

Raport z realizacji projektu „Maszyny Gryn – Innowacje w zakresie ulepszonych maszyn i technologii uprawy okopowych, zbóż i oleistych”

Warszawa, kwiecień 2025

W przygotowaniu raportu brali udział:

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Instytut Nowoczesnego Rolnictwa Sp. z o. o.

Gospodarstwo Rolne Marcin Gryn



Spis treści

1.	<u>Skład Konsorcjum</u>	4
2.	<u>Wstęp.....</u>	5
3.	<u>Cel projektu</u>	6
4.	<u>Właściwości gleb a wzrost roślin</u>	9
4.1.	<u>Właściwości chemiczne i fizyko-chemiczne.....</u>	9
4.2.	<u>Właściwości fizyczne</u>	15
5.	<u>Opis założeń metodycznych.....</u>	20
5.1.	<u>Charakterystyka doświadczeń polowych</u>	20
5.1.1.	<u>Położenie i warunki glebowe doświadczeń polowych.....</u>	20
5.1.2.	<u>Czynniki doświadczeń polowych</u>	25
5.2.	<u>Opis innowacyjnej maszyny uprawowej.....</u>	27
5.2.1.	<u>Założenia i budowa</u>	27
5.2.2.	<u>Wykorzystanie w uprawie ziemniaka.....</u>	28
5.2.3.	<u>Wielozadaniowość.....</u>	29
5.3.	<u>Agrotechnika ziemniaków w doświadczeniach polowych.....</u>	30
5.4.	<u>Badania w warunkach polowych i laboratoryjnych</u>	40
5.4.1.	<u>Skład granulometryczny</u>	47
5.4.2.	<u>Zasobność gleby w dostępne formy P,K,Mg oraz pH na różnych poziomach.....</u>	48
5.4.3.	<u>Zawartość azotu ogólnego.....</u>	49
5.4.4.	<u>Zasolenie</u>	49
5.4.5.	<u>Całkowita pojemność sorpcyjna i kationowa pojemność wymienna</u>	49
5.4.6.	<u>Zawartości materii organicznej</u>	50
5.4.7.	<u>Zwięzłość gleb.....</u>	50
5.4.8.	<u>Stabilność struktury gleby</u>	51
5.4.9.	<u>Wodno-powietrzne właściwości gleb</u>	57
5.4.10.	<u>Aktualna temperatura i wilgotność.....</u>	59
5.4.11.	<u>Badania roślin ziemniaka</u>	61
6.	<u>Wybrane wyniki badań.....</u>	73
6.1.	<u>Właściwości chemiczne i fizyko-chemiczne.....</u>	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
6.2.	<u>Właściwości fizyczne gleb</u>	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
	<u>Podsumowanie</u>	103
	<u>Rekomendacja dalszych działań.....</u>	105

1. Skład Konsorcjum

2. Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
3. Instytut Nowoczesnego Rolnictwa Sp. z o. o.
4. Gospodarstwo Rolne Marcin Gryn
5. Gospodarstwo Rolne Ireneusz Herc
6. Gospodarstwo Rolne Adam Herc
7. Gospodarstwo Rolne Iwona Herc
8. Gospodarstwo Rolne Marek Ciurysek
9. Gospodarstwo Rolne Monika Herc-Cooper

10. Wstęp

Ziemniaki obok zbóż i roślin bobowatych, są podstawową rośliną wykorzystywaną w żywieniu człowieka. Odgrywają zatem kluczową rolę w zapewnieniu bezpieczeństwa żywnościowego. Dowodem tego są wyniki jednostki analitycznej IndexBox, która prognozuje wzrost światowej konsumpcji ziemniaków o 1,5% rocznie. Polska należy do czołówki krajów, biorąc pod uwagę spożycie ziemniaków na osobę. Dane Głównego Urzędu Statystycznego oraz Państwowej Inspekcji Ochrony Roślin i Nasiennictwa, sprawującej ścisłą kontrolę nad uprawą ziemniaka, jednoznacznie wskazują na spadek powierzchni uprawy ziemniaka w Polsce. Jedynym z czynników, który zniechęca producentów do uprawy ziemniaka, są zmiany klimatyczne, które czynią produkcję ziemniaka jadalnego coraz bardziej wymagającą. Głównym czynnikiem decydującym o plonie oraz jakości ziemniaka jest woda. Wpływa bowiem ona bezpośrednio na ilość i wielkość bulw ziemniaka, ale także na rozpuszczalność i pobieranie składników pokarmowych, które są niezbędne w procesie tuberyzacji oraz wzrostu bulw. Ziemniaki, mimo iż są to rośliny okopowe, wodę oraz składniki pokarmowe czerpią poprzez rozbudowany wiązkowy system korzeniowy. Niedobór wody, skutkować może występowaniem parcha ziemniaka, który czyni go nieatrakcyjnym w oczach konsumenta oraz wzbudza jego niepokój. Często ziemniaki porażone parchem, ze względu na ich walory estetyczne nie są kupowane przez konsumentów, co przyczynia się do marnotrawienia żywności. Jednym z rozwiązań wykorzystywanych dotychczas przez producentów ziemniaka jest stosowanie systemów nawadniania. Jednakże, za dużą wadę tych systemów należy uznać fakt, że zużywane są gigantyczne ilości wody, często zdatnej do picia oraz występują jej duże straty do atmosfery, ze względu na parowanie. Nawadnianie powierzchniowe wpływa także bardzo negatywnie na strukturę gleby oraz może przyczyniać się do jej erozji wodnej, szczególnie w uprawach szeroko rzędowych, a do takich należy uprawa ziemniaka. Co więcej utrzymywanie wysokiej wilgotności przy powierzchni gleby, w obrębie części nadziemnych ziemniaka, może przyczyniać się do silnej presji ze strony chorób grzybowych. Jednym ze sposobów pozwalających poradzić sobie, z problemem niedostatecznej ilości wody, może być stworzenie jak najlepszych warunków do wytworzenia przez ziemniaki, głębokiego systemu korzeniowego, zdolnego czerpać wodę z głębokich warstw gleby, nienarażonych na suszę.

Jednym ze sposobów na stymulację systemu korzeniowego do głębokiej penetracji profilu glebowego mogłoby być głębokie spulchnianie gleby, połączone z nawożeniem wgłębnym na głębokość nawet 50 cm. Dzięki temu wytworzony depozyt składników pokarmowych na znacznej głębokości, może stymulować system korzeniowy do podążania w głąb profilu glebowego. Na głębokości 50 cm, gleba posiada względnie stałą wilgotność, nie

ulega przesuszeniu oraz stwarza odpowiednie warunki do rozpuszczenia nawozów i wejścia składników pokarmowych do kompleksu sorpcyjnego. Może się to przełożyć także na znaczne ograniczenie zużycia nawozów mineralnych, co ma niebagatelne znaczenie biorąc pod uwagę założenia Europejskiego Zielonego Ładu, zakładającego produkcję rolną w zdrowy i przyjazny środowisku sposób.

Operacja w działaniach projektu zakładała wytworzenie innowacji w postaci maszyny do głębokiego spulchniania oraz nawożenia gleby, formującej ostateczne redliny ziemniaków. Innowacyjna maszyna uprawowa umożliwia głębokie spulchnianie jednocześnie w sposób mało intensywny oddziałujący na naturalny układ gleby. Takie podejście do uprawy roli sprzyja rozwojowi trwałej struktury gleby, wspiera gromadzenie zasobów materii organicznej oraz wody w glebie w porównaniu do uprawy płużnej, a także zapobiega powstawaniu chorób gleby, takich jak podeszwa płużna, zagęszczenie warstwy podornej, czy tendencja gleb do zaskorupiania się.

11.Cel projektu

Projekt miał na celu opracowanie i wdrożenie ulepszonych maszyn rolniczych do bezorkowej uprawy ziemniaka, zbóż oraz oleistych. Głównym celem operacji było wytworzenie innowacji technologicznej w postaci innowacyjnej maszyny o modułowej budowie z wielozadaniowym przeznaczeniem, a także innowacji technologicznych związanych z technologią spulchniania, nawożenia i formowania redlin ziemniaka w jednym przejeździe po jego wysadzeniu do gleby, w celu poprawy wyników gospodarczych oraz poziomu innowacyjności procesu produkcji ziemniaka, zwiększenie ochrony środowiska poprzez polepszenie efektywności wykorzystania nawozów mineralnych oraz ograniczenie ich wymywania z gleby, a także łagodzenie zmian klimatu. eliminując jednostkowość prowadzonych zabiegów, które dzięki modułowości maszyny wykonywane są jednocześnie.

Ulepszona innowacja technologiczna polegała na wytworzeniu innowacyjnej technologii uprawy i nawożenia ziemniaka. Przy jej realizacji wykorzystano innowacyjną maszynę, którą stworzono w ramach operacji. Technologia zakładała wysadzenie sadzeniaków i w momencie ich kiełkowania, wjazd ciągnikiem ze specjalną maszyną, która spulchniała glebę w międzyrzędziach bez jej odwracania i przesuszania, za pomocą specjalnych redlic, z jednoczesną aplikacją nawozów w głąb profilu glebowego, do głębokości 50 cm, a także formowaniem redlin w jednym przejeździe, dzięki czemu po uformowaniu redlin, gleba była pulchna i umożliwiała bujny rozwój systemu korzeniowego w redlinie i pionowo w głąb gleby.

Aplikacja nawozów mineralnych pozwoliła w taki sposób stymulować system korzeniowy roślin oraz wspierać parametry gleby, które wspierają kształtują fizyczną jakość gleby i wspierają gromadzenie wody.

Dzięki wprowadzaniu wytworzonej w ramach innowacyjnej technologii na pola uprawne i konsekwentnemu stosowaniu jej w kolejnych latach w znacznym stopniu będzie możliwe ograniczenie, a być może całkowite zaniechanie tradycyjnego nawadniania ziemniaka, które powoduje, niszczenie struktury gleby, erozję wodną, a także duże straty wody związane z parowaniem. Erozja z kolei pociąga za sobą straty składników pokarmowych z gleby oraz zanieczyszczenie wód. Podanie nawozu w odpowiednim miejscu i w odpowiedni sposób, pozwoli na znaczne ograniczenie strat składników pokarmowych, co przekłada się na większą ich efektywność, a to oznacza redukcję dawek nawozowych. Wiąże się to z pozytywnym oddziaływaniem na środowisko naturalne oraz ma niebagatelne znaczenie w odniesieniu do wyczerpujących się światowych złóż fosforu. Lepsze wykorzystanie składników pokarmowych i mniejsze dawki nawozowe pozwolą ograniczyć zasolenie gleb, którego problem będzie narastał z coraz częściej występującymi okresami susz, gdyż nie występuje wypłukiwanie soli z gleb. Zaaplikowanie nawozów na głębokość do 50 cm, gdzie gleba pozostaje w optymalnej wilgotności przez większość dni w roku, pozwoli na lepsze wejście składników pokarmowych do kompleksu sorpcyjnego i przejście do form przyswajalnych przez rośliny. Dobrze spulchniona gleba oraz dobra dostępność składników pokarmowych, przyczynią się do lepszej efektywności produkcji przez niższe nakłady na produkcję, lepsze plony oraz stabilniejsze plonowanie w wieloleciu.

Prowadzone w ramach projektu badania gleb i roślin ziemniaka umożliwiły poznanie wpływu wytworzonej w ramach projektu innowacyjnej technologii na wybrane elementy żyzności i zdrowia gleb oraz rozwój i plonowanie ziemniaków. Uzyskane wyniki mają dużą wartość dydaktyczną oraz naukową i mogą być podstawą publikacji popularnonaukowych, jak i naukowych.



Zdjęcie 2. Uformowane redliny na polu ziemniaków



Zdjęcie 2. Marcin Gryn na polu doświadczalnym

12. Właściwości gleb a wzrost roślin

12.1. Właściwości chemiczne i fizyko-chemiczne

Informacje na temat odczynu (pH gleby) oraz zawartości poszczególnych makroskładników, mają fundamentalne znaczenie dla upraw i optymalnego wykorzystania potencjału hodowlanego roślin. Prawidłowe określenie ilości dostępnych składników pokarmowych oraz potrzeb roślin pozwala zbilansować nawożenie dla najbardziej wymagających gatunków, do jakich należy między innymi ziemniak. Ze wszystkich czynników agrotechnicznych wpływających zarówno na ilość, jak i jakość bulw, najistotniejsze, poza nawodnieniem, jest nawożenie roślin ziemniaka. Mając na uwadze ten zabieg agrotechniczny, ważny jest rodzaj stosowanego nawożenia, skład chemiczny, termin podania nawozu oraz sposób aplikacji: wgłębny, pogłówny czy też dolistny. Odporność roślin ziemniaka na czynniki chorobotwórcze oraz stres wodny są ściśle uzależniona od dostępności fosforu, potasu i azotu w podłożu. Analizy gleb uprawnych mają również znaczenie środowiskowe - pozwalają zapobiec przenawożeniu gleby i dostawianiu się fosforanów oraz azotanów do wód powierzchniowych i podziemnych.

Utrzymanie optymalnego odczynu - pH dla danej kategorii agronomicznej gleby jest najistotniejszą kwestią, ponieważ rozpuszczalność i dostępność dla roślin składników pokarmowych zależy w dużym stopniu od odczynu gleby. W warunkach zakwaszonej gleby oraz jej niskiej zasobności w wapń, nawet nieznaczne przekroczenie dawki potasu, może powodować znaczący wzrost pobierania tego składnika przez rośliny. Nadmiar potasu jest szczególnie niekorzystny w odniesieniu do roślin przeznaczonych do konsumpcji oraz przemysłu spożywczego. Uregulowany odczyn środowiska glebowego z uwagi na korzystny wpływ na strukturę gleby przyczynia się do lepszej jej przewiewności, przez co przeciwdziała niekorzystnym procesom denitryfikacji, które prowadzą do strat azotu. Odczyn wpływa na dostępność dla roślin bardzo ważnego składnika pokarmowego - fosforu. Fosfor w glebie występuje głównie w postaci fosforanów żelaza, glinu, wapnia i magnezu oraz częściowo w związkach organicznych. Fosforan żelaza i glinu w odczynie kwaśnym są prawie nierozpuszczalne. Podwyższenie pH powoduje stopniowe uruchomienie przyswajalnego fosforu, a tym samym zwiększenie wykorzystania go z nawozów, jak również z gleby. Dodatkowo wykorzystanie potasu oraz magnezu jest silnie skorelowane z odczynem gleby. Spośród wymienionych parametrów to pH jest najważniejszym czynnikiem środowiskowym wpływającym na występowanie i liczebność bakterii z rodzaju *Azotobacter*. Mają one zdolność

do wiązania wolnego azotu atmosferycznego i udostępniania go roślinom wyższym w formie przyswajalnej, oraz produkcji substancji stymulujących wzrost i rozwój roślin, a także zdolności do produkcji związków hamujących rozwój patogenów, co ma kluczowe znaczenie w dobie ograniczania stosowania nawozów sztucznych i pestycydów w rolnictwie.

Zawartość dostępnych dla roślin makroskładników fosforu-P, potasu-K i magnezu-Mg oraz azotu-N ma krytyczne znaczenie dla wzrostu oraz rozwoju roślin i w konsekwencji ich plonowania.

Azot to makroelement występujący w roślinie w największej ilości. Racjonalne nawożenie ziemniaka azotem, przy korzystnych warunkach uprawy, wpływa pozytywnie na rozwój nadziemnych części rośliny, wzrost i różnicowanie bulw oraz ich skład chemiczny. Według badań dawka 1 kg N/ha powoduje zwiększenie plonu bulw o 70 kg/ha. Dodatkowo, negatywny wpływ dużych dawek azotu może być skompensowany działaniem fosforu, pod warunkiem zachowania odpowiedniej proporcji między pierwiastkami (N:P – 1:1). Niedożywienie roślin ziemniaka tym pierwiastkiem skutkuje natomiast ciemnieniem miąższu i paskowatością bulw. Ogólna zawartość azotu w glebie dotyczy azotu organicznego (jest on związany z substancją organiczną gleb) oraz mineralnych form azotu (azotanowej i amonowej). Największa koncentracja azotu w mineralnych glebach uprawnych występuje w poziomie próchnicznym, poniżej tego poziomu drastycznie spada. W warstwie ornej gleb uprawnych Polski zawartość całkowita azotu wynosi od 0,02 do 0,035%, z czego tylko niewielka jego część występuje w związkach nieorganicznych dostępnych dla roślin, stąd konieczność nawożenia upraw azotem mineralnym. Azot odgrywa kluczową rolę jako materiał budulcowy białek, wpływa na wzrost części nadziemnych i korzeni roślin, odpowiada za zieloność roślin, a także reguluje pobieranie składników pokarmowych – potasu, fosforu i innych. Analiza zawartości azotu w warstwie uprawnej jest uzasadniona do oceny żyzności gleby i charakterystyki gleby w uprawie ziemniaka. Niedostateczne lub nadmierne stosowanie azotu oraz jego zbyt wczesne lub zbyt późne zastosowanie niekorzystnie wpływa na wytwarzanie bulw. Niedobór tego makroelementu zmniejsza wzrost i plon roślin, zaś jego nadmiar – stymuluje wzrost pędów, opóźnia tworzenie się bulw, zmniejsza ich masę oraz skraca czas ich przechowywania. Azot to makroelement występujący w roślinie w największej ilości.

