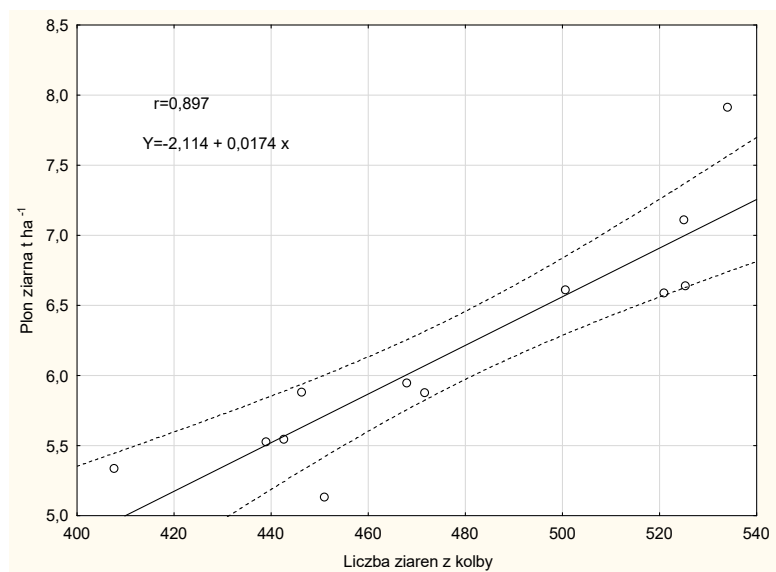
Tabela 4.21. Zależność plonu (Y) nasion kukurydzy od komponentów plonu i cech biometrycznych (x) w warunkach uprawy płuźnej, n=12

Cecha	r	d= r ² x 100	Istotność	Równanie regresji prostej
Masa kolby	0,267	7,13	r.n.	-
Masa ziarna z kolby	0,267	7,13	r.n.	-
Liczba ziaren z kolby	0,897	80,5	**	Y=2,11+0,0173 x
Masa 1000 ziaren	0,801	64,2	**	Y=-4,24 +0,056 x
Długość łodygi	0,489	23,9	r.n.	-
Masa łodygi	0,875	61,6	**	Y= 4,99 +0,009 x
Długość liści	0,755	57,0	**	Y =2,30 + 0,104 x
Masa liści	0,576	33,2	r.n.	-
Liczba liści	0,06	0,4	r.n.	-

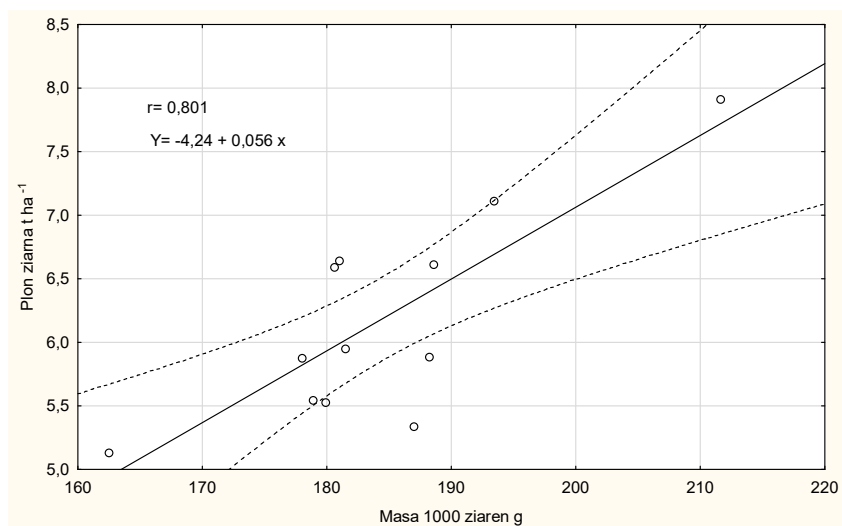
W przypadku uprawy uproszczonej wyniki przedstawiono w tabeli 4.22. Istotną zależność stwierdzono pomiędzy plonem, a masą łodygi, masą liści i liczbą liści. Wartości współczynników korelacji kształtowały się na poziomie od 0,742 do 0,826. Wskazuje to na bardzo silną zależność, gdyż współczynniki determinacji przekraczają 50%, a w przypadku masy liści dochodzą do 70%. Równania regresji przedstawiono na rysunkach od 4.4 do 4.10.

Tabela 4.22. Zależność plonu (Y) nasion kukurydzy od komponentów plonu (x) w warunkach uprawy uproszczonej, n=12

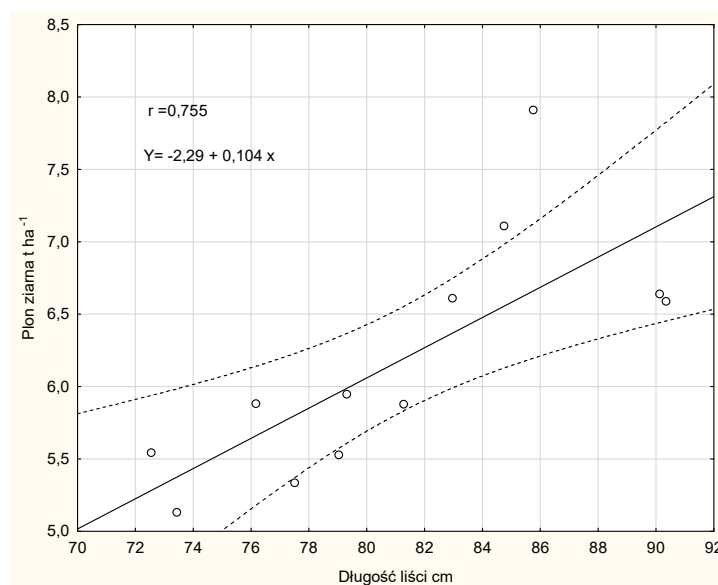
Cecha	r	r ² x 100	Istotność	Równanie regresji prostej
Masa kolby	0,448	20,0	r.n.	-
Masa ziarna z kolby	0,448	20,0	r.n.	-
Liczba ziaren z kolby	0,522	27,2	r.n.	-
Masa 1000 ziaren	-0,09	0,8	r.n.	-
Długość łodygi	0,511	26,1	r.n.	-
Masa łodygi	0,712	50,69	**	Y= 5,104 + 0,008 x
Długość liści	0,497	24,7	r.n.	-
Masa liści	0,826	68,2	**	Y = 0,800 + 0,104 x
Liczba liści	0,742	55,05	**	Y= -2,04 + 0,597 x



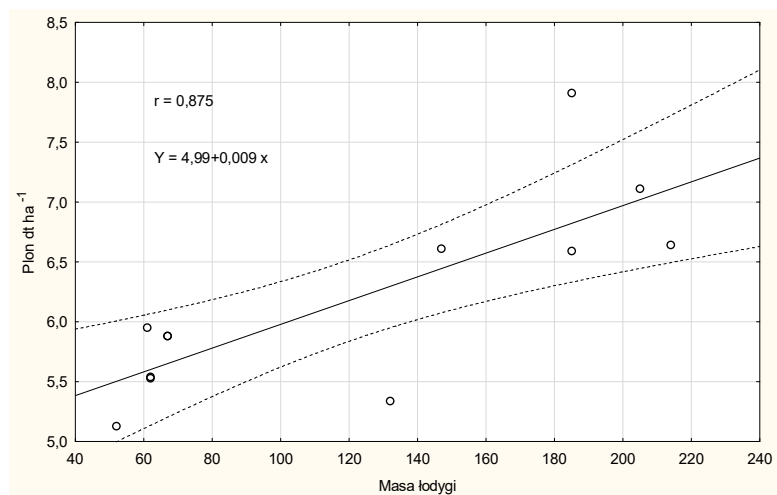
Rys. 4.4. Zależność pomiędzy plonem, a liczbą ziaren w kolbie dla wariantu uprawy płuźnej



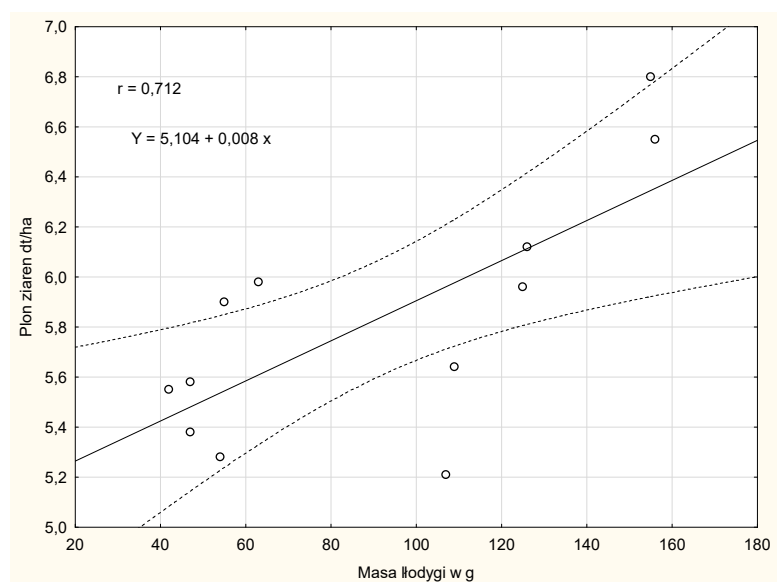
Rys. 4.5. Zależność pomiędzy plonem, a masą 1000 ziaren dla wariantu uprawy płuźnej