Odporność roślin ziemniaka na czynniki chorobotwórcze oraz stres wodny są ściśle uzależniona od dostępności fosforu i potasu w podłożu. Składniki te mają bezpośredni wpływ zarówno na tworzenie, jak i magazynowanie białka i skrobi w bulwach. Ziemniaki to gatunek, który charakteryzuje się wysokimi wymaganiami względem zaopatrzenia w fosfor, konsekwencją niedoborów jest ograniczanie rozwoju systemu korzeniowego przy jego

niedostatecznym zaopatrzeniu, skutkuje to w dalszym etapie mniejszą odpornością na krótkotrwałe niedobory wody oraz ograniczonym pobieraniem pozostałych składników z roztworu glebowego. Fosfor i potas mają bezpośredni wpływ zarówno na tworzenie, jak i gromadzenie białka i skrobi w bulwach. Fosfor to pierwiastek odpowiedzialny za jakość ziaren skrobiowych. Jakość bulw uzależniona jest natomiast od dostępności potasu. Brak dostępności dla roślin potasu, pierwiastka będącego składnikiem odpowiedzialnym za tuberyzację bulw, prowadzi do zmniejszenia nie tylko plonu ziemniaków, ale również zawartości skrobi w bulwach. Zawartość tego sacharydu w suchej masie wzrasta wraz ze zwiększeniem dawki potasu, co wskazuje, że składnik ten sprzyja syntezie skrobi. Przenawożenie potasem objawia się zaś zmniejszeniem zawartości suchej masy i skrobi w bulwach.

Wysoka jakość plonów uzależniona jest od dostępności magnezu. Magnez jest obecny w każdej cząsteczce chlorofilu, przez co odgrywa ważną rolę w fotosyntezie. Makroskładnik ten ma działanie antystresowe i pozwala roślinie łatwiej radzić sobie z niekorzystnymi warunkami, jak zbyt wysoka lub zbyt niska temperatura, okresowe niedobory wody. Niedobór magnezu często występuje na glebach lekkich, kwaśnych o niskim poziomie zawartości materii organicznej oraz przenawożonych potasem, gdyż te dwa pierwiastki oddziałują na siebie antagonistycznie. Dlatego tak istotne jest prawidłowe zbilansowanie nawożenia wszystkimi makroskładnikami i ich aplikacja.

Badanie fosforu, potasu i magnezu jest niezbędnym elementem przeprowadzanej operacji, ponieważ optymalna zasobność warstw gleby w składniki odżywcze będzie warunkowała uzyskanie wiarygodnych i reprezentatywnych wyników, co może mieć przełożenie na osiągnięte rezultaty. Innowacyjna aplikacja magnezu w trakcie wegetacji ziemniaka w głębszych warstwach gleby pozwoli na lepsze wykorzystanie pozostałych makroelementów, poprawi gospodarkę wodną oraz ochroni rośliny złagodzi objawy stresu w przypadku wystąpienia nagłych skoków temperatur, okresowych niedoborów wody czy presji ze strony agrofagów.

Zasolenie gleby wpływa na fizyczne, chemiczne i biologiczne właściwości gleb. Obecność nadmiernych ilości sodu niszczy grudkowatą strukturę i zwiększa nieprzepuszczalność głęboko położonych warstw gleby. Występujące w nadmiarze w profilu glebowym aniony: azotowe, chlorkowe, siarczanowe oraz kationy: sodu, potasu, glinu, żelaza oraz kwaśne węglany sodu, potasu i magnezu pogarszają jej fizykochemiczne właściwości. Zmniejszenie przesiąkalności i podsiąkliwości może powodować zbytnią alkalizację gleby, która powoduje występowanie różnych chorób u ziemniaka, chociażby takiej jak parch. Zjawisko nadmiernego stężenia soli, zasolenia gleby, zakłóca rozwój roślin, ograniczając

pobieranie składników pokarmowych i wody. Przy dużym zasoleniu gleby występuje tzw. susza fizjologiczna która oznacza brak możliwości pobierania wody przez roślinę, mimo iż woda znajduje się w glebie. Początkowymi objawami zasolenia gleby jest niebieskawo zielone zabarwienie liści roślin, następnie brunatnienie i zasychanie oraz pojawienie się chlorozy i nekroz na liściach, a nawet może nastąpić opadanie liści. Łodygi roślin stają się kruche i łatwo podlegają uszkodzeniu. Pokrój roślin jest strzelisty o skróconych międzywęźlach oraz słabo rozwinięty system korzeniowy roślin, co w przypadku ziemniaka ogranicza możliwości pobierania wody i składników pokarmowych i u większości roślin wpływa na obniżenie plonu oraz powoduje niekorzystne zmiany w jego strukturze: następuje zdrobnienie ziemniaków i spadek plonu handlowego oraz zmniejszenie liczby bulw. Oddziaływanie nadmiaru soli występujących w roztworze glebowym przyczynia się do pojawiania stresu jonowego u roślin. Prowadzi to do obniżenia zdolności kiełkowania, asymilacji CO₂, czyli w rezultacie hamuje wzrost roślin. Gleba słona to taka, która do głębokości 100 cm ma warstwy zawierające nadmiar soli bardziej rozpuszczalnych w zimnej wodzie niż gips.

Kationowa pojemność wymienna, oznaczana jako PWK (Pojemność Wymiany Kationów) jest częścią kompleksu sorpcyjnego gleb i dostarcza informacji o wymiennej sorpcji kationów z roztworu glebowego, co jest bardzo ważną cechą gleby decydującą o jej żyzności. Kationowa pojemność wymienna gleb odnosi się do ilości ładunków ujemnych obecnych na powierzchni cząstek fazy stałej gleby. Jej wielkość wskazuje na potencjał gleby do zatrzymywania składników pokarmowych dostępnych dla roślin, poprzez oszacowanie ogólnych zdolności gleby do zatrzymywania kationów, czyli dodatnio naładowanych jonów pierwiastków. Kationy są to dodatnio naładowane jony obecne w roztworze glebowym (Ca²⁺, NH₄⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, itd.). Pojemność wymiany kationów definiuje się jako całkowitą ilość kationów w miliekwiwalentach, zatrzymywanych przez określone składniki fazy stałej gleby poprzez przyciąganie elektrostatyczne, które mogą być wymieniane z kationami znajdującymi się aktualnie w roztworze glebowym. Wysycenie kompleksu sorpcyjnego zasadami oblicza się na podstawie sumy kationów zasadowych (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ i Na⁺) utrzymywanych w danej glebie aktualnie w miejscach wymiany, która jest podzielona przez całkowitą pojemność kompleksu sorpcyjnego i wyrażona w procentach.

Kationowa pojemność wymienna konkretnej gleby zależy od trzech głównych czynników: zawartości i charakteru frakcji ilastej (zależy od składu granulometrycznego gleb) oraz od zawartości glebowej materii organicznej (MOG) i pH. Z tego powodu pojemność wymiany kationów różni się między glebami i może wahać się od niemal 0 (gleby bardzo lekkie i ubogie w materię organiczną) do 50 meq/100g gleby (gleby cięższe zazwyczaj bogatsze

w materię organiczną). Ilość kationów w miejscach wymiany będzie ograniczona, gdy pH gleby spadnie lub stanie się bardziej kwaśne z powodu zwiększonej ilości jonów H^+ w miejscach wymiany w roztworze glebowym. Te różnice między glebami wskazują, że kationowa pojemność wymienna gleby powinna bezpośrednio wpływać na decyzje rolnika dotyczące ilości, sposobu i częstotliwości stosowania nawozów w gospodarstwie i powinna być uwzględniana przy zarządzaniu nawożeniem różnych gleb. Na przykład zalecane praktyki wapnowania i nawożenia będą różne dla gleb o bardzo różnych zdolnościach wymiany kationów. Należy się spodziewać, że gleby o wysokiej pojemności względem kationów i wysokiej pojemności buforowej zmieniają pH znacznie wolniej przy normalnym zarządzaniu niż gleby o małej pojemności sorpcyjnej. Dlatego też gleby o wysokiej pojemności sorpcyjnej względem kationów (gleby cięższe) nie muszą być wapnowane tak często, jak gleby o małej pojemności sorpcyjnej, do których zalicza się gleby lżejsze. Jednak nadmierne zakwaszenie gleb o lepszej pojemności sorpcyjnej wymaga wyższych dawek wapna, aby przywrócić optymalne pH. Kationowa pojemność wymienna gleb powinna być również brana pod uwagę przy planowaniu nawożenia potasowego czy azotowego, gdyż wpływa na zdolność gleb do zatrzymywania tych składników i daje informacje o możliwości ich wymywania z nawiezionej warstwy. Na przykład w przypadku gleb o niskiej pojemności sorpcyjnej względem kationów (<5) może nastąpić częściowe ich wymywanie i wnoszenie do takich gleb zbyt dużych dawek jonów amonowych czy potasowych może spowodować pewne wymywanie tych składników poniżej strefy korzeniowej, szczególnie w przypadku gleb piaszczystych lub z podglebiem o małej pojemności sorpcyjnej. Natomiast gleby o wysokiej pojemności sorpcyjnej są mniej podatne na wymywanie składników pokarmowych i w ich przypadku zarządzanie nawożeniem i uprawą gleby może być odmienne. Na takich glebach możliwie jest jesienne stosowanie nawozów azotowych i potasowych. Na glebach cięższych duże znaczenie we wpływie na warunki wzrostu roślin może odgrywać odpowiednie spulchnienie ryzosfery i prawidłowy drenaż gleby. Sam stosunek kationów względem siebie i ich wpływ na wysokość i jakość plonów roślin oraz jakość gleby jest obiektem badań naukowych które wskazują, że wysokie wysycenie kompleksu sorpcyjnego kationami wapnia wpływa korzystnie na strukturę gleby i jej właściwości wodno-powietrzne, takie jak przewodność hydrauliczna. Badania wskazują również, że stosunek jonów $Mg:K$ w glebie powinien wynosić co najmniej 2:1, by zagwarantować odpowiednie plony i skład mineralny zielonek. Zagadnienia stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami i ich wpływu na system gleba-roślina w uprawie ziemniaka oraz stosowanej uprawy i nawożenia wymagają ciągłe rozpoznania.

Poziom zawartości substancji organicznej określany jest jako jeden z filarów żyzności gleby i kluczowy element budowania zdrowia gleb. Determinuje on szereg procesów biologicznych i właściwości fizykochemicznych w glebie, między innymi: aktywność mikroorganizmów glebowych, tworzenie trwałych agregatów glebowych, tworzenie struktury gruzełkowatej, porowatość gleby i zdolność magazynowania wody. Materia organiczna ogranicza zaskorupianie się gleby i posiada właściwości buforujące, pozwalając na zapobieganie przed wymywaniem składników pokarmowych oraz spowalniając tempo zakwaszania gleby. Wysoki udział substancji organicznej w glebie, przyczynia się do rozluźnienia struktury gleb ciężkich oraz poprawy struktury gruzełkowatej gleb lekkich. Jak pokazują wyniki badań - 1 g próchnicy glebowej jest w stanie zmagazynować pięciokrotnie więcej wody niż sam waży, poprawiając tym samym retencję gleb. Parametr ten nabiera szczególnego znaczenia przy występujących coraz częściej na przestrzeni wielolecia okresach posuchy oraz nawałnych opadach deszczu, gdyż zdolności chłonne gleby ulegają znacznej poprawie. Na materię organiczną składają się świeże resztki poźniwne, kwasy humusowe i huminy budujące przeobrażoną materię organiczną – próchnicę (humus), obumarłe tkanki roślin i zwierząt w różnym stadium rozkładu oraz nieswoiste substancje organiczne. W wyniku mineralizacji materii organicznej znaczna część składników zostaje uwolniona w formach łatwo przyswajalnych dla roślin, aby jednak do tego doszło, kluczowe jest zapewnienie optymalnego poziomu pH i dostarczeniu azotu mineralnego, który jest motorem napędowym dla bakterii biorących udział w mineralizacji i humifikacji substancji organicznej. Okres najintensywniejszego rozkładu resztek poźniwnych przypada na miesiące letnie: lipiec/sierpień, a więc szczyt zapotrzebowania ziemniaka na składniki pokarmowe w tym azot. Poziom zawartości próchnicy w glebie jest decydujący pod względem stabilizacji struktury gleby oraz zwiększeniu odporności agregatów glebowych na rozmywające działanie wody. Gleba o wysokiej zawartości próchnicy jest mniej podatna na konsolidację gleby przez poruszające się na niej maszyny rolnicze, dodatkowo zakres optymalnej wilgotności jest znacznie szerszy, pozwalający na wydłużenie okienek zabiegowych.. Gleby zasobne w humus wykazują mniejszą podatność na erozję wietrzną i wodną, co ma kluczowe znaczenie w uprawie ziemniaka, gdzie gleba jest wystawiona bezpośrednio na oddziaływanie czynników atmosferycznych, przez większą część roku, aż do momentu pełnego zakrycia redlin który zachodzi na przełomie czerwca i lipca. Zmienność zawartości materii organicznej determinuje w glebie jej skład granulometryczny, poziom nawożenia organicznego, rodzaj skały macierzystej, tempo mineralizacji, rodzaj uprawy oraz stosowany płodozmian lub jego brak. Gleby na większości terenu kraju charakteryzują się niskim poziomem próchnicy, natomiast

ziemniak jako roślina okopowa wymaga gleb pulchnych, próchnicznych, łatwo nagrzewających się, o korzystnych stosunkach wodno-powietrznych, stąd też wynika niezbędność przeprowadzenia badań na zawartość materii organicznej w glebach uprawnych. Przeprowadzenie badania jest niezwykle istotne pod kątem oceny potencjału gleby do absorpcji wody składników pokarmowych. Co więcej, oznaczenie zawartości materii organicznej pozwala oszacować potencjalną ilość składników pokarmowych, które zostaną uwolnione w procesie mineralizacji i humifikacji co zostanie dalej uwzględnione w sporządzaniu bilansu nawozowego dla uprawy ziemniaka. Ilość materii organicznej w glebie odpowiada również za przyswajalność dostarczonych składników z nawozów sztucznych i w znacznym stopniu wspomaga ich pobieranie. Dodatkowo wpływa na rzeczywisty stan zdolności sorpcyjnych gleby.

12.2. Właściwości fizyczne

Właściwości fizyczne gleby wpływają na jej urodzajność i sposób użytkowania, dobór maszyn i narzędzi do uprawy. Kluczową właściwością fizyczną gleb uprawnych jest skład granulometryczny. Większość właściwości gleb jest warunkowane stanem rozdrobnienia części mineralnej stałej fazy gleby, co znacznie wpływa na wartość użytkową gleby. Poznanie składu granulometrycznego gleb umożliwia prawidłowe ustalenie potrzeb nawożenia, a z naukowego punktu widzenia jest niezbędne do interpretacji wyników badań różnych gleb. Jego właściwości mają wpływ na czynniki takie jak: możliwość buforowania pH, zawartość materii organicznej, napowietrzenie, infiltracja, przesiąkliwość wody, podatność na erozję oraz zdolności sorpcyjne i możliwość wymiany kationów. To wszystko uzależnione jest od wielkości cząstek mineralnych jakie znajdują się w glebie i ich procentowego udziału w masie gleby. Gleby o przewadze udziału dużych cząstek (jak frakcja pisaku) mogą wykazywać się lepszym odprowadzeniem wody w przeciwieństwie do gleb zbudowanych głównie z cząstkach o małych średnicach, jednak wykazują mniejsze zdolności sorpcyjne czy zdolność gromadzenia materii organicznej i wody. Gleby, których skład granulometryczny charakteryzuje się większym udziałem frakcji drobnych (jak drobny pył czy frakcja ilasta), są z natury znacznie mniej nieprzepuszczalne dla wody i powietrza, jednak posiadają lepsze zdolności sorpcyjne czy buforowe. Nadanie glebom odpowiedniej struktury może poprawić niektóre mankamenty wynikające ze zbyt lekkiego czy zbyt ciężkiego składu granulometrycznego. Ma to duże znaczenie podczas wytwarzania innowacji dotyczącej uprawy, ponieważ posiadanie

precyzyjnych map o kondycji i charakterystyce gleby może pomóc w podejmowaniu optymalnych decyzji w zakresie wytwarzania ulepszonej technologii.

Uprawa gleby ma na celu stworzenie roślinom jak najkorzystniejszych warunków do wzrostu i rozwoju poprzez wykonanie zabiegów polegających na jej odwracaniu, kruszeniu lub mieszaniu. Nadmierna zwięźłość gleby może prowadzić nawet do 10% spadku plonów oraz spadku jakości wód powierzchniowych i gleby ze względu na zwiększenie tzw. spływu powierzchniowego i degradację struktury gleby. Występują dwie formy ubicia gleby: powierzchniowa i podpowierzchniowa. Ubiecie powierzchniowe prowadzące do wzrostu zwięźłości można eliminować w normalnym procesie orki, jednak warstwy ubitej gleby pod powierzchnią (poniżej warstwy ornej) pozostają nienaruszone. Częściowym rozwiązaniem w niektórych przypadkach mogą być zabiegi głęboszowania. Uproszczenia uprawowe są alternatywą dla uprawy tradycyjnej w zakresie redukcji kosztów i nakładów pracy. Zastępowanie tradycyjnych zabiegów uprawowych innymi, mniej energochłonnymi niesie także korzyść w postaci zmniejszenia ryzyka erozji gleby, a także poprawy właściwości fizycznych i chemicznych gleby. Jednym z głównych zagrożeń wynikających ze stosowania uproszczeń w uprawie gleby jest jej nadmierna zwięźłość. Jest ona skutkiem zaniechania głębokiej uprawy spulchniającej, jaką jest orka i może prowadzić do pogorszenia warunków rozwoju systemu korzeniowego roślin, a w efekcie przyczynić się do obniżenia plonów. Zwięźłość gleby wskazuje na stopień związania poszczególnych cząsteczek glebowych ze sobą, dzięki czemu gleba stawia większy lub mniejszy opór przy próbach jej rozcięcia lub rozklinowania, np. przy pracy pługiem czy innymi narzędziami uprawowymi. Zwięźłość zależy od zawartości próchnicy, struktury, zawartości CaCO_3 , wilgotności gleby oraz uprawianych roślin. Miarą zwięźłości jest spójność. Wyróżniamy następujące rodzaje gleb: gleby zwięzłe (wytworzone z ilów glin ciężkich), gleby średnio zwięzłe (wytworzone z glin lekkich, piasków gliniastych mocnych, utworów pyłowych), gleby słabo zwięzłe (wytworzone z piasków gliniastych lekkich, słabo gliniastych piasków pylastych), gleby luźne (wytworzone ze żwirów i piasków).

Jedną z kluczowych właściwości gleby wpływającą na jej jakość produkcyjną jest dobrze rozwinięta stabilna (gruzełkowata) struktura gleby. Odpowiednio uprawiana rola ma strukturę, która stwarza niezbędną przestrzeń dla organizmów żyjących w glebie, zapewnia sprawność warstwy ornej - stwarza korzystne warunki kiełkowania nasion i prawidłowego rozwoju systemu korzeniowego roślin, a ponadto nie ulega łatwemu zniszczeniu pod wpływem czynników niszczących jak uprawa, oddziaływanie wody czy wiatru. Gleba bez struktury gruzełkowatej jest trudna w uprawie, zbryla się i łatwiej zakwasza, łatwo rozlasowuje się pod

wpływem opadów deszczu czy nawadniania powierzchniowego. Charakterystyczną cechą struktury gruzełkowej gleb uprawnych jest występowanie kulistych agregatów o chropowatej powierzchni i znacznej porowatości, zwanych gruzełkami. Spoiwem, które zlepia ziarna glebowe i drobne agregaty, jest materia organiczna gleb (różne jej frakcje) i minerały ilaste, jony dwuwartościowe np. wapnia, strzępki grzybni oraz wydzieliny organizmów glebowych i korzeni rosnących roślin. Do powstawania struktury gruzełkowej przyczyniają się również naprzemienne nawilgacanie i wysychanie, pęcznienie i kurczenie, zamarzanie i rozmarzanie gleby, obecność fauny glebowej, zwłaszcza dżdżownic, a także fizyczne oddziaływanie rozwijających się korzeni roślin. To właśnie zmiany wywołane wpływem przebiegu pogody, agrotechnika, odpowiednia ilość lepiszczy organicznych i mineralnych i uprawa roślin wpływają na zmiany struktury w okresie wegetacji. Podczas wykonywania każdego zabiegu uprawowego dochodzi do zniszczenia pewnej ilości agregatów i wytworzenia innych. Generalnie uważa się, że im mniej intensywna jest uprawa roli, tym lepszy jest stan struktury gleby (agregaty są w mniejszym stopniu mechanicznie niszczone, tempo mineralizacji materii organicznej jest wolniejsze oraz mniejsza presja wywierana jest na organizmy glebowe, odgrywające istotną rolę w tworzeniu i stabilizacji struktury gleb uprawnych). Najkorzystniejsze właściwości fizyczne posiadają gleby, w których przeważają agregaty o średnicy 1-10 mm. Duża ilość bardzo drobnych agregatów świadczy o nadmiernie rozpylającym działaniu narzędzi roboczych, z kolei duży udział w glebie większych agregatów świadczy o niedostatecznym kruszeniu gleby podczas wykonywania zabiegów agrotechnicznych, co przekłada się na słabsze kiełkowanie, gorsze wschody, a co za tym idzie niższe od oczekiwanych plony. Warstwa uprawna o dobrych właściwościach fizycznych ma zawsze zróżnicowany skład agregatów i charakteryzujących się dobrą stabilnością w wodzie.

Zdolność do zatrzymywania wody w glebie jest bardzo istotna, aby zoptymalizować produkcję roślinną oraz przystosować produkcję roślinną do zmian klimatu. Zdefiniowana zdolność zatrzymywania wody w glebie to ilość wody, jaką dana gleba może zmagazynować do wykorzystania przez rośliny. Połowa pojemność wodna gleby to punkt, w którym zdolność zatrzymywania wody w glebie osiągnęła swoje maksimum na całym polu. Celem, który należy osiągać jest utrzymanie połowej pojemności wodnej na poziomie możliwe najwyższym dla danej gleby. W przypadku niedoboru wody w glebie i istotnego spadku jej aktualnej wilgotności w stosunku do wartości połowej pojemności wodnej danej gleby profil glebowy należy uzupełnić nawadnianiem, co będziemy stosować w naszym przypadku. Połowa pojemność wodna gleb jest to określona ilość wody, jaką może zatrzymać gleba na dłuższy czas wbrew sile grawitacji w ściśle określonych warunkach, uzależniona jest zatem od potencjału wiązania

wody przez glebę. Przy oznaczaniu właściwości retencyjnych gleby oznacza się między następujące pojemności wodne: Kapilarna pojemność wodna (KPW) odpowiada procentowej zawartości wody, jaka może być zatrzymana w drobnych przestworach kapilarnych gleby w których działają na wodę siły kapilarne odpowiadające za zatrzymywanie wody w kapilarach oraz podsiąk kapilarny ponad lustro wody. Połowa pojemność wodna (PPW) to ilość wilgoci w glebie lub zawartość wody w glebie po odprowadzeniu nadmiaru wody i zmniejszeniu szybkości jej ruchu w dół (po odcieknięciu wody grawitacyjnej). Taki stan uwilgotnienia gleby ma zwykle miejsce 2-3 dni po silnym deszczu lub nawadnianiu w glebach przepuszczalnych o jednolitej strukturze i teksturze. Z punktu siły ssącej gleby jest to procentowa zawartość wody odpowiadająca sile wiązania wody przy pF 2,0-2,4 (potencjał wody glebowej -10 do -33 kPa, co odpowiada kolejno -0,1 i -0,33 bara). Wilgotność (pojemność) trwałego wędnięcia roślin (WTWR) jest to stan uwilgotnienia gleby, przy którym rozpoczyna się trwałe wędnięcie roślin. Odpowiada on sile wiązania wody w glebie przy pF 4,2 (potencjał wody glebowej wynosi -1,5 MPa), co odpowiada -15 barom) na ilość tego rodzaju wilgotności w glebie wpływa głównie uziarnienie gleby, ale także stosowane nawożenie czy stopień zagęszczenia gleby. Natomiast wilgotność gleby przy wartości potencjału pF równej 3,0 określana jest jako początek hamowania wzrostu roślin – przy tej sile ssącej gleby w glebie znajduje się już tylko woda trudno, bardzo trudno i niedostępna dla roślin. Umownie uznaje się, że wartość aktualnej wilgotności gleby stanowiąca 70% PPW (połowej pojemności wodnej) to bardzo dobre warunki wilgotnościowe do wzrostu roślin, 50% PPW to warunki przeciętne, natomiast przy wilgotności aktualnej stanowiącej 30% PPW danej gleby wzrost roślin jest wyraźnie ograniczony. Realizacja tego obszaru polepszenia innowacji jest kluczowym punktem dla utrzymania odpowiedniej dostępności wody, która jest ważnym wskaźnikiem, ponieważ wzrost roślin i aktywność biologiczna gleby zależą od wody w zakresie nawodnienia i dostarczania składników.

Ziemniak, którego uprawa była obiektem badań w projekcie, jest rośliną o umiarkowanych wymaganiach termicznych. Optymalna temperatura gleby która jest sygnałem do rozpoczęcia sadzenia wynosi 7 – 8°C na głębokości 10 cm. Bagatelizowanie rekomendacji kontrolowania tych wytycznych i wysadzanie ziemniaka w glebę o niższej temperaturze może wpłynąć na znaczne wydłużenie okresu od posadzenia do wschodów, w czasie którego kiełkujące rośliny narażone są na porażenie rizoktoniozą. Jednakże w przypadku ziemniaka nie tylko temperatury poniżej 10°C mogą wpływać hamująco na jego prawidłowy rozwój. Temperatura w zakresie 10 - 15°C w trakcie procesu zawiązywania bulw może prowadzić do występowania rdzawej plamistości i pustowatości bulw. Wady te mogą być również

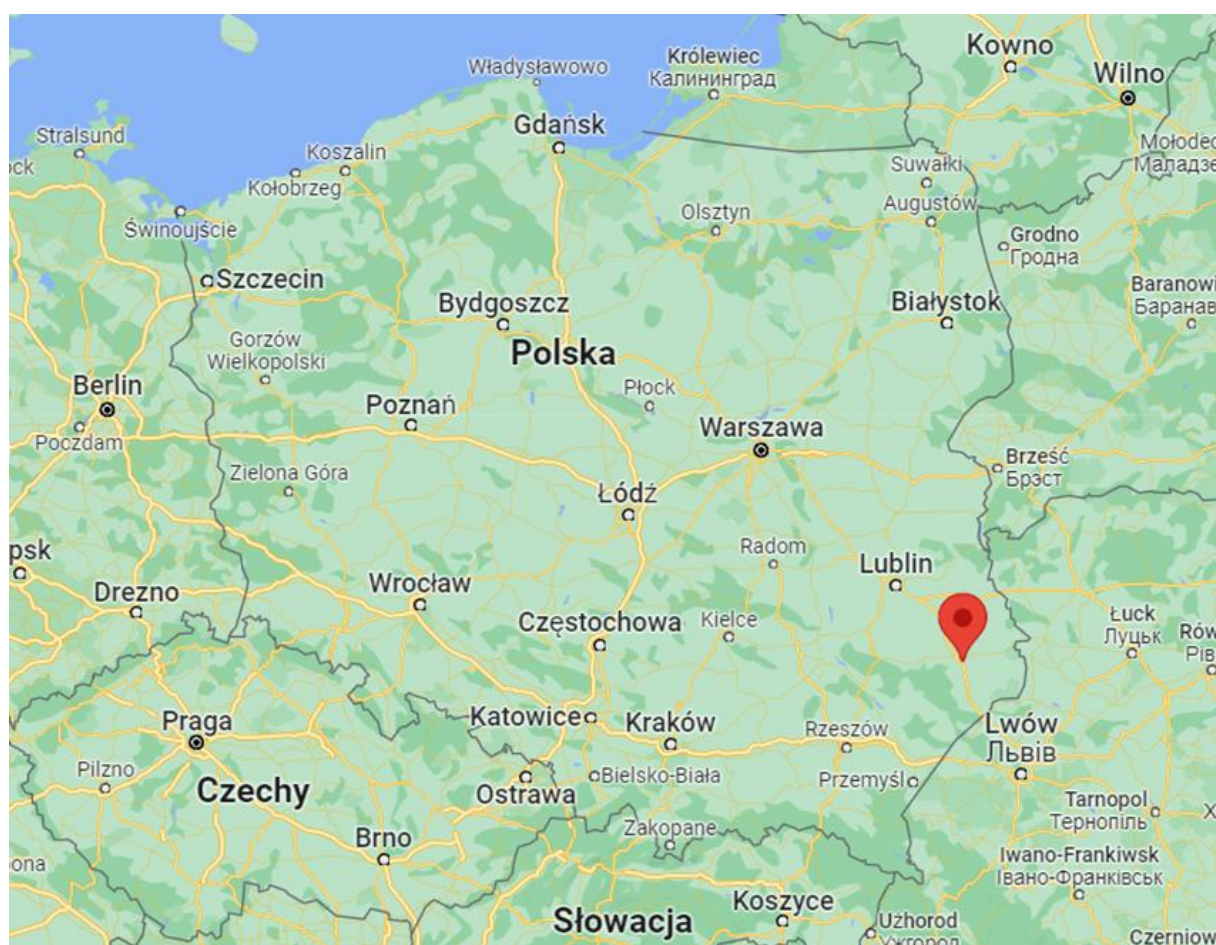
spowodowane zbyt obfitymi opadami po występującej suszy, poprzez gwałtowny wzrost bulw po okresie zastoju. Wysoka temperatura, powyżej 25°C podczas okresu wegetacji może być powodem zmniejszenia się zawartości suchej masy i jednocześnie gromadzenia się podwyższonych ilości asymilatów w łodygach. Dlatego w latach ciepłych i suchych charakteryzujących się dużym nasłonecznieniem, bulwy ziemniaka zawierają więcej skrobi oraz wykazują mniejszą podatność na ciemnienie mięszu surowego i po ugotowaniu. Temperatura odgrywa również istotną rolę podczas zbioru. Jej zakres powinien wahać się pomiędzy 10 a 18°C, zapewniając w ten sposób optymalną temperaturę bulwy. W tym zakresie wykazuje ona wysoką elastyczność oraz zdolność do szybkiego zablizniania ran, dzięki czemu jest mniej podatna na uszkodzenia mechaniczne spowodowane kontaktem z maszyną zbierającą lub odbierającą. Istotny wpływ na zapewnienie optymalnych warunków wzrostu ziemniaka mają również opady. Ich wielkość powinna oscylować pomiędzy 250 - 300 mm dla odmian wczesnych oraz 400 – 450 mm dla odmian późnych. Okresowe posuchy oraz nierównomierny rozkład opadów są główną przyczyną wahań plonów oraz spadku cech jakościowych jakie zachodzą w danej uprawie. Skutki występowania suszy oraz jej długość w dużej mierze zależą od okresu jej występowania. Według niektórych źródeł, wpływ czynnika opadowego na plonowanie, wyrażony w procentach może wahać się pomiędzy 33 a 41%. Brak opadów może być przyczyną powodującą np.: nieregularność kształtu bulw, spękania i ich pustowatość, zwiększenie porażenia parchem zwykłym oraz nasilenie możliwości występowania rdzawej plamistości bulw jak również pogorszenie warunków zbioru powodujące wzrost masy bulw uszkodzonych mechanicznie. Uwilgotnienie gleby ma istotny wpływ również w momencie zbioru. Jest ona naturalnym amortyzatorem dla ziemniaka w momencie pobierania go z ziemi, chroniąc go w pewnym stopniu przed uszkodzeniami mechanicznymi. Jednakże nadmierna wilgotność powoduje słabsze odsiewanie gleby przez elementy robocze maszyny zbierającej, z drugiej zaś strony zbyt przesuszona gleba powoduje brak oklejania się przez bulwę ziemią eliminując w ten sposób funkcję amortyzatora jaką spełnia gleba. Dlatego też optymalną wartością do przeprowadzenia procesu zbioru określa się glebę na poziomie 15% wilgotności.

13.Opis założeń metodycznych

13.1. Charakterystyka doświadczeń polowych

13.1.1. Położenie i warunki glebowe doświadczeń polowych

Badania prowadzono w gospodarstwie rolnym Marcin Gryn oraz gospodarstwach współpracujących, położonym w miejscowości Sitaniec Kolonia, w gminie Zamość, w województwie lubelskim.



Rysunek 1. Lokalizacja miejsca badań

Źródło: google maps

Badania prowadzono w latach 2023 – 2024 w różnych lokalizacjach. Wybór miejsc badan był determinowany obecnością upraw ziemniaków oraz poprzedzony analizą map glebowo-rolniczych oraz analizą danych dotyczących produktywności pól dostarczanych przez Konsorcjantów. W tym celu dokonano przeglądu map glebowo-rolniczych wykorzystując

publicznie dostępne dane z portalu gis.lubelskie.pl oraz geoportal.gov.pl (przykład – rys. 5 - 7), dokonano konsultacji z Konsorcjantami oraz wizytacji terenu badań przed przystąpieniem do planowanych badań.