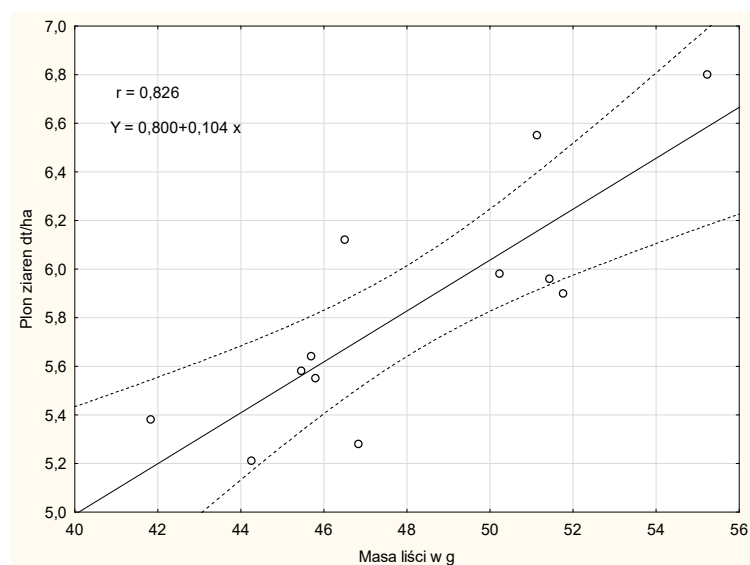
Rys. 4.6. Zależność pomiędzy plonem a długością liścia dla wariantu uprawy płuźnej



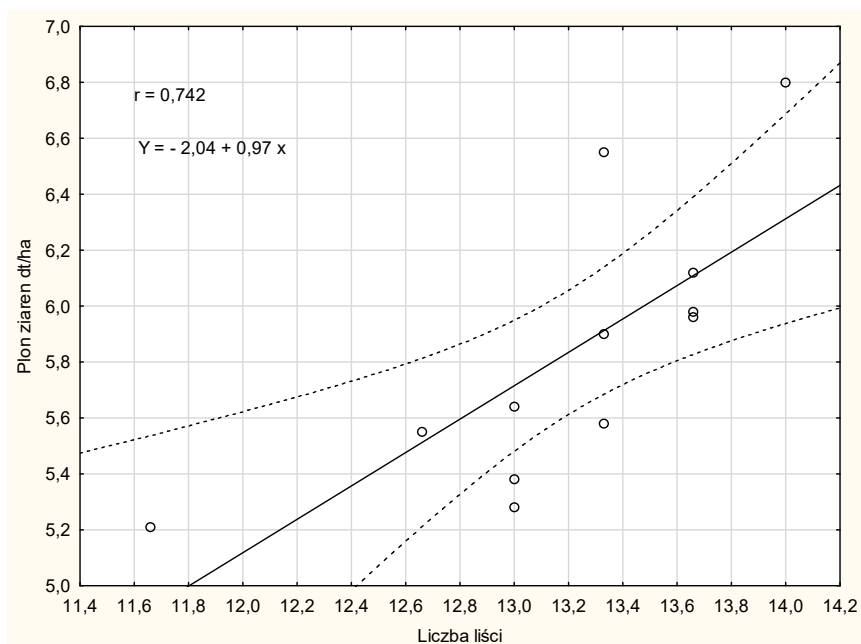
Rys. 4.7. Zależność pomiędzy plonem a masą lodygi dla wariantu uprawy płużnej



Rys. 4.8. Zależność pomiędzy plonem a masą lodygi dla wariantu uprawy uproszczonej



Rys. 4.9. Zależność pomiędzy plonem a masą liści dla wariantu uprawy uproszczonej



Rys. 4.10. Zależność pomiędzy plonem a liczbą liści dla wariantu uprawy uproszczonej

4.4. Analiza ekonomiczna uprawy

Analizę ekonomiczną w roku 2021 przeprowadzono przy cenie kukurydzy i kosztach bezpośrednich stałych niezmiennych w stosunku do roku 2020. Analiza ekonomiczna wykazała, iż uprawa płuzna jest zabiegiem, który pochłania najwięcej czasu. Rezygnacja z orki prowadziłaby do oszczędności czasu w ilości 50 min ha⁻¹ oraz paliwa w ilości 16 dm³·ha⁻¹. Plon w roku 2020 był w uprawie płuznej niewiele wyższy w porównaniu do uprawy uproszczonej. Uzyskany dochód był wyższy o około 1% w uprawie uproszczonej w porównaniu do uprawy płuznej. W drugim roku analiza poniesionych kosztów uprawy, czasu pracy maszyn i uzyskanego plonu wykazała wyższy plon w uprawie płuznej w porównaniu z uprawą uproszczoną o około 11% a wynik finansowy był korzystniejszy dla uprawy płuznej o około 18%.

Otrzymane wyniki dwuletniego doświadczenia tab. 4.23. i 4.24. potwierdzają, iż uprawa uproszczona jest tańsza i szybsza w stosunku do uprawy płuznej. Natomiast wynik ekonomiczny zależy jest od uzyskanego plonu i warunków atmosferycznych.

Tabela. 4. 23. Kalkulacja uprawy kukurydzy w roku 2020

Powierzchnia 1 hektara							
Lp.	Wyszczególnienie	W uprawie uproszczonej			W uprawie płużnej		
		Ilość · ha ⁻¹	Czas pracy [min.]	Koszt [zł]	Ilość · ha ⁻¹	Czas pracy [min.]	Koszt [zł]
1.	Material siewny	80000	-	370	80000	-	370
2.	Koszty nawożenia						
	Obornik	20 t/ 30 zł	-	600	20 t/30 zł	-	600
	Korn Kali - potasowo-magnezowy	200 kg · ha ⁻¹	-	450	200 kg · ha ⁻¹	-	450
	RSM- azotowy z siarką	300 l · ha ⁻¹	-	400	300 l · ha ⁻¹	-	400
	Polidap- startowy fosfor	150 kg · ha ⁻¹	-	180	150 kg · ha ⁻¹	-	180
	Razem nawożenie			1630			1630
3.	Środki ochrony roślin						
	Mocarz - granulaty:	0,2 kg · l ⁻¹	-	67	0,2 kg · l ⁻¹	-	67
	Dikamba 500g/1 kg		-	54		-	54
	Tritosulfuron 250g/1 kg		-	68		-	68
	Ikanos zawartość Nikosulfuron 40 g/l	1 l · ha ⁻¹	-	62	1 l · ha ⁻¹	-	62
	Perifolis - wzmacnia skuteczność zabiegów	1 l · (100l) ⁻¹ wody · ha ⁻¹	-	56	1 l · (100l) ⁻¹ wody · ha ⁻¹	-	56
	Razem środki ochrony roślin			307			307
4.	Mikroskładniki						
	PROCAM Cynk-nawóz dolistny	2 l · ha ⁻¹	-	28	2 l · ha ⁻¹	-	28
	ADOB-Bor - nawóz dolistny	1 l · ha ⁻¹	-	32	1 l · ha ⁻¹	-	32
	PROLEAF Max - nawóz dolistny	2 l · ha ⁻¹	-	30	2 l · ha ⁻¹	-	30
	Razem			90			90
5.	Agrotechnika (praca maszyn)	paliwo [l]			paliwo [l]		
	Rozrzutnik obornika		30	50		30	50
	Brona talerzowa	talerzowanie	40	50		40	50
	Pług 4 skibowy	orka	-	-		50	65
	Rozsiewacz nawozu	wysiew nawozu	40	50		40	50
	Agregat uprawowy	siew, nawożenie, wałowanie	40	50		40	50
	Opryskiwacz x 2	opryski	30	100		30	100
	Kombajn	zbiór	30	50		30	50
	Przyczepy	transport	30	40		30	40

Agregat podorywkowy	uprawa ścierniska	30	50		30	50
Razem praca maszyn własnych (czas+ koszt)		4 h 30 min	440		5 h 20 min.	505
Podatek rolny	-		130	-		130
Razem koszty bezpośrednie			2967			3032
Przychód						
Wartość kukurydzy 880 zł/t	zbiór t · ha ⁻¹	5,61	4937	zbiór t · ha ⁻¹	5,65	4972
Dopłaty ARiMR			484			484
Płatność obszarowe JPO			484			484
Razem przychód			5421			5456
DOCHÓD			2454			2424