Szczegółowe badania prowadzono m.in. w lokalizacjach w miejscowościach oddalonych w różnej odległości od siedziby gospodarstwa Marcin Gryn. Były to miejscowości: Jarosławiec, Chomęciska Duże, Sitaniec Kolonia. Na potrzeby badań w lokalizacjach tych założono pola doświadczalne, które nazwano kolejno:

Jarosławiec – pole J1 oraz pole J2 – rys. 2

Sitaniec Kolonia – pole S1 – rys. 3 oraz pole Sx

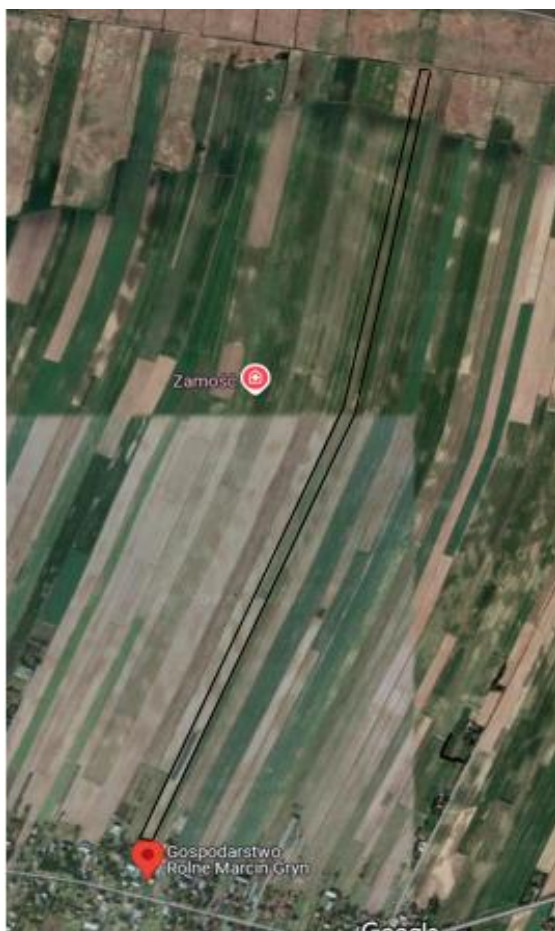
Chomęciska Duże – pole ChD3 oraz ChD4 – rys. 4

Wymienione powyżej nazwy pól będą wykorzystywane w dalszej części niniejszego opracowania. Poniżej na rysunkach 2 - 4 przedstawiono lokalizację obiektów doświadczalnych.



Rysunek 2. Zdjęcie przedstawiające lokalizację pól doświadczalnych J1 i J2 w miejscowości Jarosławiec względem siebie

Źródło: geoportal.gov



Rysunek 3. Zdjęcie przedstawiające lokalizację pól doświadczalnych S1 w miejscowości Sitaniec Kolonia

Źródło: gogle maps



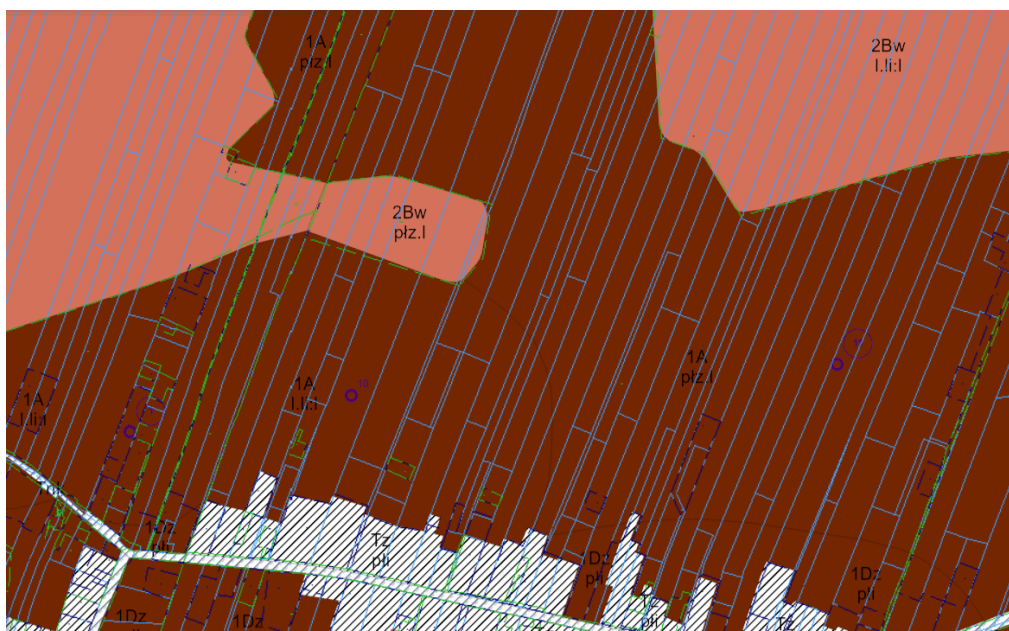
Rysunek 4. Zdjęcie przedstawiające lokalizację pól doświadczalnych ChD3 i ChD4 w miejscowości Chomęciska Duże
Źródło: geoportal.gov



Rysunek 5. Mapa glebowo rolnicza – doświadczenie J1
Źródło: gis.lubelskie.pl



Źródło: *gis.lubelskie.pl*



Rysunek 7. Mapa glebowo-rolnicza obszaru gospodarstwa w miejscowości Sitaniec Kolonia
Źródło: <https://mapy.geoportal.gov.pl/>

W wyborze lokalizacji do zakładania tego typu doświadczeń polowych porównujących różne technologie uprawy roli i roślin zasadniczą kwestią było również kryterium nie prowadzenia na danym polu w latach wcześniejszych uproszczonych, bezorkowych systemów uprawy roli oraz zastosowanie tego samego przedplonu we wszystkich porównywanych w

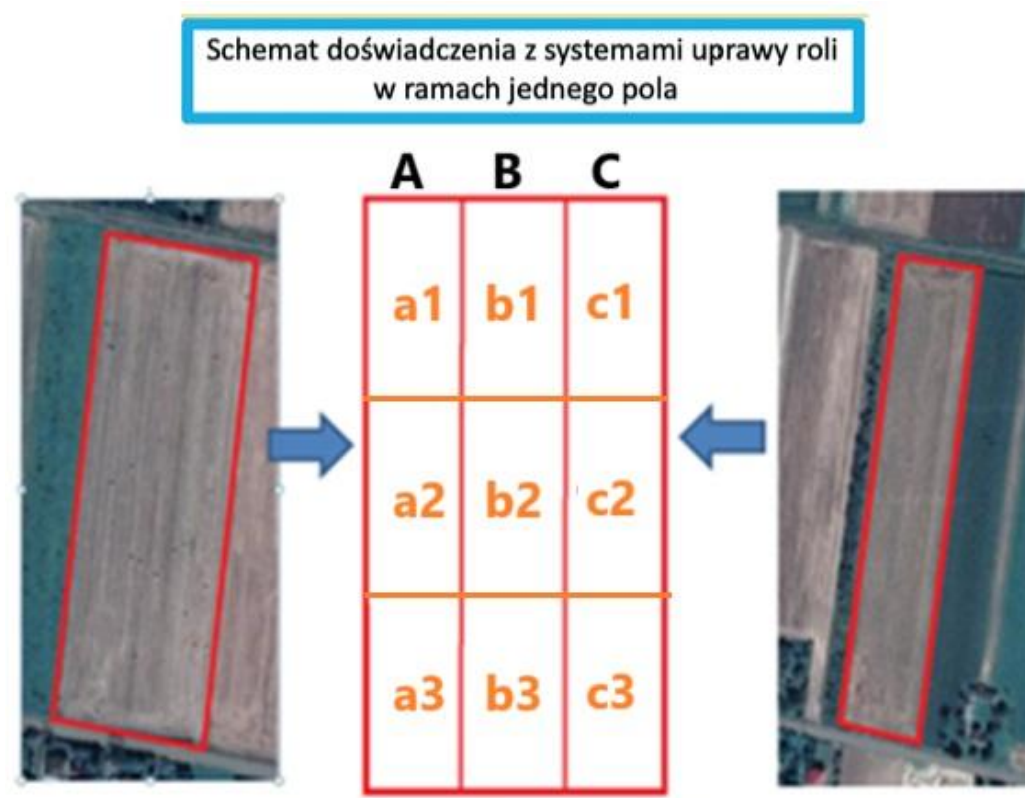
obrębie jednego doświadczenia technologiach uprawy. Tym sposobem zminimalizowano potencjalny wpływ przedplonu oraz historii pola na analizowane właściwości gleb i pomiary roślin.

13.1.2. Czynniki doświadczeń polowych

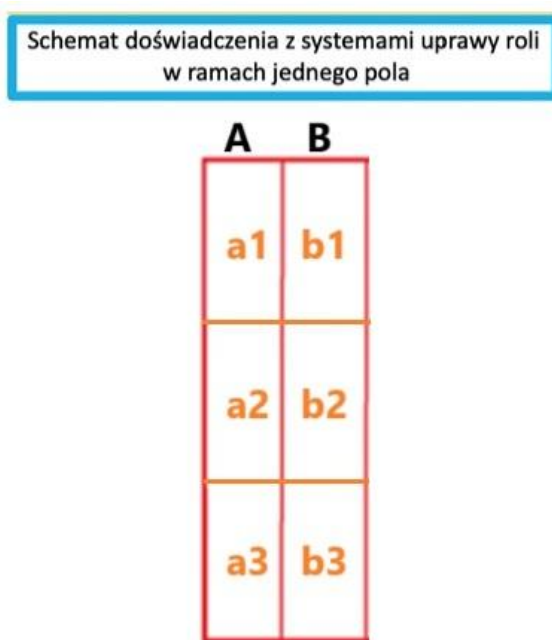
We współpracy z Konsorcjantami w każdym roku badan zakładano doświadczenia polowe z różnymi technologiami uprawy roli, co umożliwiło testowanie i porównanie innowacyjnej technologii uprawy ziemniaków na tle innych technologii uprawy roli wykorzystywanych we współczesnej produkcji roślinnej. Jako porównawcze technologie uprawy roli stosowano tradycyjną uprawę płużną oraz uprawę bezorkowa całopowierzchniową kultywatorem. Takie podejście umożliwiło ocenę rzeczywistego wpływu wprowadzenia nowej technologii uprawy ziemniaków za pomocą innowacyjnego agregatu własnej konstrukcji w porównaniu do dwóch pozostałych, spotykanych powszechnie w praktyce sposobów przygotowania roli do siewu i sadzenia roślin uprawnych.

Po przeprowadzeniu konsultacji z Konsorcjantami ustalono precyzyjnie miejsca zakładania doświadczeń polowych oraz prowadzenia badań gleb i roślin. W lokalizacjach z uprawą ziemniaka wytyczano powierzchnie badawcze, które dzielono na różne strefy uprawy. Następnie każdą taką strefę podzielono na bloki. W konsekwencji w każdym doświadczeniu polowym wydzielano 3 strefy (powtórzenia) w danej technologii uprawy, w których następnie wyznaczano, oznaczano i geolokalizowano punkty badawcze. Takie podejście zapewniło pozyskanie odpowiedniej jakości i ilości materiału do dalszych analiz laboratoryjnych oraz analizy pozyskanych wyników.

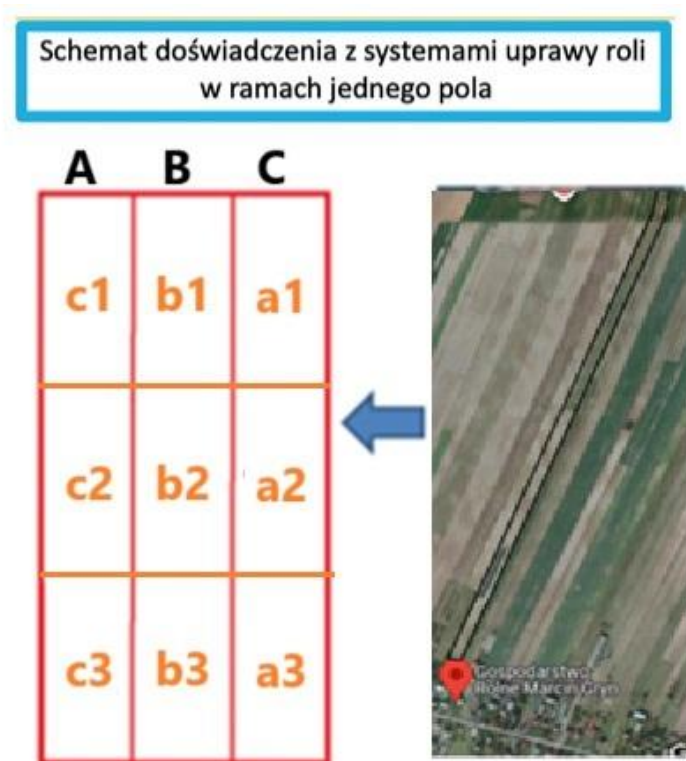
Schematy doświadczeń polowych w różnych lokalizacjach przedstawiono kolejno na rysunkach 7 – 9.



Rysunek 7. Schemat doświadczeń polowych J1 i J2



Rysunek 8. Schemat doświadczeń polowych ChD3 i CHD4



Rysunek 9. Schemat doświadczenia polowego S1

13.2. Opis innowacyjnej maszyny uprawowej

13.2.1. Założenia i budowa

Głównym zamysłem działań w projekcie było stworzenie maszyny, która po wysadzeniu ziemniaka do gleby, będzie spulchniała międzyrzędzia, aplikowała nawozy mineralne na głębokość do 50 cm i formowała ostateczny kształt redlin ziemniaka w jednym przejeździe.

Nadmienić w tym momencie należy, że dzięki modułowej budowie stworzonej maszyny, możliwa jest zmiana specyfikacji pracy maszyny, poprzez zamianę modułu formującego redliny, na zespół kół kopiująco-dogniatających, dzięki czemu maszyna może być agregowana z siewnikiem punktowym i pracować jako agregat do uprawy pasowej (ang. *strip-till*), która jest dynamicznie wprowadzana na rynku Polskim, a także rynkach zagranicznych. Łapy uprawowe w przypadku uprawy w technologii pasowej spulchniają i nawożą glebę, ale jej nie odwracają, co w znacznym stopniu oszczędza naturalny układ gleby.

Planowana operacja umożliwiła stworzenie oraz wyposażenie modułowego agregatu do uprawy oraz wglębnego nawożenia zmienną dawką nawozów fosforowych i potasowych. Maszyna, w konfiguracji ze standardową redlicą uprawową, pracującą na głębokość około 30 cm, jest w stanie nawozić glebę na dwie głębokości. Proporcje aplikowanego nawozu pomiędzy poziomami głębokości nawożenia można regulować. Możliwe jest nawożenie wglębne do głębokości 55 cm. Maszynę uprawową przedstawiono na zdjęciu 3.



Zdjęcie 3. Modułowy agregat do uprawy

13.2.2. Wykorzystanie w uprawie ziemniaka

W uprawie ziemniaka maszyna uprawowa jest wykorzystywana w roli spulchniacza, aplikatora nawozów oraz formownicy do redlin, w jednym przejeździe. Po zasadzeniu ziemniaka, gdy bulwy ogrzeją się w glebie oraz rozpoczną proces kiełkowania, umożliwia spulchnianie, aplikacje wglębne nawozów do głębokości 55 cm oraz uformowanie redlin. Założono, że najbardziej optymalnie jest, aby spulchnianie gleby odbyło się po wszystkich zabiegach agrotechnicznych wykonywanych na polu, ze względu na to, że doprowadzenie gleby przed siewem oraz sadzenie, powodują przejazdy po polu, które wpływają na konsolidację i zagęszczenie gleby, dlatego ważne aby spulchnianie wykonać możliwie najpóźniej. Dzięki technologii uprawy z wykorzystaniem stworzonej maszyny, ziemniaki rozpoczynające wegetację polową, znajdują się w pulchnej, dobrze przepuszczalnej glebie, a ich system korzeniowy pobudzony jest do głębokiej penetracji gleby, dzięki czemu możliwe jest ograniczenie nawadniania przy jednoczesnym pozytywnym oddziaływaniu na glebę. Istnieje

jednocześnie możliwość stosowania zmiennej dawki nawożenia w oparciu o mapy zasobności gleby.

Opisywana maszyna, która powstała w procesie realizacji operacji, po procesie sadzenia ziemniaków, przed ich wschodami, spulchnia glebę w środku międzyrzędzi ziemniaków, za pomocą specjalnej redlicy, wyposażonej w aparat do aplikacji nawozów granulowanych, za którymi znajduje się sekcja formująca, która kształtuje ostateczny układ redlin ziemniaków, dzięki temu mogłyby zostać spełnione wyżej wymienione założenia, dotyczące stymulacji systemu korzeniowego do głębokiej penetracji gleby.

13.2.3. Wielozadaniowość

Dzięki modułowej oraz kompaktowej budowie maszyna może służyć w gospodarstwach zarówno średnich jak i dużych. Bazowa wersja maszyny o szerokości 3 m, jest przygotowana pod rozbudowę do 4,5 m, dzięki czemu w przypadku rozwoju gospodarstw, możliwe jest zwiększenie wydajności pracy maszyny, przez co może być ona wykorzystana efektywniej pod względem ekonomicznym. Wykorzystanie systemów modułowych pozwala na stworzenie nowej konfiguracji maszyn i urządzeń, przez co zapewnią one funkcje, które nie są obecnie dostępne na rynku. Co więcej w dobie kryzysu na rynku stali i znacznie wygórowanych cen maszyn rolniczych, jest to bardzo sprzyjające rolnikom rozwiązanie.

Sama maszyna dzięki jej modułowej budowie, może być wielozadaniowym agregatem uprawowo-siewnym. Dzięki modułowej budowie oraz możliwości konfiguracji warunków pracy, znacznie zwiększa się potencjalny obszar wykorzystania stworzonego w ramach projektu innowacyjnego produktu, co może bardzo pozytywnie wpłynąć na środowisko glebowe i naturalne.

Zastosowane rozwiązania konstrukcyjne sprawiają, że stworzona maszyna może być wykorzystywana również do siewu rzepaku, buraków cukrowych oraz kukurydzy w technologii uprawy pasowej (ang. *strip-till*) oraz po odpowiedniej regulacji możliwa jest również uprawa całej powierzchni pola z aplikacją wgłębną nawozów na dwie głębokości oraz maszyna będzie może posłużyć jako kultywator do uprawy bezorkowej. Taki kultywator można wykorzystać do uprawy gleby pod zasiew np. pszenicy. Istnieje również możliwość wykorzystania maszyny w roli głąbosza, który będzie nawoził glebę na dwie głębokości, z możliwością nawożenia do 55 cm, gdyż takie potrzeby jasno wynikają z prowadzonej od kilku lat uprawy bezorkowej oraz przeprowadzonych analiz glebowych w warstwach 0-30cm oraz 30-60cm, gdzie wykazano że głębsza warstwa gleby jest uboższa w składniki pokarmowe, takie jak potas oraz fosfor.



Zdjęcie 4. Stworzona maszyna może być wykorzystywana również w uprawie innych gatunków roślin uprawnych – pszenicy czy rzepaku.

13.3. Agrotechnika ziemniaków w doświadczeniach polowych

Po zbiorze pszenicy ozimej i kukurydzy jesienią w roku poprzedzającym sadzenia ziemniak wykonano uprawę broną talerzową ścierniska na głębokość 10 cm, celem pocięcia resztek poźniwnych, wyrównania powierzchni pola, wymieszania resztek z glebą oraz przerwania parowania wody z gleby. W 2023 roku we wszystkich doświadczeniach przedplonem była kukurydza w technologii ziarnowej, natomiast w 2024 roku na polu S1 pszenica ozima uprawiana techniką tradycyjnej uprawy płużnej, a na polu S2 kukurydza na ziarno uprawiana w technologii z uprawę głęboką z nawożeniem na głęboko. Następnie wczesną wiosną wysiano nawóz potasowy rozsiewaczem i wymieszano go z glebą broną talerzową. Po kilku tygodniach wykonano ponowną uprawę gleby broną talerzową w celu dalszego rozdrobnienia, wymieszania z glebą i przyspieszenia rozkładu resztek poźniwnych oraz przyspieszenia ogrzewania gleby.

Sadzenie ziemniaka wykonano w obsadzie 45 tys. szt·ha⁻¹. W 2023 roku zastosowano nawożenie na poziomie 100 kg·ha⁻¹ azotu, 50 kg·ha⁻¹ fosforu oraz 190 kg·ha⁻¹ potasu, a w 2024 roku zastosowano nawożenie na poziomie 120 kg·ha⁻¹ azotu, 60 kg·ha⁻¹ fosforu oraz 240 kg·ha⁻¹ potasu. Sadzenie w 2023 roku wykonano 2 maja, natomiast w 2024 roku 12 kwietnia. Głębokość sadzenia wynosiła 8 cm. Podczas wysadzania wykonywano zabieg zaprawiania bulw przeciwko rizoktoniozie. Po 2 tygodniach uformowano formownicą redliny.

W 2023 roku na polu J1 wysadzono odmianę ziemniaka Lilli, na polu J2 odmianę ziemniak Gala. W 2024 roku na polu S1 z doświadczeniem wysadzono odmianę Gala, a na pozostałych polach Sx w tej lokalizacji (Sitaniec Kolonia) odmiany Lilly, Red Sonia oraz Lawenda w

stanowisku po kukurydzy ziarnowej uprawianej również w technologii bezorkowej z wykorzystaniem innowacyjnego modułowego agregatu do uprawy.



Zdjęcie 5. Sadzeniaki ziemniaka.

Technologia sposobu wykonania podstawowej uprawy roli oraz aplikacji nawozów w obiektach badawczych była następująca:

- **W wariancie pierwszym uprawy uproszczonej innowacyjną maszyną uprawową - A**, zastosowano uprawę głęboką z nawożeniem na głęboko. Zabieg uprawy i nawożenia wgłębnego wykonano wiosną przed sadzeniem ziemniaka maszyną własnej konstrukcji. Agregat spulchniał glebę na głębokość 50 cm i jednocześnie aplikował nawóz NPK na głębokość 35 cm i 50 cm. Rozstaw pasów uprawnych wynosił 30 cm.
- **W drugim wariancie nazwanym uprawą uproszczoną B**, jesienią wykonano uprawę broną talerzową ścierniska na głębokość 10 cm. Nawóz NPK został wysiany rozsiewaczem nawozowym, który następnie wymieszano z glebą broną talerzową. Przed sadzeniem wykonano uprawę kultywatorem na głębokość 30 cm.
- **Trzeci tradycyjny wariant uprawowy – C**, polegał na tradycyjnej uprawie płużnej, jesienią wykonano uprawę broną talerzową ścierniska na głębokość 10 cm. Wiosną wysiano nawóz potasowy oraz NPK rozsiewaczem nawozowym i

wykonano orkę na głębokość 30 cm. Przed sadzeniem doprawiono glebę broną zębową ciężką.

Jednocześnie w celu rozwoju maszyny uprawowej oraz technologii uprawy w ramach prac badawczo-rozwojowych będą badane różne warianty zastosowanych części roboczych maszyny uprawowej w celu wybrania optymalnych elementów roboczych. Na maszynach w określonych działkach zostaną zamontowane i użyte różne części robocze w celu ustalenia które rodzaje części roboczych powinny zostać zamontowane na finalnym prototypie. Badanie to ma na celu ustalenie wpływu określonych technologii na kompleksowe parametry roślin oraz gleby i wybrać do finalnego prototypu te elementy, które będą najbardziej efektywne z perspektywy agronomicznej i agrotechnicznej.

Kolejne etapy uprawy ziemniaka przedstawiono na zdjęciach 6-21.



Zdjęcie 6.



Zdjęcie 7.



Zdjęcie 8



Zdjęcie 10.



Zdjęcie 11.



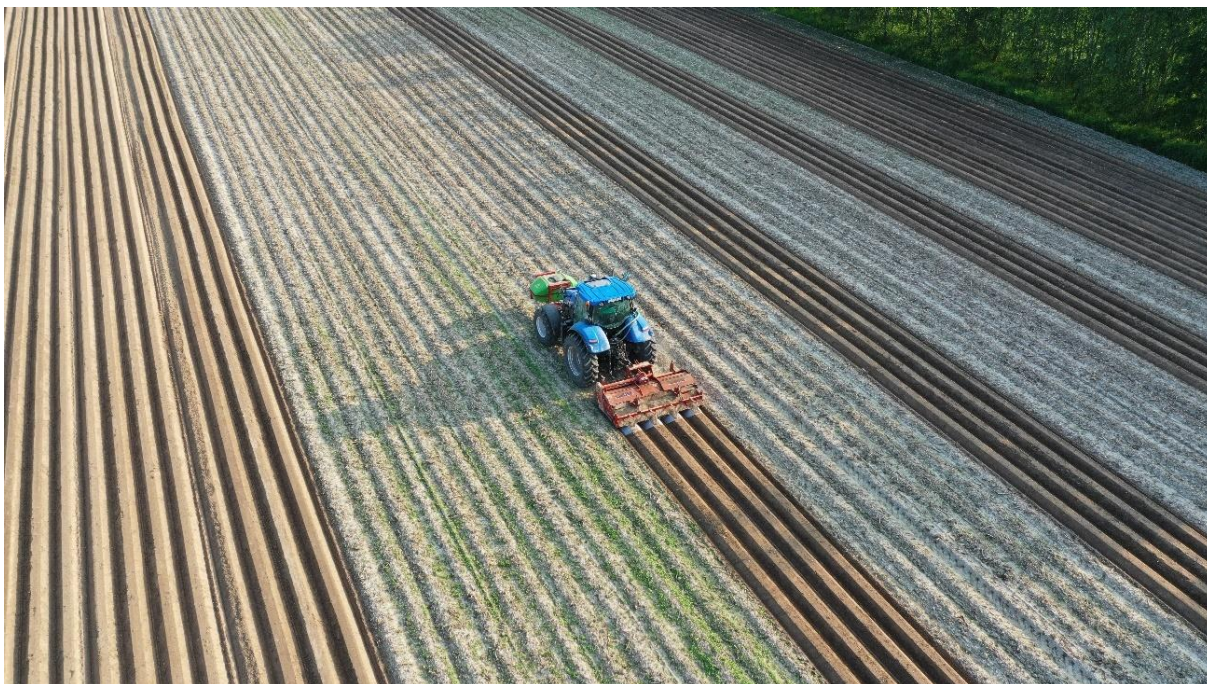
Zdjęcie 12.



Zdjęcie 13.



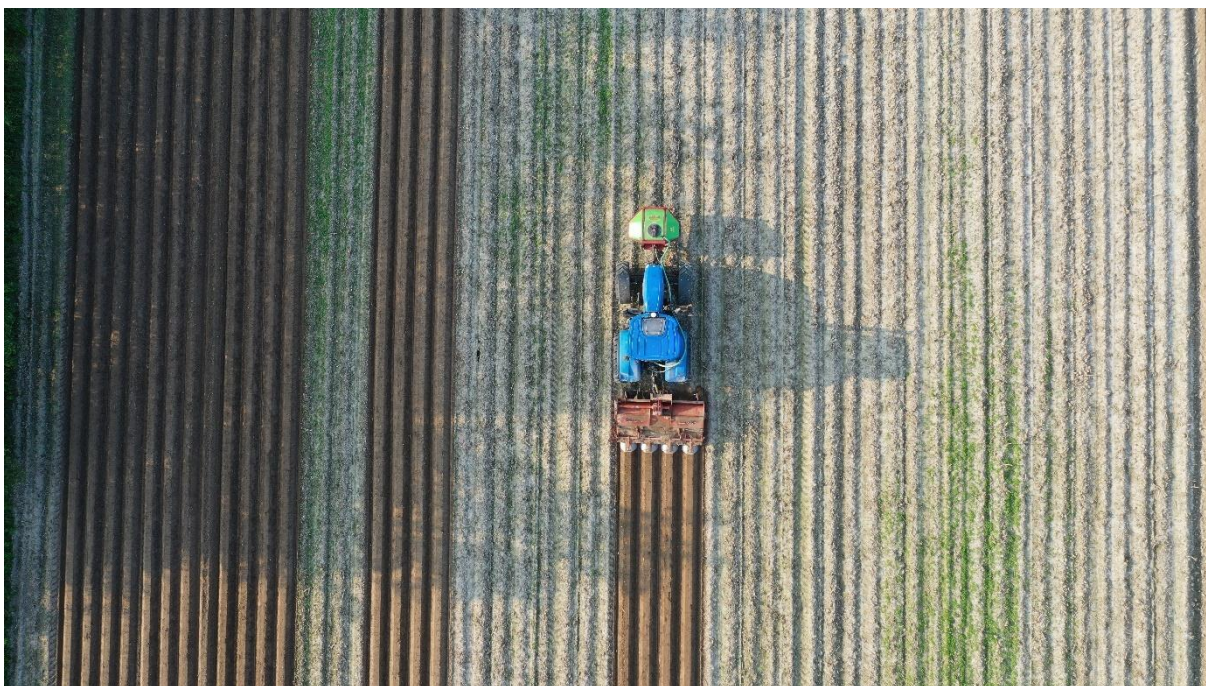
Zdjęcie 14.



Zdjęcie 15.



Zdjęcie 16.



Zdjęcie 17.



Zdjęcie 18.



Zdjęcie 19.



Zdjęcie 20.



Zdjęcie 21

13.4. Badania w warunkach polowych i laboratoryjnych

W każdym roku badań w wybranych lokalizacjach opracowywano szczegółowy plan poboru próbek gleby z poszczególnych obszarów pola na których wprowadzono zróżnicowane technologie uprawy roli. Ogólnie w cyklu badań próbki gleby pobierano w okresie wiosennym przed sadzeniem ziemniaków wiosną, w pełni wegetacji ziemniaka i na koniec wegetacji ziemniaka. Próbki gleby pobierano z dwóch warstw: 0-30 i 31-60 cm łaską Egnera z podziałką z losowych miejsc powierzchni doświadczalnych oraz szpadlem (oznaczenie struktury gleby).

Każde z badań zostało przeprowadzane w ściśle określonych terminach przed sadzeniem i w trakcie wegetacji ziemniaka. Badania obejmowały określenie wybranych właściwości fizycznych, chemicznych i fizyko-chemicznych gleb oraz ocenę roślin ziemniaka (części nadziemnej, korzeni i bulw).

Przed sadzeniem bulw wytyczano powierzchnie badawcze i pobrano glebowe próbki pierwotne z powierzchni badawczych, które następnie zostały zmieszane w jedną próbę zbiorczą o wadze w przedziale 250 – 500 g, z powierzchni nie większej niż 4 ha. Wybrane analizy gleby wykonane były na poziomie dwóch głębokości: 0 – 30 oraz 31 – 60 cm, w zależności od rodzaju analizowanej właściwości gleby. W laboratorium w pierwszej kolejności oznaczono skład granulometryczny gleb oraz analizy zawartości dostępnych dla roślin form fosforu, potasu, a także zasolenia oraz pH gleby. Dodatkowo w warstwie 0-30 cm glebę z uprawy ziemniaka przeanalizowano pod kątem zawartości materii organicznej, azotu ogólnego i pojemności sorpcyjnej. Gleba została poddana analizie w Stacji Chemiczno – Rolniczej oraz w laboratorium Konsorcjanta.



Zdjęcie 22.



Zdjęcie 23.

Zdjęcia 22 – 23. Próbkę gleby pobierano w okresie od wiosny do końca wegetacji ziemniaka



Zdjęcie 24. Gleba pobrana z różnych warstw gleby



Zdjęcie 25. Transport pobranych próbek gleby do siedziby gospodarstwa

Zbadano również szereg fizycznych właściwości gleb: na polach z uprawą ziemniaka wykonano pomiar zwięzłości gleby, dzięki temu wykryto warstwy o nadmiernym ubiciu i zwięzłości; w trakcie wegetacji roślin monitorowano wilgotność aktualną gleby oraz temperaturę z wykorzystaniem sond; oznaczono również stabilność struktury gleby (przesiewanie gleby na sucho i na mokro) oraz przeprowadzono analizę właściwości wodno-powietrznych gleb w warstwie 0-30 cm w laboratorium Konsorcjanta – SGGW w Warszawie. Badanie właściwości wodno-powietrznych gleb oraz pojemności wodnych gleby oceniono na podstawie próbek pobieranych w stanie nienaruszonym w cylinderki o pojemności 100 cm³ z reprezentatywnych miejsc pola, ze środka warstwy 0-30 cm. Analiza właściwości wodno-powietrznych gleby znajdującej się w cylinderkach została przeprowadzona z wykorzystaniem aparatu ciśnieniowego z płytami ceramicznymi do określania krzywej pF gleby (Aparat Richardsa) i serii wzrastających nadciśnień (od 0,1 do 15 baróww). Przed przystąpieniem do analizy na aparacie próbki gleby nastawiano na podsiąk kapilarny w celu ustalenia kapilarnej pojemności wodnej. Umożliwiło to ustalenie pojemności wodnych – kapilarnej pojemności wodnej, polowej pojemności wodnej oraz wilgotności trwałego więdnięcia roślin. Obliczono ilość wody dostępnej dla roślin, porowatość ogólną gleby oraz gęstość gleby suchej, co pozwoliło w pełni scharakteryzować warunki wodno-powietrzne dla wzrostu roślin wykształcone w danej glebie pod wpływem zastosowanej innowacji.



Zdjęcie 26.



Zdjęcie 27.