Kalkulacja własna, prowadzonego doświadczenia

Tabela 4.24. Kalkulacja uprawy kukurydzy w roku 2021

Powierzchnia 1 hektara							
Lp	Wyszczególnienie	W uprawie uproszczonej			W uprawie płużnej		
		Ilość · ha ⁻¹	Czas pracy [min.]	Koszt [zł]	Ilość · ha ⁻¹	Czas pracy [min.]	Koszt [zł]
1.	Material siewny	80000	-	370	80000	-	370
2.	Koszty nawożenia						
	Obornik	20 t/ 30 zł	-	600	20 t/30 zł	-	600
	Korn Kali - potasowo-magnezowy	200 kg · ha ⁻¹	-	450	200 kg · ha ⁻¹	-	450
	RSM- azotowy z siarką	300 l · ha ⁻¹	-	400	300 l · ha ⁻¹	-	400
	Polidap- startowy fosfor	150 kg · ha ⁻¹	-	180	150 kg · ha ⁻¹	-	180
	Razem nawożenie			1630			1630
3.	Środki ochrony roślin						
	Mocarz - granulaty	0,2 kg · l ⁻¹	-	67	0,2 kg · l ⁻¹	-	67
	Dikamba 500g/l kg		-	54		-	54
	Tritosulfuron 250g/l kg		-	68		-	68
	Ikanos zawartość Nikosulfuron 40 g/l	1 l · ha ⁻¹	-	62	1 l · ha ⁻¹	-	62
	Perifolis - wzmacnia skuteczność zabiegów	1l · (100l) ⁻¹ wody · ha ⁻¹	-	56	1l · (100l) ⁻¹ wody · ha ⁻¹	-	56
	Razem środki ochrony roślin			307			307
4.	Mikroskładniki						
	PROCAM Cynk-nawóz dolistny	2 l · ha ⁻¹	-	28	2 l · ha ⁻¹	-	28
	ADOB-Bor - nawóz dolistny	1 l · ha ⁻¹	-	32	1 l · ha ⁻¹	-	32
	PROLEAF Max - nawóz dolistny	2 l · ha ⁻¹	-	30	2 l · ha ⁻¹	-	30
	Razem			90			90
5.	Agrotechnika (praca maszyn)	paliwo [l]			paliwo [l]		
	Rozrzutnik obornika		30	50		30	50
	Brona talerzowa	talerzowanie	40	50		40	50
	Pług 4 skibowy	orka	-	-		50	65
	Rozsiewacz nawozu	wysiew nawozu	40	50		40	50
	Agregat uprawowy	siew, nawożenie, wałowanie	40	50		40	50
	Opryskiwacz x 2	opryski	30	100		30	100
	Kombajn	zbiór	30	50		30	50
	Przyczepy	transport	30	40		30	40
	Agregat podorywkowy	uprawa ścierniska	30	50		30	50

Razem praca maszyn własnych (czas+ koszt)		4 h 30 min.	440		5 h 20 min.	505
Podatek rolny	-		130	-		130
Razem koszty bezpośrednie			2967			3032
Przychód						
Wartość kukurydzy 880 zł/t	zbiór t · ha ⁻¹	6,05	5324	zbiór t · ha ⁻¹	6,7	5896
Dopłaty ARiMR			484			484
Płatność obszarowe JPO			484			484
Razem przychód			5808			6380
DOCHÓD			2841			3348

Kalkulacja własna prowadzonego doświadczenia

5. Dyskusja

W związku z szeregiem pytań dotyczących opłacalności uprawy kukurydzy w zależności od zastosowanego systemu tj. uprawy płużnej czy uproszczonej, przeprowadzone doświadczenie i otrzymane wyniki badań dały odpowiedź na zadane pytania, dotyczące wpływu zastosowanej agrotechniki na plon, właściwości gleby oraz efektywność ekonomiczną. Przebieg doświadczenia, badane cechy biometryczne roślin, skład chemiczny ziaren i plon oraz właściwości gleby to czynniki wpływające na wynik ekonomiczny wskazujący na opłacalność produkcji, w zależności od systemu uprawy.

Dwuletnie doświadczenie przeprowadzono w latach 2020 i 2021. Średnia wartość plonu ziarna kukurydzy w roku 2021 była wyższa o około 13% w porównaniu z plonem otrzymanym w roku 2020. Świącicki i in. (2011) stwierdzają, iż wydajność produkcji w dużej mierze uzależniona jest od sumy i rozkładu opadów oraz temperatur występujących w okresie wegetacji roślin. Ptaszyńska i Sulewska (2008) zwracają uwagę, że, w wynikach ich badań, największy wpływ na plonowanie kukurydzy wywierały warunki pogodowe. W prowadzonym doświadczeniu własnym warunki pogodowe w latach prowadzonych badań były zróżnicowane szczególnie pod względem ilości opadów. Rok 2021 był znacznie bardziej obfity w deszcze, w porównaniu z rokiem 2020. Rok 2020 był cieplejszy w porównaniu do roku 2021. Według Skarżyńskiej (2007) kukurydza jest rośliną mającą duże wymagania wodne i jest stosunkowo wrażliwą na niekorzystny rozkład opadów podczas sezonu wegetacyjnego. Według Gołębowskiej i Wróbla (2009) najwyższy plon kukurydzy odnotowano w warunkach mokrego i ciepłego okresu wegetacyjnego. Kruczek (1997c) również podkreśla, iż kukurydza należy do roślin, których wzrost i rozwój zależy od warunków pogodowych. W roku 2020, w sezonie wegetacyjnym kukurydzy, temperatury w maju, czerwcu i lipcu były niższe od temperatur w roku 2021. Niekorzystny wpływ na samym początku wegetacji w roku 2020 miała niska temperatura w maju. Kruczek i Sulewska (2005) podają, że powodem niższych plonów mogą być niekorzystne warunki glebowe oraz niesprzyjające warunki pogodowe szczególnie występujące w początkowych fazach wzrostu i rozwoju kukurydzy. Ponadto jak wskazują Kruczek i Szulc (2005) w temperaturze 5-12°C osłabiona jest aktywność młodych korzeni kukurydzy do pobierania jonów, szczególnie fosforu i azotu.

Przedstawione zależności dotyczące warunków pogodowych i wielkości plonów ziarna kukurydzy uzyskanych w doświadczeniu, znajdują potwierdzenie w informacjach podawanych przez innych autorów. Kowalczyk-Juśko i Kościk (2005); Majtkowski (2004)

podają, że zbyt duże opady przy niskich temperaturach powietrza podczas okresu wegetacji mogą prowadzić do znacznego obniżenia plonu ziarna kukurydzy zwłaszcza na stanowisku gleb lekkich, gdzie czynnikiem decydującym na rozwój roślin są głównie opady w lipcu i sierpniu. Michalski i in. (1996) zwracają uwagę, na współzależność między poziomem plonowania a średnią dobową temperaturą w sezonie wegetacyjnym. Najwyższe plony uzyskuje się gdy temperatura kształtuje się na poziomie 15,5-16°C. Wykazują również na większą zależność plonowania, od przebiegu warunków pogodowych u odmian późniejszych.

W latach 2020 i 2021 w czasie realizowanego, doświadczenia odnotowano większy plon kukurydzy, uprawianej w systemie uprawy płużnej, w porównaniu do plonu z zastosowaniem systemu uprawy uproszczonej. Według Pikuły (2014), ilość opadów jest czynnikiem zwiększającym wykorzystanie i tym samym przyswajalność składników mineralnych z nawozów przez rośliny kukurydzy, W roku 2021 duże ilości opadów po siewie kukurydzy i stosunkowo wysoka temperatura przyczyniły się do szybkich wschodów roślin. Bardzo korzystny był również przebieg pogody w lipcu i w sierpniu co umożliwiło roślinom dobre wyziarnienie kolb i szybkie dojrzewanie ziarna w kolbach. Pomimo niedoboru wody w pierwszym roku prowadzonego doświadczenia kukurydza również lepiej plonowała na stanowisku uprawy płużnej. W pierwszym roku prowadzonych badań plon kukurydzy na stanowisku uprawy płużnej wyniósł 5,65 t·ha⁻¹, natomiast na stanowisku uprawy uproszczonej 5,61 t·ha⁻¹. W drugim roku prowadzonego doświadczenia uzyskano plon z uprawy płużnej 6,7, a uprawy uproszczonej 6,05 t·ha⁻¹.

Wyższy plon kukurydzy przy stosowaniu uprawy tradycyjnej w porównaniu z uprawą uproszczoną, potwierdza wielu autorów, (Szymankiewicz 1988; Machul 1993; Dubas i Menzel 1999). Pewne wyjaśnienie tej zależności może stanowić stwierdzenie Machuła (2005), że przyczyną niższych plonów, w warunkach bez uprawy mechanicznej, było zwiększone zachwaszczenie kukurydzy. Wielu autorów potwierdza, iż uproszczenia silnie wpływają na rozwój i liczebność chwastów (Szymankiewicz 1988; Dubas i Mencil 1999; Bochenek 2000; Piskier i Sekutowski; 2013; Biskupski i in. 2014).

Witkowski (1998) zwraca uwagę, że uproszczenia powinny być poprzedzone szeregami czynności, doprowadzających stan zachwaszczenia do jak najniższego poziomu. Uważając również, iż uprawa uproszczona sprzyja przechowywaniu się nasion chwastów w warstwach nieuprawianych. Według Pawłowskiego i Pomykalskiej (1980) o zagęszczeniu nasion chwastów decyduje głębokość orki, im jest płytsza tym więcej nasion. Wyniki doświadczenia prowadzonego przez Dzieńkę i in. (2003) wykazały,

iz pominięcie klasycznej uprawy płużnej, spowodowało zwiększenie liczebności i masy chwastów, zarówno rocznych jak i wieloletnich. Według Roli (1986) niektóre gatunki chwastów jak *Echinochloa crus-galli* i *Amaranthus retroflexus* mogą powodować obniżenie plonu nawet o 70%. Rola i in. (2006) podkreślają, iż tradycyjna technologia uprawy roli pod kukurydzę w porównaniu z uproszczoną, niezależnie od warunków glebowych, w znacznym stopniu ograniczyła zachwaszczenie.