Zdjęcia 26-27. Narzędzia zakupione w ramach projektu istotnie usprawniły pobieranie próbek gleby zarówno na właściwości chemiczne i fizyko-chemiczne, jak i fizyczne.



Zdjęcie 28.



Zdjęcie 29.

Zdjęcie 28 - 29. Transport próbek gleby i przygotowywanie gleby do analiz

Kolejna część badań dotyczyła analizy wzrostu roślin ziemniaka (części nadziemnej, korzeni i bulw). Pomiary zieloności liści oceniono na podstawie zdjęć satelitarnych oraz w

strefach badawczych wykonano oznaczenia N–Testerem, co dostarczyło cennych informacji na temat bieżącego stanu odżywienia uprawy w główny składnik plonotwórczy, jakim jest azot. Urządzenie to mierzy zawartość chlorofilu w liściach, co jest ściśle związane ze stanem poziomu azotu w roślinie.

Badanie wielkości systemu korzeniowego w trakcie wegetacji polegało na organoleptycznej ocenie wielkości części podziemnych ziemniaków, ponadto oznaczono suchą masę korzeni pobieranych ziemniaka. Wyizolowane z gleby korzenie zeskanowano skanerem optycznym i skonwertowano do analizy morfometrycznej za pomocą oprogramowania WinRHIZO (Regent Instruments Inc., Kanada). Obliczono całkowitą długość korzenia (cm na roślinę) oraz średnią średnicę (mm) korzeni.

Kluczowymi danymi wynikającymi z prowadzonych badań były ocena plonu i jakość ziemniaków, które w istotnym stopniu podlegały wpływowi właściwości gleby, wynikającymi z zastosowanej innowacji. Plony bulw ziemniaka ustalano na podstawie poboru bulw z losowych punktów z powierzchni doświadczalnych, w strefach prowadzenia szczegółowych badań gleby.

Badanie parametrów ziemniaka było ostatnim etapem w całym procesie analizy plonu. Z masy towarowej plonu ziemniaka po zbiorze pobrano próby do zbadania na zawartość skrobi z wykorzystaniem metody Reimanna-Parowa, a zasada pomiaru opierała się na korelacji między zawartością skrobi, a ciężarem właściwym bulw. Na podstawie otrzymanych wyników pomiaru, obliczono gęstość ziemniaków oraz zawartość suchej masy. Wartość skrobiowości ziemniaków otrzymuje się po odjęciu od suchej masy zawartości składników nie skrobiowych. Badania na temat jakości bulw przeprowadzono w laboratorium Konsorcjanta.

Jednocześnie w ramach badań w trakcie uprawy zastosowano różnego rodzaju części robocze w innowacyjnych maszynach, uprawiające glebę w różny sposób. Pozwoliło to na weryfikację wpływu określonych parametrów maszyny na parametry gleby i roślin.

Metodykę badań poszczególnych właściwości gleb i roślin opisano w kolejnych podrozdziałach.

13.4.1. Skład granulometryczny

Metodyka badania:

Próbki gleby do badań pobrano jednokrotnie na początku założenia doświadczeń polowych z wydzielonych na potrzeby projektu powierzchni doświadczalnych z warstw gleby 0-30 i 30-60 cm. Badania te przeprowadzono przed zasiewem zbóż ze względu na istotny wpływ ich wyników na podejmowanie decyzji dotyczących nawożenia wglębnego fosforem, oraz ustaleniu dawek wysiewu nasion na danej działce. Próbki mieszane sporządzono z próbek pierwotnych. Badania składu granulometrycznego przeprowadzono zostaną metodą aerometryczną. Oznaczanie składu granulometrycznego zakładało pomiary gęstości zawiesiny glebowej podczas sedimentacji cząstek glebowych w stałej temperaturze. Służą do tego specjalnie przystosowane urządzenia jakimi są aerometry. Wyskalowanie tego urządzenia pozwala na odczytanie procentowej zawartości frakcji jaka osiadła w czasie dzielącym dwa odczyty. Do odczytywania gęstości zawiesiny glebowej wykorzystuje się tabelę opracowaną przez producenta aerometru. Każda grupa granulometryczna posiada oddzielną tabelę. Przy zastosowaniu tego urządzenia, możliwe będzie określenie zawartości frakcji wskazanych w aktualnej klasyfikacji uziarnienia gleb według Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego.



Zdjęcie 30.



Zdjęcie 31.

Zdjęcie 30 – 31. Analiza składu granulometrycznego gleb.

5.4.2. Zasobność gleby w dostępne formy P,K,Mg oraz pH na różnych poziomach

Metodyka badania:

Na potrzebę tego badania próbki mieszane gleby sporządzono z próbek pierwotnych pobranych łaską Egnera z podziałką z losowych miejsc powierzchni doświadczalnych trzykrotnie: (wiosną, w pełni wegetacji ziemniaka i na koniec wegetacji ziemniaka) z dwóch warstw: 0-30 i 31-60 cm. Próbę mieszaną uzyskano poprzez zebranie próbek pierwotnych od 15 do 20 w jednym pojemniku, a następnie dokładnym jego wymieszaniu. Wyniki badań pozwoliły na szczegółowe zbilansowanie potrzeb gleby względem makroskładników i potrzeb odkwaszenia gleby, co może wpływać korzystnie na prawidłową kalibrację innowacji, jaką stanowi wglębna aplikacja fosforu, potasu oraz magnezu połączona z zabiegiem formowania redlin dla ziemniaka czy ewentualnym wapnowaniem.

5.4.3. Zawartość azotu ogólnego

Metodyka badania:

Próbki mieszane gleby sporządzono z próbek pierwotnych pobranych łaską Egnera z podziałką z losowych miejsc powierzchni doświadczalnych trzykrotnie: (wiosną, w pełni wegetacji ziemniaka i na koniec wegetacji ziemniaka). z warstwy 0-30 cm. Wyniki badań pozwoliły na szczegółowe zbilansowanie potrzeb gleby względem makroskładników. Realizacja tego obszaru innowacji jest istotnym aspektem dla ochrony środowiska. Precyzyjne nawożenie danym składnikiem w ilościach skorelowanych z zasobnością gleby oraz wymaganiami roślin, pozwoli uniknąć zjawiska przenawożenia, ograniczy zanieczyszczenia wód powierzchniowych spowodowanych erozją wodną oraz przyczyni się do zmniejszenia zasolenia środowiska glebowego, na które szczególnie wrażliwy jest gatunek ziemniaka. Główne korzyści wynikające z tego badania to możliwość oceny potencjału danego pola i związana z tym możliwa redukcja zużycia nawozów.

5.4.4. Zasolenie

Metodyka badania:

Próbki mieszane gleby sporządzono z próbek pierwotnych pobranych łaską Egnera z podziałką z losowych miejsc powierzchni doświadczalnych trzykrotnie: (wiosną, w pełni wegetacji ziemniaka i na koniec wegetacji ziemniaka) z dwóch warstw: 0-30 i 31-60 cm. Wyniki badań pozwoliły na szczegółowe zbilansowanie potrzeb gleby względem składników nawozowych i możliwe zasolenie gleby, co w dalszym etapie operacji wpłynęło korzystnie na prawidłową kalibrację innowacji jaką stanowi wgłębna aplikacja fosforu, potasu oraz magnezu połączona z zabiegiem formowania redlin dla ziemniaka.

5.4.5. Całkowita pojemność sorpcyjna i kationowa pojemność wymienna

Metodyka badania:

Próbki mieszane gleby zostały sporządzone z próbek pierwotnych pobranych łaską Egnera z podziałką z losowych miejsc powierzchni doświadczalnych trzykrotnie: (wiosną, w pełni wegetacji ziemniaka i na koniec wegetacji ziemniaka) z warstwy 0-30 cm. Wyniki badań pozwoliły na szczegółowe zbilansowanie potrzeb gleby względem stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami, co w dalszym etapie operacji wpłynęło korzystnie na

prawidłową kalibrację innowacji jaką stanowi wglębna aplikacja fosforu, potasu oraz magnezu połączona z zabiegiem formowania redlin dla ziemniaka.

5.4.6. Zawartości materii organicznej

Metodyka badania:

Próbki mieszane gleby sporządzono z próbek pierwotnych pobranych łaską Egnera z podziałką z losowych miejsc powierzchni doświadczalnych z warstwy 0-30 cm. Zawartość materii organicznej w glebie określa się pośrednio, oznaczając najpierw zawartość węgla organicznego w glebie, a następnie uzyskany wynik przelicza się na zawartość materii organicznej, używając empirycznie ustalonego współczynnika. Można wyróżnić dwie metody oznaczania węgla organicznego w glebie: wagowe (bezpośrednie) i objętościowe (pośrednie). W laboratoriach najczęściej stosowanym oznaczeniem jest metoda Tiurina. Uzyskany wynik jest podstawą do wyliczenia zawartości węgla w badanej próbce glebowej. Przeprowadzenie badania jest niezwykle istotne pod kątem oceny potencjału gleby do absorpcji wody składników pokarmowych. Co więcej, oznaczenie zawartości materii organicznej pozwala oszacować potencjalną ilość składników pokarmowych, które zostaną uwolnione w procesie mineralizacji i humifikacji, co można dalej uwzględnić w sporządzaniu bilansu nawozowego dla uprawy ziemniaka. Ilość materii organicznej w glebie odpowiada również za właściwości buforowe gleb, sorbowanie i przyswajalność dostarczonych składników z nawozów sztucznych i w znacznym stopniu wspomaga ich pobieranie. Dodatkowo wpływa na rzeczywisty stan zdolności sorpcyjnych gleby. Wyniki oznaczenia były pomocne do ustalenia zmiennej aplikacji nawozu podczas spulchniania i formowania redlin, tak aby każdy obszar pola został wykorzystany możliwie jak najbardziej efektywnie, unikając jednocześnie przenawożenia gleby i nadmiernego zasolenia, na które, ziemniak jest w szczególności wrażliwy. Główne korzyści wynikające z tego rozwiązania to optymalne wykorzystanie potencjału danego pola i związana z tym możliwa redukcja zużycia nawozów.

5.4.7. Zwięzłość gleb

Metodyka badania:

Przeprowadzone badanie pomiaru zwięzłości (oporu penetracji) gleby w uprawach ziemniaka odbyło się za pomocą urządzenia zwanego penetrometrem glebowym poprzez

wciskania sondy w podłoże. Pozwoliło to na wykrycie w glebie warstw nadmiernie ubitych i podjęcie odpowiednich zabiegów agrotechnicznych. Opór penetracji był mierzony w jednostkach siły lub ciśnienia. Badanie przebiegało w następujący sposób: na powierzchniach doświadczalnych w obrębie pola wybrano losowo miejsca, gdzie dokonywano pomiarów, następnie osoba przeprowadzająca badanie wciskała sondę w glebę, naciskając równomiernie dłońmi na metalowy uchwyt. W pomiarze kluczową obserwacją jest to, czy używając tej samej siły, uda się wcisnąć sondę na tę samą głębokość w każdym miejscu. Badanie to pozwoliło na dostosowanie ilości i jakości zabiegów agrotechnicznych w celu polepszenia bądź utrzymania zwięzłości gleby w na jak najlepszym poziomie dla rozwoju roślin. Badanie umożliwiło dokonanie analizy gleb pod kątem zwięzłości, zagęszczenia czy występowania podeszwy płuznej w zależności od technologii uprawy.



Zdjęcie 32. Penetrometry zakupione w ramach projektu umożliwiły sprawny pomiar zwięzłości gleby w wielu punktach doświadczeń polowych.

5.4.8. Stabilność struktury gleby

Metodyka badania:

Podczas trwania projektu przeprowadzono badania składu agregatowego oraz stabilności struktury gruzełkowej gleby w uprawie ziemniaka. Badanie struktury gleby polegało na określeniu jej zdolności do rozpadania się na różnej wielkości i kształtu cząsteczki

które zwane są agregatami, charakteryzującymi się różną stabilnością w wodzie. Ze względu na ich wielkość wyróżnia się następujące grupy: 0 – 0,25mm – mikroagregaty, 0,25 – 5 mm mezagregaty, 5 – 10 mm makroagregaty. Istotą analizy było określenie stabilności struktury gleby - wodoroporności agregatów glebowych, czyli oznaczenie składu gruzelkowego gleby. Do pomiaru właściwości struktury gleby gleba została pobrana szpadlem z głębokości 0-30 cm, rozkruszona delikatnie i wysuszona na powietrzu. Następnie została poddana przesianiu przez sito o wymiarach oczek 10 mm w celu oddzielenia brył i bryłek. Próbkę gleby przesiano przez zestaw sit o średnicy oczek 7mm, 5mm, 3mm, 2mm, 1mm, 0,5mm oraz 0,25 mm. Wyniki uzyskanych przesiewów zważono i obliczono procentowy udział danej frakcji agregatów glebowych w masie gleby i średnią ważoną średnicę agregatu – MWDa.

Następnie przeprowadzono oznaczenie wodoporności agregatów na aparacie Bakszejewa w celu sprawdzenia ich trwałości. Próbkę z suchych agregatów przesiewano w wodzie na zestawie sit, a frakcje zatrzymane na sitach danej średnicy zbierano, suszono i ważono. Masy wysuszonych gruzelków wykorzystano do obliczenia wskaźnika MWDg (ang. mean weight diameter) - charakteryzującego skład gruzelkowy i stabilność struktury gleby. Stan struktury gleby ma ogromny wpływ na wzrost rośliny oraz jej dostęp do wody, powietrza i składników pokarmowych.



Zdjęcie 33. Pobieranie gleby szpadlem w ramach badań oceny struktury gleb



Zdjęcie 34. Przygotowywanie próbek gleby do analizy struktury gleby



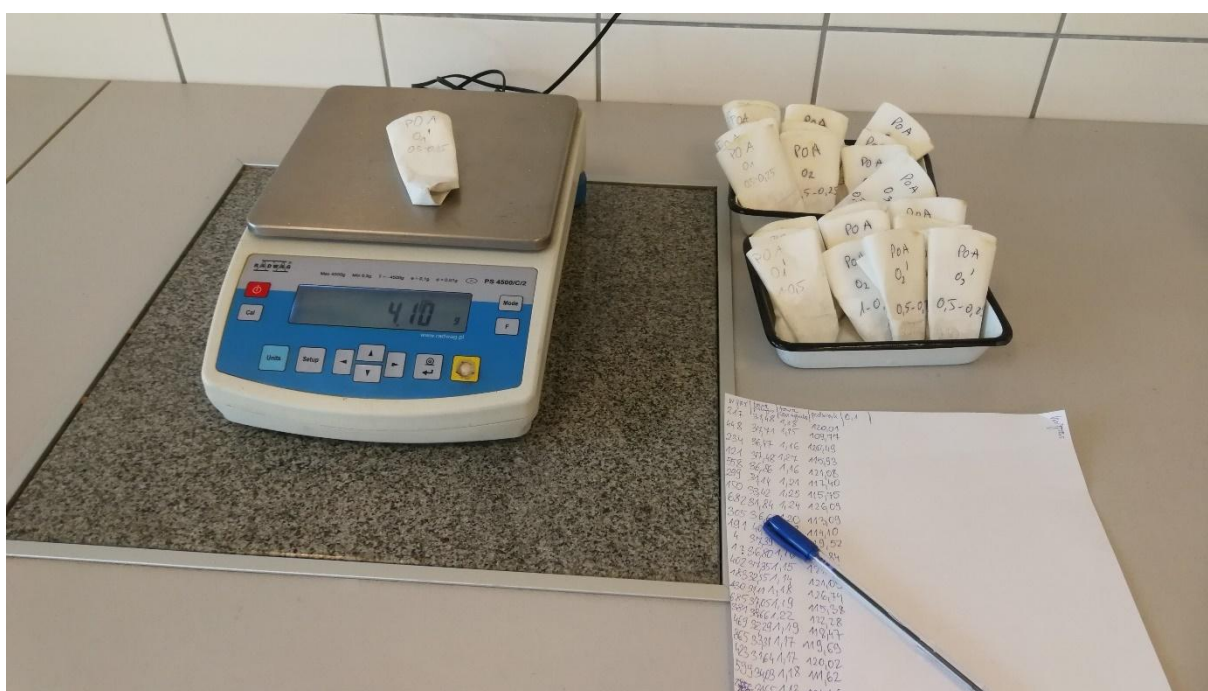
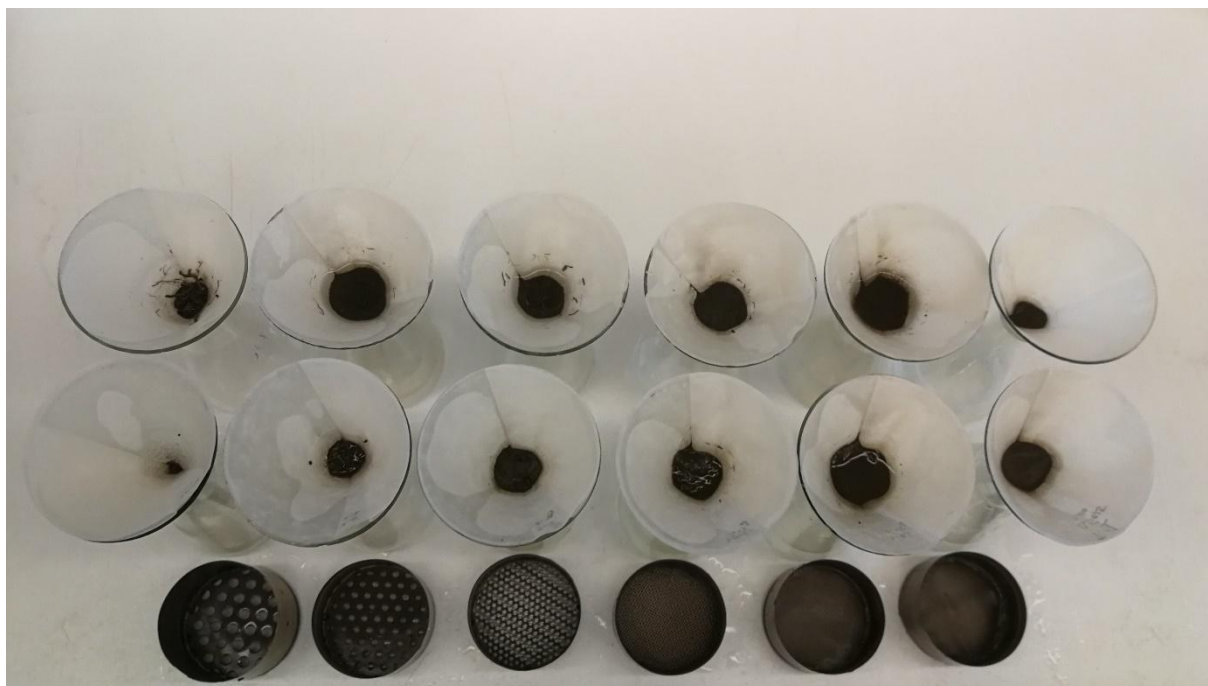
Zdjęcie 35. Analiza składu agregatowego gleb metodą przesiewania na sucho



Zdjęcie 36.