Również Gąsiorowska i in. (2009) na podstawie wyników zrealizowanego doświadczenia potwierdza fakt, iż obok niesprzyjających uprawie warunków pogodowych, ograniczeniem, w uzyskaniu większych plonów było duże zachwaszczenie. Stwierdziła też zależność plonu od terminu siewu wskazując, iż w sytuacji wystąpienia zmiennych warunków pogodowych ważny jest właściwy dobór odmian i termin siewu.

Według Machula i Magnuszewskiej (2003) plon ziarna kukurydzy z jednostki powierzchni jest determinowany przez liczbę kolb, liczbę ziaren w kolbie i masę 1000 ziaren. Bleharczyki in. (2004) zwracają uwagę, iż zmniejszenie plonu kukurydzy w wyniku zastosowania uproszczeń w uprawie roli zwiększa zachwaszczenie i może być rezultatem obniżenia obsady oraz wysokości roślin, a stosowanie uprawy uproszczonej w okresie kilkuletnim niekorzystnie wpływa na właściwości gleby. Również Machul (2005) potwierdza, iż wieloletnie stosowanie uprawy uproszczonej powoduje niekorzystne zmiany właściwości chemicznych i fizycznych gleb, zakwaszenie górnej warstwy, nagromadzenie fosforu, potasu i magnezu jedynie w górnej warstwie gleby co wpływa na obniżkę plonów. Większą gęstość gleby w uprawie uproszczonej potwierdzają również Dzienia i in. (1995a, 1995b), Pabin i in. (2000), Jabłoński (1980). Natomiast Sienkiewicz i Krężel (1990) zaznaczają, iż stosowanie systemu płużnego zapobiega wymywaniu składników mineralnych, umożliwia nawożenie organiczne i przyczynia się do zwiększenia miąższości warstwy ornej i próchnicznej

W przeprowadzonym dwuletnim doświadczeniu nie stwierdzono wpływu systemu uprawy płużnej czy uproszczonej na ilość roślin na m², ilość liści oraz kolb. Obsada nasion stanowiła 80 tysięcy ziaren na hektar. Na 1 m² było 7 roślin kukurydzy. Sulewska i in. (2013) uważają, iż dobór obsady na m² jest szczególnie ważny, i istotny w okresie suszy, a obsada kukurydzy na m², by uzyskać plon satysfakcjonujący rolnika, powinna wynosić około 7-8 roślin na m². Bereś i Mrówczyński (2016) podają analogicznie, iż optymalna obsada roślin powinna wynosić w przypadku kukurydzy na ziarno 70-80 tysięcy roślin na jeden hektar. Według Machula i Magnuszewskiej (2003) przekroczenie optymalnej obsady wywoła zmniejszenie plonu.

Wilgotność zebranego ziarna była większa w roku 2021 w porównaniu do danych z roku 2020. W roku 2021 większą wilgotność zebranego ziarna kukurydzy odnotowano z poletek uprawy płuźnej, w porównaniu z wilgotnością ziarnem z poletek uprawy uproszczonej (35,74 i 35,65%). W roku 2020 uzyskano zależność odwrotną (34,20% i 33,94%). Na uzyskane wyniki, znaczący wpływ miały warunki atmosferyczne w poszczególnych latach. Żarski i in. (2004), na podstawie przeprowadzonych badań, podkreślają, że wilgotność ziarna zależała istotnie od temperatury powietrza.

W obydwu latach prowadzonych doświadczeń, uzyskano wyniki, świadczące o tym, że sucha masa kolb i ziarna, roślin uprawianych w systemie uproszczonym miała niższe wartości w porównaniu do roślin z systemu uprawy płuźnej.

Istotny wpływ na plon ma charakterystyka cech biometrycznych zebranych roślin tj. parametrów dotyczących: całej rośliny, łodygi, liści i ziaren.

Rośliny z uprawy płuźnej charakteryzowały się największą długością roślin, grubością pierścieni, masą łodygi, długością liści i masą liści. Uzyskane wyniki pomiarów wybranych cech kolby również wykazały uprawę płuźną, jako bardziej korzystną pod względem większej masy kolby, masy liści w kolbie, masy samej kolby z ziarnem, ilości ziaren oraz masy ziaren. oraz największy plon ogólny. Wyniki badań realizowanych przez Biskupskiego i in. (2014), potwierdziły przykładowo, iż w wysokość roślin kukurydzy była dość znacznie zróżnicowana w zależności od sposobu uprawy roli. Łodygi roślin były najdłuższe w przypadku realizowania uprawy tradycyjnej, a znacznie krótsze w uprawie uproszczonej. Kadłubiec i Kuriata (2004) podkreślają, iż na wielkość plonu największy wpływ mają: masa ziarna z kolby, wysokość roślin i długość kolby. Tę zależność potwierdzają wyniki uzyskane w przeprowadzonym doświadczeniu.

Według Borowieckiego i Kotera (1983) oraz Kruczek i Bobera (2004) gleba i jej zasobność w składniki pokarmowe wpływają na skład chemiczny roślin. Gąsiorowska i in. (2011) twierdzą, iż na zawartość makroskładników w suchej masie ziarna wpływają warunki atmosferyczne i czynniki agrotechniczne, a także termin siewu.

W zrealizowanym doświadczeniu warunki pogodowe w latach 2020 i 2021 nie spowodowały istotnych różnic odnośnie zawartości badanych makroskładników. Zróżnicowanie systemów uprawy i przebiegu pogody w latach, nie miały wpływu na zmiany zawartości fosforu, potasu oraz magnezu w ziarnie kukurydzy. Zawartość azotu w ziarnie kukurydzy, stanowiła różnicę istotną, w zależności od zastosowanego systemu uprawy. Wyższą zawartość azotu w ziarnie kukurydzy uzyskano w wyniku zastosowania systemu płuźnego. Wyniki przeprowadzonego doświadczenia wskazują, że zasobność

ziarna kukurydzy odnośnie zawartości makroskładników (azotu, fosforu, potasu, magnezu) była skorelowana z wartościami podawanymi w literaturze przedmiotu, (Kruczek 2005; Gołębiewska i Wróbel 2009; Gąsiorowska i in. 2011; Filipek-Mazur i in. 2013).

Holka i Bieńkowski (2018) podają, iż największą liczbę zabiegów i największe zużycie substancji aktywnych odnotowano w siewie płuznym, a następnie w uprawie uproszczonej. Uprawa uproszczona ma jednak zalety dotyczące ograniczenia ilości przejazdów, ingerencji dotyczącej ilości przejazdów i ugniatania gleby, zmniejszenie kosztów paliwa jak i oszczędności czasu i roboczogodzin, co może być czynnikiem powodującym konkretne korzyści ekonomiczne.

Podejmując decyzje jaką technologię uprawy wybrać należy uwzględnić jednak koszty produkcji i ilość przejazdów mających wpływ na strukturę gleby i jej właściwości. Szmigiel i Oleksy (2006), uważają, iż opłacalność uprawy kukurydzy na ziarno zależy od tych czynników, które najsilniej oddziałują na wysokość plonu czyli od przebiegu warunków pogodowych oraz sytuacji popytowo-podażowej, na giełdach towarowych ziarna kukurydzy, podczas całego sezonu wegetacyjnego. Białczyk i in. (2008) podają, iż orka stosowana w uprawie tradycyjnej jest najbardziej energochłonnym zabiegiem, na wykonanie którego potrzeba najwięcej czasu. W dobie rozwijających się dużych gospodarstw decyzja musi być dobrze przemyślana, by osiągnąć dobry jakościowo plon i zysk, by produkcja była opłacalna. Hołaj i Zaliwski, (2008) zwracają uwagę, że znaczące pozycje w kosztach produkcji zajmują koszty materiałów, na które składają się: koszt nasion, nawozów, środków ochrony roślin. Szczególnie koszty nawozów i koszty materiału pędnego czyli oleju napędowego generują duże koszty uprawy. Dubas i Szulc (2006) podkreślają, iż oszczędności należy szukać w uproszczeniach. Natomiast wyniki doświadczenia Spurtacza i in. (2008) wskazują, iż opłacalność uprawy kukurydzy zależała od wysokości plonu oraz cen skupu ziarna.

6. Wnioski

1. Wyższy plon ziarna kukurydzy uzyskano, po zastosowaniu płużnego systemu w porównaniu do systemu uproszczonego. Stwierdzono również niejednakową reakcję na stosowanie systemów uprawy w zależności od lat prowadzonych badań. W roku 2020 różnica była nieistotna, a wyniki były prawie takie same, różnica nie przekraczała 1%. Natomiast w drugim roku różnica w plonie na korzyść systemu płużnego wynosiła $0,67 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, co stanowiło około 11%. Wyższy plon kukurydzy uzyskano w roku 2021, różnica w średnim plonie wynosiła $0,75 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, co stanowiło około 13%. Rok 2020 był bardziej suchy i charakteryzował się dużym deficytem wody co spowodowało znaczną różnicę w plonie w stosunku do roku 2021.
2. Zastosowanie płużnego systemu uprawy spowodowało uzyskanie większej masy ziarna z kolby, liczby ziaren z kolby oraz długości łodygi i liści w porównaniu do wyników uzyskanych podczas stosowania systemu uproszczonego.
3. Liczba roślin na 1 m^2 jak i liczba kolb z rośliny nie różniły się w zależności od zastosowanego czynnika doświadczalnego. Liczba roślin wynosiła 7 sztuk na m^2 , a liczba kolb z rośliny to 1 sztuka. Wartości powyższe uzyskano, zarówno w latach 2020 i 2021 oraz dla obydwu systemów uprawy.
4. Analiza korelacji i regresji wykazała dla uprawy płużnej zależność plonu, od liczby ziaren z kolby, masy 1000 ziaren, masy łodygi i długości liści oraz wysoką istotność współczynników determinacji. Stosując uprawę uproszczoną uzyskano istotną zależność między plonem a masą łodygi, masą liści i liczbą liści. Wartości współczynników determinacji przekraczające 50% wskazują, na zależność bardzo wysoce istotną.
5. Zróżnicowanie systemów uprawy i przebiegu pogody w latach, nie miały wpływu na zmiany zawartości fosforu, potasu oraz magnezu w ziarnie kukurydzy.
6. Zawartość azotu w ziarnie kukurydzy, stanowiła różnicę istotną, w zależności od zastosowanego systemu uprawy. Wyższą zawartość azotu w ziarnie kukurydzy uzyskano w wyniku zastosowania systemu płużnego.
7. Z oceny wilgotności ziarna kukurydzy, zebranego w poszczególnych latach doświadczenia, wynika, iż wilgotność ziarna kukurydzy w roku 2021 była wyższa o około 5% w porównaniu do wyników z roku 2020. Wzrost, w roku 2021, zawartości wody w ziarnie kukurydzy spowodowany był zwiększoną ilością opadu i niższą temperaturą powietrza.

8. Wyniki analizy ekonomicznej potwierdziły fakt, iż uprawa płużna jest bardziej czasochłonna, a rezygnacja z orki pozwoli zaoszczędzić $50 \text{ minut} \cdot \text{ha}^{-1}$. Koszty paliwa w uprawie uproszczonej to oszczędność $65 \text{ zł} \cdot \text{ha}^{-1}$. Otrzymany dochód z uprawy uproszczonej w roku 2020 był wyższy o około 1% , natomiast w drugim roku dochód był wyższy o około 18 % w uprawie płużnej
9. Analiza uwzględnia również dopłaty obszarowe których nie można pominąć analizując całą kalkulację opłacalności uprawy kukurydzy w dwóch systemach. Wynik końcowy w świetle wykonanych badań i otrzymanych wyników stanowi potwierdzenie, iż uprawa płużna jest bardziej czasochłonna i droższa. Natomiast wynik ekonomiczny zależy jest od uzyskanego plonu podyktowanego warunkami atmosferycznymi Podsumowując dwuletnie doświadczenie należy stwierdzić, iż uprawa płużna jest nieopłacalna ze względu na zaangażowanie czasowe i pracę maszyn.

7. Piśmiennictwo

- Adamczyk J.** 2001. Znaczenie doboru odmian w uprawie kukurydzy na ziarno i kiszonkę. *Biul. Inf. Inst. Zoot.* 39(1), 29–35.
- Banasiak J.** 1999. *Agrotechnologia*. PWN, Warszawa-Wrocław, ISBN 83-0112697-3.
- Bereś P., Mrówczyński M.** 2016. Metodyka integrowanej ochrony i produkcji kukurydzy dla doradców. Instytut Ochrony Roślin Państwowy Instytut Badawczy, 37–42.
- Bereś P.** 2022. Odmiana kukurydzy ma znaczenie. *Top agrar Polska*. 4, 90–91
- Białczyk W., Cudzik A., Czarnecki J., Pieczarka K.** 2006. Ocena zmian niektórych parametrów wytrzymałości gleby w wybranych technologiach uprawy. *Inż. Roln.* 2(06), 103–108.
- Białczyk W., Cudzik A., Koryło S.** 2008. Ocena uproszczeń uprawowych w aspekcie ich energo- i czasochłonności oraz plonowania roślin. *Inż. Roln.* 4(102), 75–80.
- Bilski E., Siódmiak J., Heimann H.**, 1997. Wartość gospodarcza mieszańców kukurydzy zarejestrowanych w Polsce w latach 1972-1996. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 40, 31–54.
- Biskupski A., Sekutowski T.R., Włodek S., Smagacz J., Owsiak Z.** 2014. Wpływ międzyplonów oraz różnych technologii uprawy roli na plonowanie kukurydzy. *Inż. Ekologiczna*. 38, 7–16. DOI [10.12912/2081139X.28](https://doi.org/10.12912/2081139X.28).
- Blecharczyk A., Malecka I., Skrzypczak G.** 2004. Wpływ uproszczonej uprawy roli na plonowanie i zachwaszczenie kukurydzy oraz właściwości gleby. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 3(1), 157–163.
- Bochenek A.** 2000. Wpływ czynników biotycznych i zabiegów uprawowych na glebowy bank nasion chwastów. *Post. Nauk Roln.* 284, 19–29.
- Borowiecki J.** 1992. Wpływ terminu siewu odmian kukurydzy o zróżnicowanej wczesności na tempo rozwoju i dojrzewania. *Pam. Puł.* 101:123–135.
- Borowiecki J., Koter Z.** 1983. Porównanie saletry amonowej i mocznika jako źródło azotu dla kukurydzy. *Pam. Puł.* 81, 77–90.
- Buliński J.** 1998. Zagęszczenie gleby w różnych technologiach i związane z tym opory orki. *Rozprawy Naukowe i Monografie*. Wyd. SGGW Warszawa. 140.
- Carman K.** 1994. Tractor forward velocity and tire load effect on soil compaction. *J. Terramechanics* 31(1), 11–20.
- Chigarev Y., Śnieg M., Kulesza M.** 2009. Wpływ rodzaju bieżnika i jego zużycia na zagęszczenie gleby piaszczystej. *Inż. Roln.* 1(110), 61–67.
- Czyż E.A.** 2005. Wpływ systemów uprawy roli na wybrane właściwości fizyczne gleby i plonowanie kukurydzy w monokulturze. *Pam Puławski*. 140, 35–47.
- Daleszyński J.** 2018. Na stres mangan. *Top agrar Polska*. 4, 156–157.
- Daleszyński J.** 2021. Po wschodach też można. *Top .agrar Polska*. 5, 86–91
- Dobek T.** 2003. Analiza i ocena energochłonności i kosztów różnych technologii przygotowania gleby do siewu. *Inż. Roln.* 10(52), 221–228.
- Doran J.W., Parkin T.B.** 1994. Defining and Assessing Soil Quality. In: Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicek D.F., Stewart B.A., eds., *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, 3–21.
- Dzienia S., Piskier T., Wereszczaka J.** 1995a. Wpływ roślin mulczujących na wybrane właściwości fizyczne gleby po zastosowaniu siewu bezpośredniego bobiku. *Konf. Nauk. „Siew bezpośredni w teorii i praktyce”*. Szczecin-Barzkowice. 57–61.
- Dzienia S., Piskier T., Wereszczaka J.** 1995b. Wpływ systemów uprawy roli na fizyczne właściwości gleby i plonowanie pszenżyta ozimego. *II Międzyn. Symp.*