Zdjęcie 37.



Zdjęcie 38 – 39. Analiza stabilności struktury gleby metodą przesiewanie w wodzie z wykorzystaniem aparatu Bakszejewa

5.4.9. Wodno-powietrzne właściwości gleb

Metodyka badania:

Na potrzeby analizy właściwości wodno-powietrznych gleb i oznaczenia charakterystycznych stanów uwilgotnienia gleb – pojemności wodnych, ze środka warstwy 0-30 cm gleb w uprawie ziemniaka pobrano reprezentatywne próbki do cylinderków Kopeckiego o objętości 100 cm³. Analiza właściwości wodno-powietrznych gleby o nienaruszonym układzie (znajdującej się w cylinderkach) została przeprowadzona z wykorzystaniem aparatu ciśnieniowego z płytami ceramicznymi do określania krzywej pF gleby (aparat Richardsa) i serii wzrastających naciśnień (od 0,1 do 15 barów). Naciśnienie wypycha z kapilar wodę utrzymywaną w glebie mniejszymi siłami niż zastosowane naciśnienie. Po wypchnięciu z kapilar wody pod wpływem naciśnienia ustalana jest wilgotność gleby, co pozwala na ustalenie wilgotności gleby przy określonych pojemnościach wodnych. Przed przystąpieniem do analizy na aparacie próbki gleby nastawiono na podsiąk kapilarny w celu ustalenia kapilarnej pojemności wodnej.



Zdjęcie 40. Pobieranie próbek gleby w stanie nienaruszonym w cylinderki Kopeckiego



Zdjęcie 41. Aparatura wykorzystywana do oceny właściwości wodno-powietrznych gleb



Zdjęcie 42. Próbkę gleby w trakcie przygotowania do analizy właściwości wodno-powietrznych gleb

5.4.10. Aktualna temperatura i wilgotność

Metodyka badania:

Współcześnie pomiary aktualnej wilgotności i temperatury gleby mogą być prowadzone za pomocą przenośnych lub okresowo montowanych w warstwach gleby czujników

elektronicznych. Pomiary były prowadzone od wiosny aż do czasu zakończenia wegetacji roślin ziemniaka. Do pomiaru aktualnej wilgotności i temperatury gleby w okresie wegetacji ziemniaka były wykorzystywane sondy mierzące jednocześnie temperaturę i wilgotność.



Zdjęcie 43.



Zdjęcie 44.

Zdjęcie 43 – 44. Ocena wilgotności i temperatury gleb za pomocą sond glebowych.

5.4.11. Badania roślin ziemniaka

5.4.11.1. Zieloność roślin

Metodyka badania:

Przeprowadzenie badania miało na celu określenie stanu odżywienia roślin wyznaczając termin i ilość zastosowanego nawozu. Zapotrzebowanie na nawozy azotowe nie jest stałe i może znacznie różnić się w poszczególnych latach i dla różnych upraw. Rozdzielanie dawkowania azotu na większą ilość aplikacji, daje możliwość optymalizacji szybkości poboru azotu przez roślinę, według jej indywidualnych potrzeb. Analiza zdjęć satelitarnych oraz analiza rośliny N-testerem daje cenne informacje na temat bieżącego stanu odżywienia uprawy w główny składnik plonotwórczy. Urządzenie mierzy zawartość chlorofilu w liściach, co jest ściśle związane ze stanem poziomu azotu w roślinie. Punkt pomiarowy powinien być na środku blaszki, najmłodszych, w pełni rozwiniętych liści. Zalecane jest wykonanie trzydziestu losowych pomiarów z całego pola, wyliczając średnią wartość, która jest wykorzystywana w celu wskazania, jaki poziom azotu jest wymagany w uprawie. Pozyskane w ten sposób pozwalają określić bieżący stan odżywienia roślin azotem oraz korygować potrzeby nawozowe, aby zaopatrzenie wynikało z potrzeb. Nadmierne nawożenie azotem powoduje opóźnianie zawiązywania się bulw oraz zmniejszanie liczby przypadających na roślinę a także sprzyja porażaniu roślin przez patogeny.



Zdjęcie 45. N-tester wykorzystywany w badaniach

5.4.11.2. Wielkość systemu korzeniowego

Metodyka badania:

Na potrzeby badań w trakcie wegetacji ziemniaka poddano organoleptycznej ocenie wielkość części podziemnej ziemniaka, oznaczono suchą masę korzeni ziemniaka oraz ich długość. Wyizolowane z gleby korzenie zeskanowano skanerem optycznym i skonwertowano do analizy morfometrycznej za pomocą oprogramowania WinRHIZO (Regent Instruments Inc., Kanada). Obliczono całkowitą długość korzenia (cm na roślinę) oraz średnią średnicę (w mm) korzeni. Próbkę korzeni losowo wybrano z pola, delikatnie obkopano i oczyszczono z większych agregatów glebowych. Następnie dokonano powolnego wypłukiwania gleby z korzeni na sicie, tak by zminimalizować ich uszkodzenie i oberwanie w wyniku wyciągania. Tak przygotowane rośliny położono na białym arkuszu papieru i oceniano organoleptycznie ich stan w świetle naturalnym i wykonano dokumentację fotograficzną. Rozpoznanie systemu korzeniowego oraz jego rozgałęzień i długości ma bardzo duży wpływ na ogólną kondycję rośliny, gdyż to właśnie przez nie pobierana jest woda z substancjami odżywczymi. Szczegółowe zbadanie tej cechy jest możliwe w analizie skanowania korzeni.



Zdjęcie 46.



Zdjęcie 47.

Zdjęcie 46 – 47. Obserwacje systemu korzeniowego prowadzone w trakcie wegetacji ziemniaka



Zdjęcie 48.



Zdjęcie 49.



Zdjęcie 50.

Zdjęcie 49 – 50. Kolejne etapy laboratoryjnej oceny korzeni ziemniaka.

5.4.11.3. Plon i parametry ziemniaka

Metodyka badania:

Operacja zakładała również przeprowadzenie badań w zakresie wielkości plonu, które miały na celu poznanie zdolności plonowania ziemniaka oraz wpływu nawożenia wglębnego fosforem, potasem i magnezem z głębokim spulchnianiem. Z punktu przeprowadzenia był to kluczowy wyznacznik pozwalający określić efektywność zastosowanej innowacji. Badanie to wykonano poprzez zważenie masy bulw ziemniaka pod roślinami z losowych miejsc na polu w wyznaczonych wcześniej strefach badań. Dzięki temu miejsca poboru bulw pochodziły z powierzchni pobierania próbek glebowych do analiz i miejsc prowadzenia monitoringu właściwości gleby.



Zdjęcie 51.



Zdjęcie 52.



Zdjęcie 53.



Zdjęcie 54.



Zdjęcie 55.



Zdjęcie 56.

Zdjęcia 51 – 56. Zbiór bulw ziemniaka z wyznaczonych punktów badawczych.



Zdjęcie 57.



Zdjęcie 58.

Zdjęcie 57 – 58. Pobrane bulwy ziemniaka zostały przewiezione z pola do magazynu i zważone w celu oceny plonowania

Badania dotyczyły również zawartości skrobi, która jest głównym składnikiem zapasowym ziemniaka.



Zdjęcie 59. Próbkki bulw ziemniaka przygotowane do przewiezienia do laboratorium Konsorcjanta w celu oceny zawartości skrobi.

Metodyka badania:

Zawartość skrobi w bulwach ziemniaka została oznaczona z wykorzystaniem metody wagi hydrostatycznej Reimanna-Parowa, która polegała na określeniu zależności między skrobiowością ziemniaków a ich ciężarem właściwym. Zasada pomiaru opiera się na korelacji między zawartością skrobi a ciężarem właściwym bulw. Oznaczenie skrobiowości przy użyciu wagi Reimanna-Parowa polega na zważeniu ziemniaków w powietrzu, a potem w wodzie. Na podstawie otrzymanych wyników pomiaru, oblicza się gęstość ziemniaków oraz zawartość suchej masy. Wartość skrobiowości ziemniaków otrzymuje się po odjęciu od suchej masy zawartości składników nie skrobiowych, które wynoszą średnio 5,75% (stała Maerckera). Ziemniaki bezpośrednio po zbiorze, zostały umieszczone w chłodnym i zacienionym miejscu, aby ograniczyć ubytek wody, a wyniki badań byłyby jak najbardziej reprezentatywne dla stanu rzeczywistego. Następnie odpowiednio pobrano próbki bulw i dostarczono do laboratorium Konsorcjanta w celu zasięgnięcia informacji na temat parametrów jakościowych bulw – zawartości skrobi.



Zdjęcie 60.



Zdjęcie 61.

Zdjęcia 60 – 61. 32 Pomiar zawartości skrobi w bulwach ziemniaka.

14. Wybrane wyniki badań

Głównym zamysłem działań w projekcie było stworzenie maszyny, która może być wykorzystywana jako narzędzie optymalizacji uprawy ziemniaka oraz innych roślin uprawnych. Prowadzone w ramach projektu badania gleb i roślin ziemniaka umożliwiły poznanie wpływu wytworzonej w ramach projektu innowacyjnej technologii na wybrane elementy żyzności i zdrowia gleb oraz rozwój i plonowanie ziemniaków. Uzyskane liczne są dobrym materiałem źródłowym, mają dużą wartość dydaktyczną oraz naukową i mogą być podstawą publikacji popularnonaukowych, jak i naukowych.

W tej części opracowania przedstawiono najważniejsze obserwacje wynikające z analizy szerokiego materiału badawczego i opisano wybrane studia przypadków. Wyniki badań i ich analiza potwierdziły, że wytworzona innowacja w postaci modułowej maszyny może w istotny sposób kształtować wybrane właściwości gleby, mające kluczowe znaczenie w produkcji ziemniaka oraz innych gatunków roślin uprawnych.

Szczególnie cennych wyników dostarczyły doświadczenia polowe, w których równorzędnie możliwe było testowanie równocześnie trzech różnych technologii uprawy ziemniaka:

- **W wariancie pierwszym uprawy uproszczonej innowacyjną maszyną uprawową - A**, zastosowano uprawę głęboką z nawożeniem na głęboko. Zabieg uprawy i nawożenia wgłębnego wykonano wiosną przed sadzeniem ziemniaka maszyną własnej konstrukcji. Agregat spulchniał glebę na głębokość 50 cm i jednocześnie aplikował nawóz NPK na głębokość 35 cm i 50 cm. Rozstaw pasów uprawnych wynosił 30 cm.
- **W drugim wariancie nazwanym uprawą uproszczoną B**, jesienią wykonano uprawę broną talerzową ścierniska na głębokość 10 cm. Nawóz NPK został wysiany rozsiewaczem nawozowym, który następnie wymieszano z glebą broną talerzową. Przed sadzeniem wykonano uprawę kultywATOREM na głębokość 30 cm.
- **Trzeci tradycyjny wariant uprawowy – C**, polegał na tradycyjnej uprawie płużnej, jesienią wykonano uprawę broną talerzową ścierniska na głębokość 10 cm. Wiosną wysiano nawóz potasowy oraz NPK rozsiewaczem nawozowym i

wykonano orkę na głębokość 30 cm. Przed sadzeniem doprawiono glebę broną zębową ciężką

Wszystkie wytypowane do badań lokalizacje położone były na glebach charakterystycznych. Były to gleby brunatne wytworzone na lessach i lessach spiaszczonych, charakteryzujące się zawartością cząstek granulometrycznych o średnicy 0,002 od 8 do 22 %

W jaki sposób wytworzona w ramach projektu innowacyjna technologia wpłynęła na zwięzłość gleb?

Zwięzłość gleby jest najczęściej definiowana jako opór, który ona stawia podczas jej rozcinania narzędziami, np. do uprawy. Opór ten jest uzależniony od tarcia na granicy gleba/narzędzie oraz od lepkości gleby. Wzrost zwięzłości gleb uprawnych jest wynikiem ich naturalnego osiadania, jednak kluczowa rola w kształtowaniu zwięzłości gleb ma ugniatające działanie kół ciągników i innych maszyn, oraz elementów roboczych maszyn i narzędzi rolniczych. Dlatego należy spodziewać się, że w intensywnych systemach uprawy, wymagających zaangażowania większej ilości pracy w przygotowanie łoża siennego dla roślin, takich jak uprawa płużna, w profilu gleb mogą wystąpić objawy nadmiernego zagęszczenia i wzrostu zwięzłości gleb.

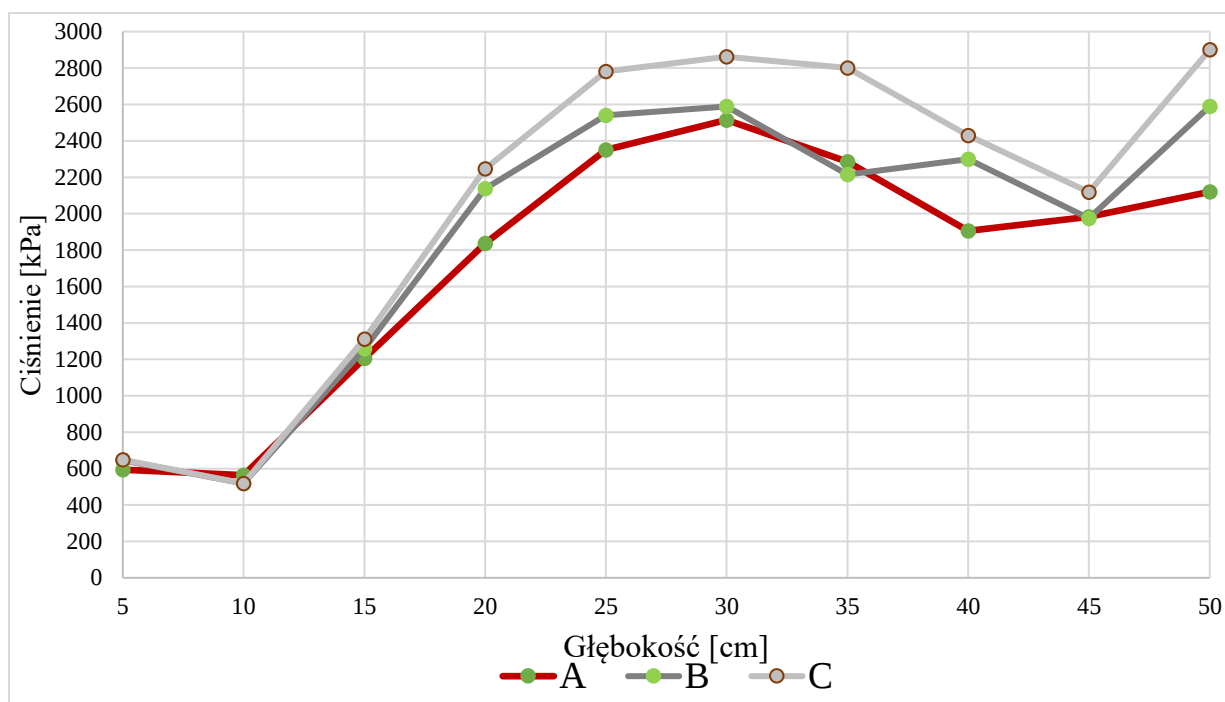
Jedną z najczęstszych przyczyn degradacji jakości fizycznej gleb w wyniku wzrostu zwięzłości warstw gleby jest poruszanie się po polu i prowadzenie zabiegów uprawowych w warunkach nadmiernego uwilgotnienia gleb. Największą podatność na ugniatanie wykazują gleby wilgotne. Dlatego wszelkie zabiegi należy prowadzić w warunkach optymalnej wilgotności uprawowej, przy której zwięzłość i lepkość gleb są na optymalnym poziomie. Każdy gatunek gleby posiada określoną wilgotność, przy której jej podatność na zagęszczenie jest największa i w mechanice gruntów nosi ona nazwę optymalnej wilgotności zagęszczania.