- „Ekologiczne aspekty mechanizacji, nawożenia, ochrony roślin i uprawy gleby. 28 XI IBMER Warszawa, 165–169.
- Dzienia S., Piskier T.** 1998. Wpływ systemów uprawy roli na plonowanie i zachwaszczenie pszenicy ozimej. *Rocz. Nauk Roln. Seria A* 113(1-2), 37–42.
- Dzienia S., Sosnowski A.** 1991. Możliwości zastosowania siewu bezpośredniego na glebie kompleksu żytanego dobrego w warunkach klimatycznych Pomorza Zachodniego. *Rocz. Nauk Roln. Ser. A*, 109(2), 157–173.
- Dzienia S., Wrzesińska E., Wereszczaka J.** 2003. Wpływ systemów uprawy roli na zachwaszczenie pszenicy ozimej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 490, 67–71.
- Dubas A.** 1988. Obsada roślin a produktywność kukurydzy. *Mat. Konf. Obsada a produktywność roślin uprawnych. IUNG i PAN Puławy cz. I*, 112–120.
- Dubas A.** 2004. Technologia produkcji kukurydzy. *Wiś Jutra*, Warszawa, 7–65.
- Dubas A., Menzel L.** 1999. Uprawa kukurydzy w systemie bezorkowym po różnych przedplonach. *Folia Univ. Agric. Stetin., Agricultura* 74, 147–155.
- Dubas A., Szulc P.** 2006. Przyrodnicze efekty stosowania przez kilka lat siewu bezpośredniego kukurydzy uprawianej w monokulturze. *Fragm. Agron.* 3, 27–35.
- Dudek S., Źarski J.** 2002. Ocena efektów zastosowania nawadniania w uprawie kukurydzy na ziarno. *Inż. Roln.* 3(63), 159–163.
- Fageria N.K.** 2013. The role of plant roots in crop production. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA 1–44.
- Filipek T., Fotyma M., Lipiński W.** 2006. Stan, przyczyny i skutki zakwaszania gleb ornych w Polsce. Nawozy i nawożenie. *IUNG-PIB Puławy* 2(27), 7–38
- Filipek-Mazur B., Lepiarczyk A., Tabak M.** 2013. Wpływ nawożenia azotem i siarką na plonowanie oraz skład chemiczny ziarna kukurydzy. Część II. Zawartość azotu i siarki. 30(4), 29–35.
- Gąsiorowska B., Makarewicz A., Plaza A., Nowosielska A.** 2009. Plon ziarna i cechy kolb kukurydzy wysiewanej w różnych terminach. *Fragm. Agron.* 26(2), 55–65.
- Gąsiorowska B., Makarewicz A., Nowosielska A.** 2011. Zawartość wybranych makroskładników w ziarnie odmian kukurydzy wysiewanych w trzech terminach. *Fragm. Agron.* 28(3), 7–15.
- Gołębiowska H., Kaus A.** 2009. Efektywność chemicznej regulacji zachwaszczenia w różnych systemach uprawy kukurydzy. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 8(1), 3–16.
- Gołębiowska H.** 2013. Wpływ herbicydów na plonowanie i wybrane wskaźniki architektury łanu kukurydzy w zależności od systemu uprawy. *Fragm. Agron.* 30(3), 64–69.
- Gołębiowska M., Wróbel E.** 2009. Wpływ nawożenia azotem na plonowanie kukurydzy. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Klimatyzacji Roślin* 251, 121–136. DOI: 10.37317/biul-2009-0089.
- Górecka M.** 2014. Słoma kukurydzy użyźnia glebę. <https://technologia.kpodr.pl/index.php/2014/09/15/sloma-kukurydzy-uzyznia-glebe/> (Dostęp: 11.11.2024).
- Grzesiak M.T.** 2009. Impact of soil compaction on root architecture, leaf water status, gas exchange and growth of maize and triticale seedlings. *Plant Root.* 3, 10–16.
- Handzel A., Królczyk J.B., Latawiec A.E., Pluta K., Malina D., Sobczak-Kupiec A.** 2017. Analiza właściwości fizykochemicznych gleb i oznaczenie zawartości wybranych pierwiastków. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 419–432. DOI: <http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2017.1.2.031>
- Hill T., Lewicki P.** 2006. Statistics – Methods and Applications. A Comprehensive Reference for Science, Industry, and Data Mining. StatSoft Inc. 1st Edition.

- Holka M., Bieńkowski J.** 2018. Chemiczna ochrona kukurydzy i jej oddziaływanie na środowisko w warunkach różnych systemów uprawy roli. *Proceedings of ECOpole* 12(2), 491–498. DOI10.2429/proc.2018.12(2)048.
- Hołaj J., Zaliwski A.S.** 2008. Modelowanie technologii produkcji kukurydzy uprawianej na CCM. *Inż. Roln.* 2(100), 43–50.
- Jabłoński B.** 1980. Wpływ różnych wariantów uprawy roli pod zboża i kukurydzę na wysokość plonów i właściwości gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 227, 231–238.
- Jadczyzsyn J.** 2010. Wpływ systemów uprawy roli na nasilenie procesów erozyjnych w warunkach zmian klimatu. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 19: 55–68. DOI:10.26114/sir.iung.2010.19.03.
- Jaskulska I., Jaskulski D.** 2016. Współczesne sposoby i systemy uprawy roli w teorii i praktyce rolniczej. CDR Poznań. ISBN 978-83-60232-75-0.
- Jeśmanowicz A., Ruszkowski M.** 1981. Wpływ terminu i gęstości siewu na produktywność kilku mieszańców kukurydzy uprawianych na ziarno. *Pam. Puł.* 75, 133–147.
- Jurga J.** 1995. Ocena jakości pracy zespołów redlicowych przeznaczonych do siewu bezpośredniego na glebie średniozwięzłej. Siew bezpośredni w teorii i praktyce. Konferencja naukowa Szczecin-Barzkowice, 12.06.1995, 159–167.
- Kadłubiec W., Kuriata R.** 2004. Wielocechowa analiza kształtowania plonu ziarna linii wsobnych i mieszańców F1 kukurydzy. *Biul IHAR* 231, 419–424.
- Kaniuczak Z., Pruszyński S.** 2015. Metodyka integrowanej produkcji kukurydzy. Państwowa Inspekcja Ochrony Roślin i Nasiennictwa, 5–42.
- Kalinowska-Zdun M.** 1997. Zmiany technologiczne i ich konsekwencje w uprawie roślin. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.* 438, 261–266.
- Kaszkowiak E., Kaszkowiak J.** 2011. Wykorzystanie ziarna kukurydzy na cele energetyczne. *Inż. Ap. Chem.* 50(3), 35–36.
- Kowalczyk-Juśko A., Kościk B.** 2005. Analiza możliwości wykorzystania biomasy na cele energetyczne. *Wieś Jutra*, 25–27.
- Krażel R.** 1991. Wpływ siewu bezpośredniego na właściwości gleby i plonowanie roślin. *Roczn. Nauk Roln. Ser. A*, 109(2), 175–188.
- Kruczek A.** 1988. Określenie optymalnych dawek, sposobów terminów stosowana nawozów azotowych pod kukurydzę uprawianą na ziarno. *Mat. Z sesji naukowej pt. „Stan badań nad agrotechniką kukurydzy w Polsce” IUNG Puławy*, 2, 19–24.
- Kruczek A.** 1997a. Efektywność nawożenia azotem kukurydzy uprawianej na ziarno w rejonie Wielkopolski. *Rocz. Nauk Roln.* 112(3-4), 183–198.
- Kruczek A.** 1997b. Wpływ nawożenia azotowego na pobranie azotu przez kukurydzę i zmiany jego zawartości w glebie. *Pr. Komis. Nauk Pol. Leś.* 83, 69-80.
- Kruczek A.** 1997c. Wpływ warunków pogodowych i nawożenia azotowego na rozwój i niektóre cechy morfologiczne kukurydzy (*Zea mays* L.) *Rocz. AR w Poznaniu, Rolnictwo* 50, 55–61.
- Kruczek A.** 2004. Gromadzenie suchej masy w początkowym okresie wzrostu jako wyznacznik reakcji mieszańców kukurydzy na sposób nawożenia i terminu siewu. *Acta Agrophys.*, 4(2), 361–372.
- Kruczek A., Księżak J.** 2004. Potrzeby pokarmowe kukurydzy i zasady nawożenia. *Technologia produkcji kukurydzy*. Wieś Jutra, ISBN 8389503174.
- Kruczek A.** 2005. Wpływ nawożenia rzędowego różnymi rodzajami nawozów na plonowanie kukurydzy. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 4(2), 37–46.
- Kruczek A., Szulc P.** 2005. Tempo gromadzenia suchej masy przez kukurydzę w zależności od dawki fosforu, rodzaju nawozu i sposobu nawożenia, *Acta Agroph.* 6(3), 631–642.

- Kruczek A., Sulewska H.** 2005. Wpływ sposobu nawożenia, terminu siewu i odmian na gromadzenie składników mineralnych przez kukurydzę w początkowym okresie rozwoju. *Acta Agroph.* 5(3), 683–694.
- Kruczek G., Bober A.** 2004. Wpływ różnych sposobów dokarmiania roślin na zawartość miedzi, cynku, manganu, żelaza w ziarnie kukurydzy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 502(1), 181–187.
- Kruczek G., Bober A., Bobrecka-Jamro D.** 2004. Wpływ różnych sposobów dokarmiania roślin na plon i zawartość makroelementów w ziarnie kukurydzy. *Mat. Konf. „Stan obecny i perspektywy uprawy kukurydzy w Polsce”* Puławy, 16-17 listopada 2004, 31.
- Kuśmierz A., Kisiel M.** 2014. Analiza stanu gleb w raportach o oddziaływaniu na środowisko wybranych obiektów gospodarki odpadami. *Soil Sci. Ann.* 65, 161–169. DOI:10.1515/ssa-2015-0010
- Lipiński W.** 2005. Odczyn gleb Polski. Nawozy i nawożenie. *IUNG Puławy* 2(23), 33–40.
- Lisowska A.** 2023. Co trzeba uwzględnić w bilansie składników pokarmowych. <https://nawozy.eu/wiedza/porady-ekspertow/nawozenie>. (Dostęp: 30.07.2024)
- Lisowski J., Nicikowski M.** 2020. Ocena plonowania kukurydzy uprawianej na kiszonce w systemie tradycyjnym i uproszczonym. *Zesz. Nauk. WSA* 78, 25–34.
- Lorenc H.** 1994. Ocena zmienności temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w okresie 1901–1993 na podstawie obserwacji z wybranych stacji meteorologicznych w Polsce. *Wiadomości IMGW.* 38, 43–59.
- Machul M.** 1993. Możliwości zastosowania uproszczonych metod uprawy roli pod kukurydzą na ziarno w trzyletniej monokulturze. *Pam. Puł* 102, 191–199.
- Machul M.** 2002. Postęp w hodowli mieszańców kukurydzy uprawianych w Polsce w latach 176-2000. *Pam. Puł.*, 130/II, 479–486.
- Machul M.** 2005. Wpływ uproszczonej uprawy roli na efektywność plonowania kukurydzy oraz właściwości biologiczne, fizyczne i chemiczne gleby. *Post. Nauk Roln.* 1, 47–61.
- Machul M., Magnuszewska K.** 2003. Wpływ elementów plonowania na zróżnicowanie plonów ziarna wybranych odmian kukurydzy w warunkach zwiększonej obsady roślin. *Biul. Inst. Hod. Aklim. Rośl.* 228, 175–183.
- Majtkowski W.** 2004. Rośliny alternatywne na cele energetyczne. *Mat II Kongresu Rolnictwa Polskiego.* Poznań, 164–169.
- Malecka I., Bleharczyk A., Dobrzeński T.** 2009. Produkcyjne i środowiskowe skutki wieloletniego stosowania systemów bezorkowych w uprawie grochu siewnego. *Fragm. Agron.*, 26(3), 118–127.
- Marczuk T.** 2006. Możliwości zmniejszenia ugniatania gleby kołami pojazdów rolniczych przez dobór agregatu ciągnik-maszyna. *Instytut Budownictwa Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa w Warszawie. Praca doktorska.*
- Marks M., Buczyński G.** 2002. Degradacja gleb spowodowana mechanizacją prac polowych oraz sposoby i możliwości jej zapobiegania. *Post. Nauk Roln.* 4, 27–39.
- Marks M., Buczyński G., Orzech.** 2002. Następczy wpływ zagęszczenia gleby oraz sposób przeciwdziałania na plonowanie mieszanki owsa z grochem siewnym. *Fragm. Agron.* 2(74), 245–250.
- Michalski T., Sulewska H., Waligóra H., Dubas A.,** 1996. Reakcja odmian kukurydzy uprawianej na ziarno na zmienne warunki pogodowe. *Rocz. Nauk. Rol. A* 112(1-2), 103–111.
- Michalski T.,** 1997. Wartość pastewna plonów kukurydzy w zależności od sposobów i terminów zbioru. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 40, 132–162.

- Michalski T., Kowalik I.** 2007. Nawożenie startowe jako metoda poprawy efektywności nawożenia i obniżki kosztów produkcji kukurydzy. *Inż. Roln.* 6(94), 167–174.
- Mocek A., Owczarzak W., Kaczmarek Z.** 1994. Degradacja fizyczna gleb przyczyną spadku plonowania roślin uprawnych. *Roczn. AR Poznań* 260 Rol. 44, 67–75.
- Ochal P., Jadczyzyn T., Jurga B.** 2015. Rozwój systemu korzeniowego kukurydzy w zależności od umieszczenia nawozu w glebie. *Pol. J. Agron.*, 23, 74–81.
- Oleksiak T., Arseniak E.** 2002. Postęp w hodowli roślin uprawnych. *Pam. Puł.* 130, 509–521.
- Pabin J., Włodek S., Biskupski A., Runowska-Hryńczuk B., Kaus A.** 2000. Ocena właściwości fizycznych gleby i plonowania roślin przy zastosowaniu uproszczeń uprawowych. *Inż. Roln.* 6(17), 213–219.
- Pawłowski F., Pomykalska A.** 1980. Wpływ głębokości orki na liczebność i rozmieszczenie nasion chwastów w glebie. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 227:123–127.
- Pikuła D.** 2014. Nawożenie kukurydzy uprawianej na ziarno. *Studia i Raporty IUNG-PIB.* 37(11), 99–109. DOI: 10.26114/sir.iung.2014.37.08.
- Piskier T., Sekutowski T.R.** 2013. Effect of simplified tillage on the number and distribution of weed seeds in soil. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 58(4), 109–117.
- Piskier T., Sekutowski T.R.** 2014. Środowiskowe i produkcyjne skutki stosowania bezorkowych systemów uprawy roli. *Studia i Raporty IUNG-PIB* 36(10), 69–89. DOI: 10.26114/sir.iung.2014.36.06
- Podleśny J.** 2006. Przydatność siewu punktowego w uprawie wybranych gatunków roślin strączkowych, *Inż. Roln.* 13(88), 377–383.
- PN-R-04020:1994/Az1:2004** - Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego magnezu.
- PN-R-04023:1996** - Analiza chemiczno-rolnicza gleby - Oznaczanie zawartości przyswajalnego fosforu w glebach mineralnych.
- PN-R-04022:1996+Az1:2002** - Analiza chemiczno-rolnicza gleby - Oznaczanie zawartości przyswajalnego potasu w glebach mineralnych.
- PN-R-04031:1997** - Analiza chemiczno-rolnicza gleby - Pobieranie próbek.
- PN-ISO 10390/1997** - Jakość gleby - Oznaczanie pH
- PN-R-04032:1998** - Gleby i utwory mineralne - Pobieranie próbek i oznaczanie składu granulometrycznego.
- PN-ISO 11465:1999** - Zawartość suchej masy gleby i wody w glebie w przeliczeniu na suchą masę gleby
- PN-ISO 6491:2000** - Pasze -- Oznaczanie zawartości fosforu -- Metoda spektrometryczna.
- PN-ISO 11261:2002** Jakość gleby - Oznaczanie azotu ogólnego - Zmodyfikowana metoda Kjeldahla.
- PN-EN-ISO-5983-1.** 2005. Pasze. Oznaczanie zawartości azotu i obliczanie zawartości białka ogólnego. Część I. Metoda Kjeldahla.
- Podolska G.** 2004. Efektywność agrotechnicznych oddziaływań w wykorzystaniu potencjału plonowania pszenicy ozimej. *Biul. Inst. Hod. Aklim. Rośl.* 231, 375–379.
- Ptaszyńska G., Sulewska H.** 2008. Zmienność plonowania mieszańców kukurydzy o różnej wczesności w warunkach klimatycznych środkowej Wielkopolski. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 7(3), 93–103.
- Radecki A.** 1986. *Studia nad możliwością siewu bezpośredniego na czarnych ziemiach właściwych.* SGGW-AR Warszawa, Rozpr. Nauk i Monogr. 87.
- Radecki A., Opic J.** 1991. Metoda siewu bezpośredniego w świetle literatury krajowej i zagranicznej. *Roczn. Nauk Roln. Ser. A* 109(2), 119–141.

- Rocznik Statystyczny Rolnictwa Statistical Yearbook of Agriculture.** Główny Urząd Statystyczny. 2023. Warszawa.
- Rola H.** 1986 Zależność wysokości plonów kukurydzy od okresu występowania w łanie *Echinochloa crus-galli* i *Amaranthus retroflexus*. Pam. Puł. 87, 155–170.
- Rola H., Sekutowski T., Gierczyk T.** 2006. Ochrona kukurydzy przed chwastami w świetle zróżnicowanej technologii upraw. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 508, 153–158.
- Sekutowski T.** 2009. Effect of different tillage systems on maize yield and degradation dynamics of rimsulfuron in soil. Acta. Sci. Pol., Agricultura 8(2), 9–20.
- Sienkiewicz J., Krężel R.** 1990. Działanie różnych technologii uprawy roli na właściwości gleb piaszczystych i plonowanie roślin. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 376, 11–23.
- Skarżyńska A.**, 2007. Wyniki ekonomiczne wybranych produktów rolniczych w latach 2005-2006. IERiGŻ. Warszawa. 50-59, 118–121.
- Skrzypczak W., Waligóra H., Szulc P.** 2008. Possibilities of mechanical limitation of weed infestation in maize and sorghum cultivation in ecological agriculture. J. Res. Appl. Agric. Eng., 53(4), 67–70.
- Spurtacz S., Pudielko J., Majchrzak L.** 2008. Opłacalność uprawy kukurydzy na ziarno w warunkach produkcyjnych w latach 2005-2007. Acta Sci. Pol., Agricultura 7(4), 117–124.
- Stanisz A.** 2007. Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny Tom 2. Modele liniowe i nieliniowe. Wyd. StatSoft, Kraków 2007, s 1-868, ISBN: 978-83-88724-30-5.
- Sulewska H.** 1997. Środowiskowe i ekonomiczne uwarunkowania uprawy i kierunków użytkowania kukurydzy w Polsce. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 450, 15–29.
- Sulewska H.** 2008. Kukurydza w monokulturze - zagrożenia Poradnik Rolnika Agrotechnika 3, 22–24. Kukurydzy. ISBN 978-83-89867-97-1
- Sulewska H., Koziara W., Śmiatacz K., Szymańska G., Panasiewicz K.** 2013. Yielding of maize hybrids from different maturity groups depending on sowing density. Fragm. Agron. 30(4), 156–163.
- Szmigiel A., Oleksy A.** 2004. Wpływ gęstości siewu na plon ziarna odmian kukurydzy o różnej klasie wczesności. Biul. Inst. Hod. Aklim. Roś. 231, 437–444.
- Szmigiel A., Oleksy A.** 2006. Uprawa kukurydzy na ziarno w Beskidzie Niskim. Pam. Puł. 142, 513–524.
- Szymankiewicz K.** 1988. Wpływ zróżnicowanej uprawy roli na fizyczne właściwości gleb i plonowanie kukurydzy w krótkotrwałej monokulturze. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 356, 223–229.
- Święcicki W.K., Surma M., Koziara W., Skrzypczak G., Szukała J., Bartkowiak-Broda I., Zimny J., Banaszak Z., Marciniak K.** 2011. Nowoczesne technologie w produkcji roślinnej - przyjazne dla człowieka i środowiska. Pol. J. Agron. 7, 102–112.
- Talarczyk W., Zbytek Z.** 2006. Wpływ głębokości roboczej agregatu do bezorkowej uprawy gleby na obciążenia eksploatacyjne. Inż. Roln. nr 4(79), 303–312.
- Weidema B.P., Meeusen M.J.G.** 1999. Agricultural data for life cycle assessments. The Hague, Agricultural Economics Research Institute (LEI). Report 2.00.01; ISBN 90-5242-563-9.
- Witkowski F.** 1998. Wpływ wieloletnich uproszczeń uprawy roli na liczbę i rozmieszczenie nasion chwastów w glebie, 31–40.
- Włodek S.** 2000. Wpływ powierzchniowego zagęszczania gleby na jej właściwości fizyczne w profilu. Komitet Techniki Rolniczej PAN, Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej. IMBER-Wrocław 313–318.

Włodek S., Biskupski A., Pabin J. 2007. Plonowanie roślin oraz zmiany retencji wodnej gleby w różnych systemach uprawy roli. Inż. Roln. 3(91),195–200.

Żarski J., Dudek S., Grzelak B. 2004. Rola czynnika wodnego i termicznego w kształtowaniu plonów ziarna kukurydzy. Acta Agroph. 3(1), 189–195.
<https://www.lgseeds.pl/blog/post/co-oznacza-fao-w-kukurydzy>. (Dostęp: 11.11.2024).
<https://nawozy.eu./wiedza/porady-ekspertow/informacje/obsada-roslin-kukurydzy>. (Dostęp: 11.11.2024).
<https://www.wrp.pl/top-10-w-produkcji-kukurydzy-na-swiecie-w-2022-roku>. (Dostęp: 11.11.2024).
<https://igrit.pl/arttykul/polska-stala-sie-drugim-producentem-kukurydzy-w-ue-2905>. (Dostęp: 11.11.2024).
https://www.coboru.gov.pl/pl/kr/kr_gat. Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych, **COBORU**. (Dostęp: 11.11.2024).
<https://technologia.kpodr.pl/index.php/2014/09/15/sloma-kukurydzy-uzyznia-glebe/>. (Dostęp: 11.11.2024)
<https://podr.pl/ekonomika/produkcja-roslinna/>. (Dostęp: 10.11.2024).
<https://zycierolnika.pl/index.php/rosliny/item/5080-glebokosc-siewu-kukurydzy-a-ryzyko-uszkodzenia-korzeni-przez-herbicydy>. (Dostęp: 11.11.2024).
<https://www.dziennikustaw.gov.pl/du/2018/1339> Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 5 czerwca 2018 r w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” DZIENNIK USTAW RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ Warszawa, dnia 12 lipca 2018 r. Poz. 1339.(data dostępu 7.11.2024)

8. Streszczenie

Wpływ nowoczesnego agregatu uprawowo-siewnego stosowanego w uprawie bezpośredniej na plonowanie kukurydzy, właściwości gleby oraz efektywność ekonomiczną

Kukurydza jest rośliną o dużym znaczeniu gospodarczym, zajmującą czołowe miejsca pod względem uprawy na całym świecie. Dużo kontrowersji w świetle literatury i przeprowadzonych badań wzbudza wybór systemu jej uprawy płuznej czy uproszczonej. Doświadczenie przeprowadzono w latach 2020 i 2021 na dwóch wydzielonych-poletkach o powierzchni po jednym hektarze każde. Kukurydzę uprawiano na glebie lekkiej, piasku gliniastym, stosując dwa odmienne systemy uprawy: płuzny i uproszczony. W zależności od systemu uprawy na obu poletkach przeprowadzono uprawę przygotowującą glebę do siewu i nawożenia. Przeprowadzono nawożenie przedsiewne i wysiano kukurydzę odmiany średniowczesnej, Pioneer P8307, FAO 230 AQUA MAX. Zastosowano herbicydy i wykonano nalistne odżywianie roślin kukurydzy w formie oprysku mikroskładnikami. W całym okresie rozwoju roślin prowadzono stałą kontrolę uprawy i rejestrowano przebieg warunków meteorologicznych. Doświadczenie w sposób identyczny powtórzono w kolejnym roku prowadzonych badań. Po zbiorach oceniono: wilgotność ziarna oraz plon suchej masy. Przeprowadzono pomiary cech biometrycznych roślin i składu chemicznego ziarna kukurydzy. Wyższy plon ziarna kukurydzy uzyskano, po zastosowaniu płuznego systemu, w porównaniu do systemu uproszczonego. Stwierdzono również niejednakową reakcję na stosowanie systemów uprawy w zależności od lat prowadzonych badań. W roku 2020 różnica była nieistotna, nie przekraczała 1%, a wyniki były prawie takie same. W drugim roku różnica w plonie na korzyść systemu płuznego wynosiła $0,67 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, co stanowiło około 11%. Wyższy plon kukurydzy uzyskano w roku 2021, różnica w średnim plonie wynosiła $0,75 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, co stanowiło około 13%. Rok 2020 był bardziej suchy i charakteryzował się dużym deficytem wody co spowodowało znaczną różnicę w plonie w stosunku do roku 2021. Zastosowanie płuznego systemu uprawy, spowodowało uzyskanie większej masy ziarna z kolby, liczby ziaren z kolby oraz długości łodygi i liści w porównaniu do wyników uzyskanych podczas stosowania systemu uproszczonego. Wartości współczynników determinacji przekraczające 50% wskazują, na zależność bardzo wysoce istotną. Systemy uprawy i lata doświadczenia nie miały wpływu na liczbę roślin na m^2 i liczbę kolb z rośliny. Wyższą zawartość azotu w ziarnie kukurydzy uzyskano w wyniku zastosowania systemu płuznego. Podsumowanie wyników i analiza ekonomiczna potwierdziły, iż uprawa płuzna jest bardziej czasochłonna, droższa i nieopłacalna.

Słowa kluczowe: systemy uprawy, kukurydza, plon ziarna, warunki meteorologiczne, analiza ekonomiczna.

9. Summary

The effect of modern tilling and sowing machinery used in direct cultivation on maize yield, soil properties and economic efficiency

Maize is a plant of great economic importance with a leading position in terms of cultivation worldwide. The literature on the subject and the results of studies raise much controversy over tillage systems of maize: ploughing or reduce tillage system. The study presented herein was conducted in the years 2020 and 2021 on two separate plots of an area of one hectare each. Maize was grown on light soil, loamy sand using two different tillage systems i.e., ploughing and reduced system. Depending on the adopted tillage system, the soil of both plots had been prepared for sowing and fertilizing. Following the pre-sowing fertilization, medium early variety of corn i.e., Pioneer P8307, FAO 230 AQUA MAX was sown. Herbicides and foliar nutrition in the form of spraying with macronutrients were applied. Throughout the period of plant development, the cultivation was under constant monitoring and the course of meteorological conditions was recorded. The experiment was repeated in an identical manner in the following year of the study. The following were assessed after harvesting: grain moisture and dry matter yield. The measurements of the biometric features of plants and the analysis of the chemical composition of maize grain were carried out. Higher yield of maize was obtained using ploughing tillage system in comparison with the reduced system. Additionally, the present study revealed a non-identical reaction to the adopted tillage systems depending on the year of the study. In 2020, the difference was found to be nonsignificant – not more than 1%, and the results were almost the same. In the second year of the experiment, the difference in yield favouring the ploughing system amounted to $0.67 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ which constituted approx. 11%. Higher maize yield was obtained in 2021 and the difference in average yield was $0.75 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ constituting approx. 13%. The year 2020 was drier, characterised by a large water deficit causing a considerable difference in yield as compared with 2021. The adoption of the ploughing system resulted in greater grain weight from a cob, higher number of grains from a cob as well as the length of stem and leaves in comparison with the results of the reduced system. The values of the coefficient of determination exceeding 50% show a very highly significant relationship. The tillage systems and the years of the experiment showed no effect on the number of plants per m^2 and the number of cobs from a plant. Higher content of nitrogen in maize grain was obtained with the ploughing system. The summary of the results and the economic analysis confirmed that the ploughing system is more time-consuming, more expensive and economically inefficient.

Keywords: tillage systems, maize, grain yield, meteorological conditions, economic analysis