Pomimo, że większość roślin uprawnych rozwija główną masę korzeni w warstwie poddawanej uprawie, należy tak kształtować fizyczne właściwości gleb uprawnych, aby możliwe było przerastanie korzeni roślin również do głębszych partii profilu glebowego. Głębokie korzenienie się roślin uprawnych może mieć kluczowe znaczenie zwłaszcza w warunkach posusznych, w których rośliny uprawne mogą korzystać z wody i składników pokarmowych dostępnych w głębszych warstwach gleby. Występowanie na granicy warstwy

uprawianej choroby gleb takiej jak podeszwa płużna czy zbytniego zagęszczenia gleby poniżej uprawianej warstwy może znacząco ograniczać rozwój korzeni roślin uprawnych i wzmacniać ich podatność na stresy środowiskowe.

Przeprowadzone badania zwięzłości gleby w różnych technologiach uprawy roli wykazały, że pomimo pewnych tendencji, analiza statystyczna nie potwierdziła istotnego wpływu uprawy na zwięzłość poszczególnych warstw gleby na różnych głębokościach. Na rysunku x przedstawiono łącznie uśrednione wartości z 72 pomiarów zwięzłości gleby prowadzonych w trakcie wegetacji ziemniaka w doświadczeniach polowych w trzech technologiach uprawy – A – uprawa bezorkowa na głęboko z nawożeniem na głęboko za pomocą agregatu autorskiej konstrukcji, B – uprawa bezorkowa całopowierzchniowa kultywátorem, C – tradycyjna uprawa płużna.

We wszystkich analizowanych przedziałach głębokości: 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-45, 45-50 cm, średnia zwięzłość gleby nie różniła się istotnie pomiędzy porównywanymi technologiami uprawy roli. Największe rozbieżności w zwięzłości odnotowano w warstwach głębszych – między 20 a 40 cm oraz poniżej 45 cm, zwłaszcza pomiędzy wariantem z tradycyjna uprawa płużna a technologiami uprawy bezorkowej. Stosowanie technologii płużnej spowodowało wzrost zwięzłości gleby w tych warstwach, podczas gdy stosowanie uprawy głębokiej z nawożeniem na głęboko charakteryzowało się najmniejszą zwięzłością warstw gleby poniżej 15 cm – wskazuje to na rozluźniające działanie elementów roboczych w zasięgu ich oddziaływania. Ponadto modułowa budowa agregatu sprawia, że ilość przejazdów po polu związana z przygotowaniem gleby do sadzenia ziemniaków jest znacząco zredukowana w porównaniu zarówno do tradycyjnej technologii płużnej, jak i technologii bezorkowej prowadzonej z wykorzystaniem kultywátora.



Rysunek 15. Zmiany zwięzłości gleby w różnych technologiach uprawy.

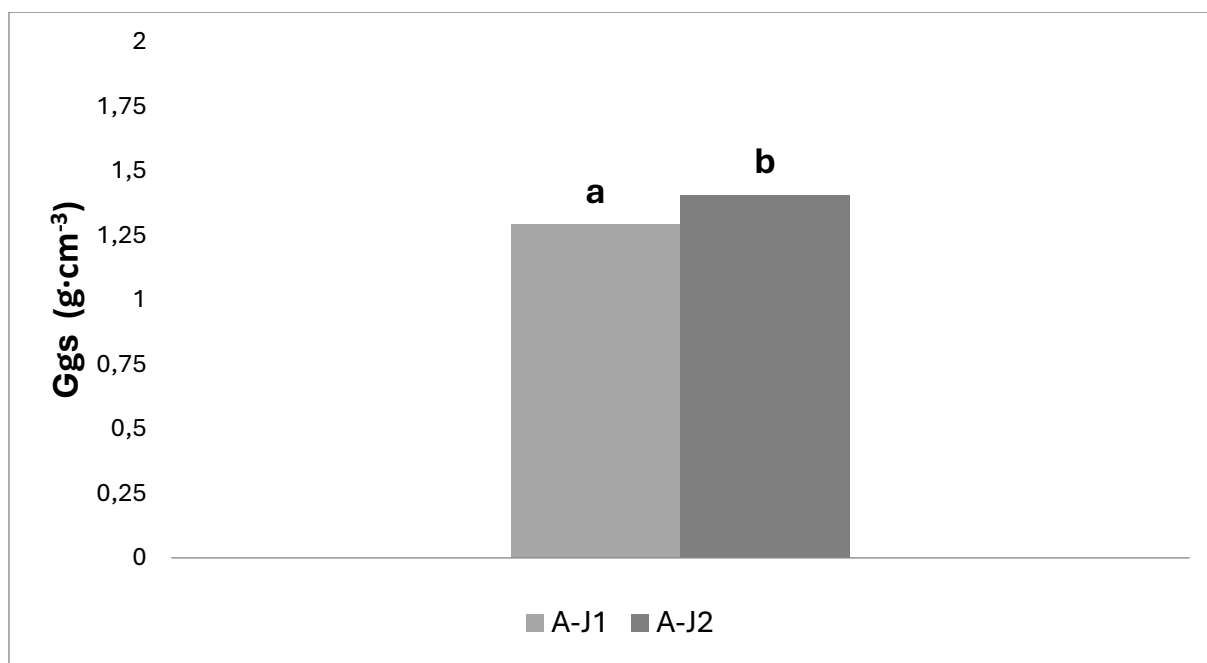
Brak różnic w zwięzłości gleby pomiędzy porównywanymi technologiami uprawy może wynikać z przestrzegania w gospodarstwach zasad prowadzenia zabiegów polowych w optymalnych warunkach wilgotności gleby. Takie postępowanie zapobiega degradacji fizycznej gleb.

Czy wytworzona w ramach projektu innowacyjna technologia wpłynęła na wodno-powietrzne właściwości gleb?

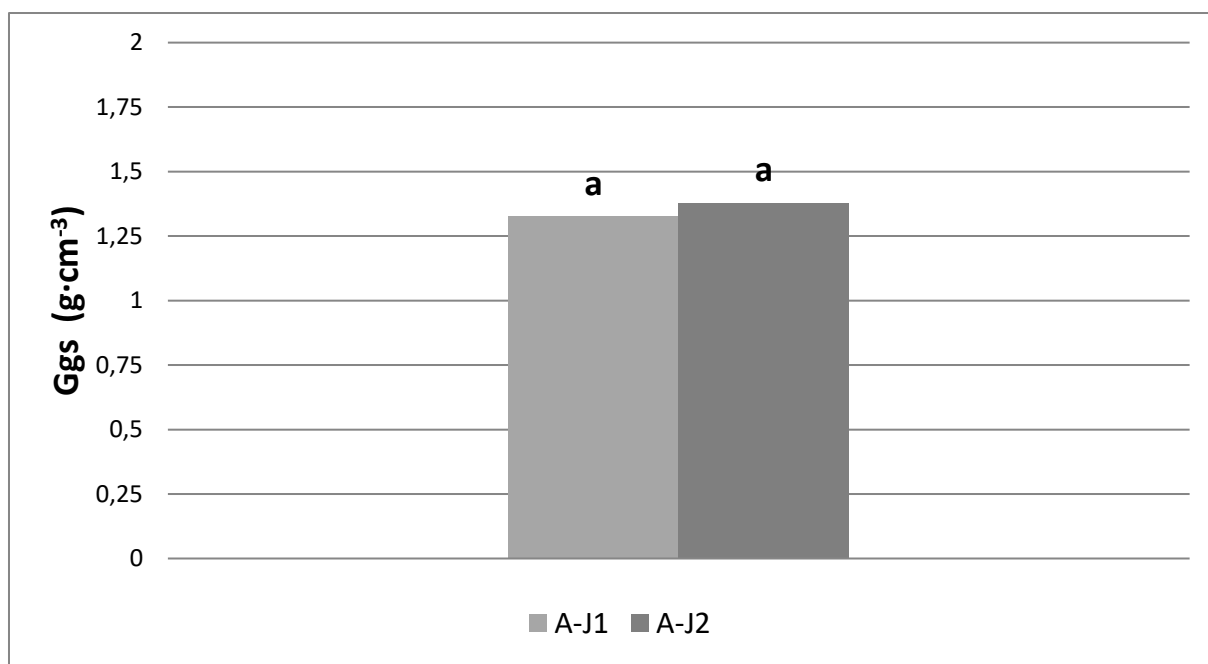
Opisywana maszyna, która powstała w procesie realizacji operacji, po procesie sadzenia ziemniaków, przed ich wschodami, spulchnia glebę w środku międzyrzędzi ziemniaków, za pomocą specjalnej redlicy, wyposażonej w aparat do aplikacji nawozów granulowanych, za którymi znajduje się sekcja formująca, która kształtuje ostateczny układ redlin ziemniaków.

Możliwość regulacji różnych parametrów pracy maszyny decyduje o jej bezpośrednim oddziaływaniu na właściwości uprawianej gleby. Ponadto specyficzne oddziaływanie na właściwości gleby, oszczędzające jej naturalny układ, mają wpływ na kształtowanie w glebie właściwości fizycznych, w tym właściwości wodno-powietrznych gleb, co potwierdziły przeprowadzone badania.

Ciekawych informacji zwrotnych dostarczyły wyniki oceny właściwości wodno-powietrznych gleb z doświadczenia polowego w miejscowości Jarosławiec – pole J1 oraz pole J2. Oba doświadczenia charakteryzowały się bardzo zbliżonym składem granulometrycznym we wszystkich strefach badawczych i regularnym, wyrównanym ukształtowaniem powierzchni pola. Dzięki tym uwarunkowaniom stanowiły dobry materiał porównawczy względem siebie. W warunkach tych doświadczeń testowano Cechą odróżniającą doświadczenia od siebie były różnice w gęstości gleby suchej, wynikające z różnych ustawień parametrów powstałego w ramach projektu modułowego agregatu uprawowego na potrzeby ulepszania wytwarzanej innowacji. W konsekwencji w doświadczeniu J1 w środku redlin odnotowano istotnie mniejszą gęstość gleby suchej (Ggs) w testowanej innowacyjnej technologii (oznaczonej jako A) w porównaniu do po tej cechy w doświadczeniu J2 (rys. 16). Natomiast analizując gęstość gleby suchej średnio dla wszystkich trzech technologii uprawy, była ona na podobnym poziomie w obu doświadczeniach.

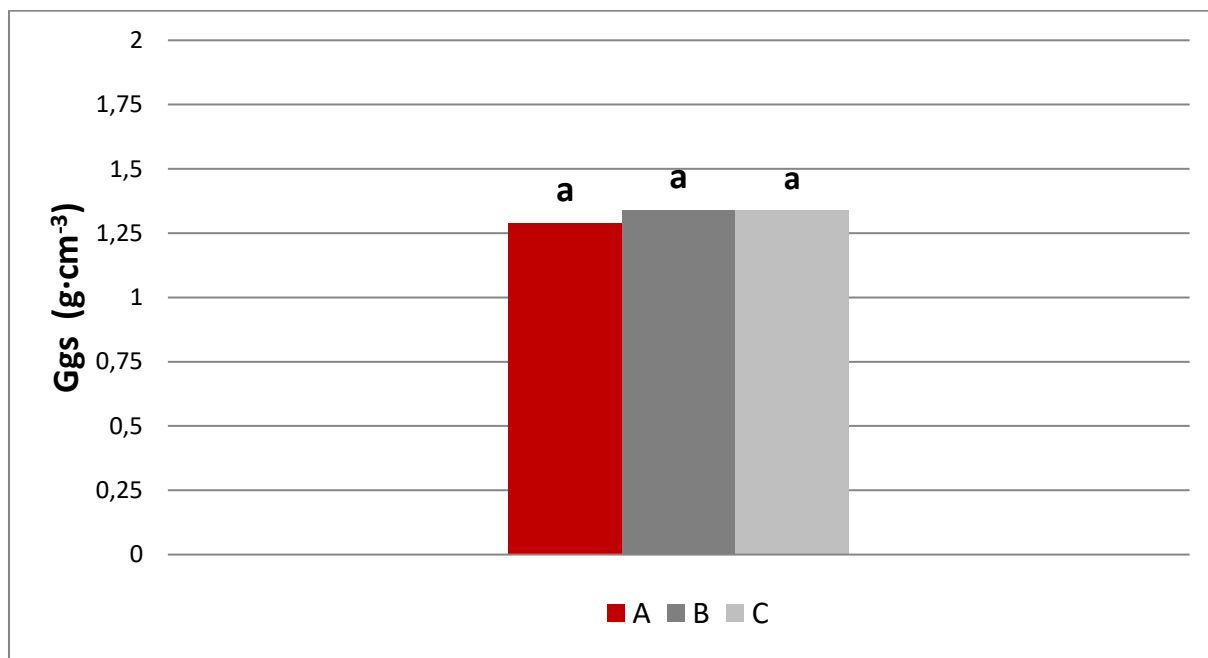


Rysunek 16. Gęstość gleby suchej warstwy 0-30 cm w testowanej innowacyjnej technologii ziemniaka w porównywanych doświadczeniach polowych.

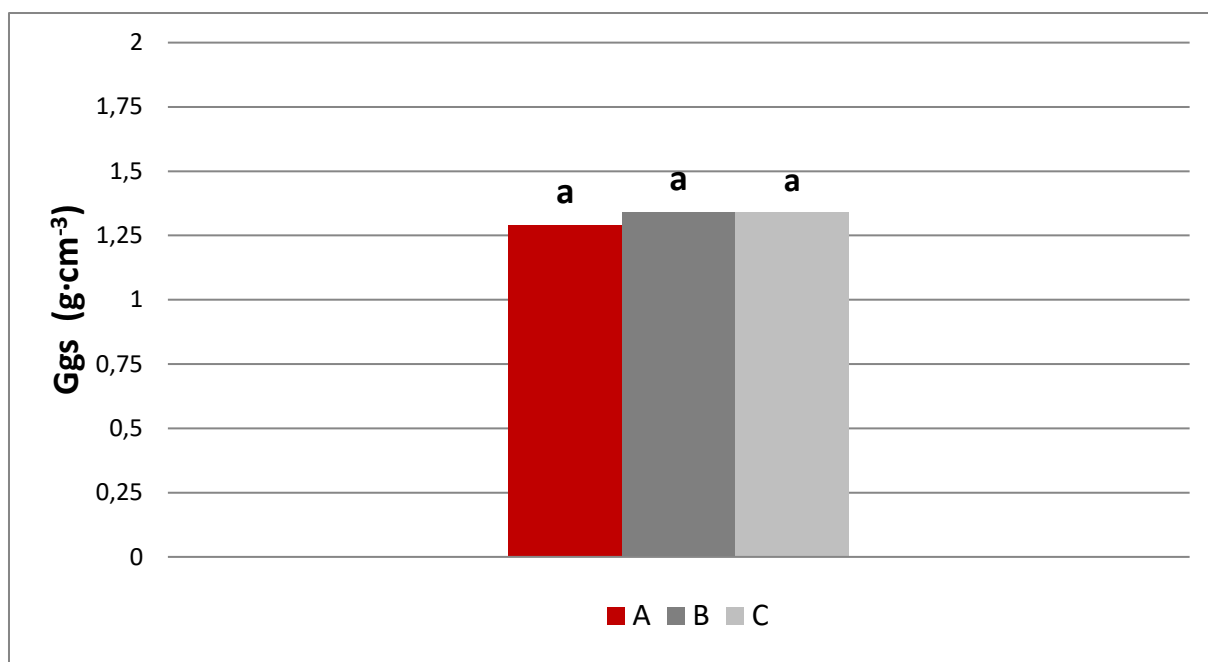


Rysunek 17. Średnia gęstość gleby suchej warstwy 0-30 cm w porównywanych doświadczeniach polowych.

Gęstość gleby suchej gleb w analizowanych technologiach uprawy oddzielnie dla porównywanych doświadczeń przedstawiono na rysunkach 18 i 19.



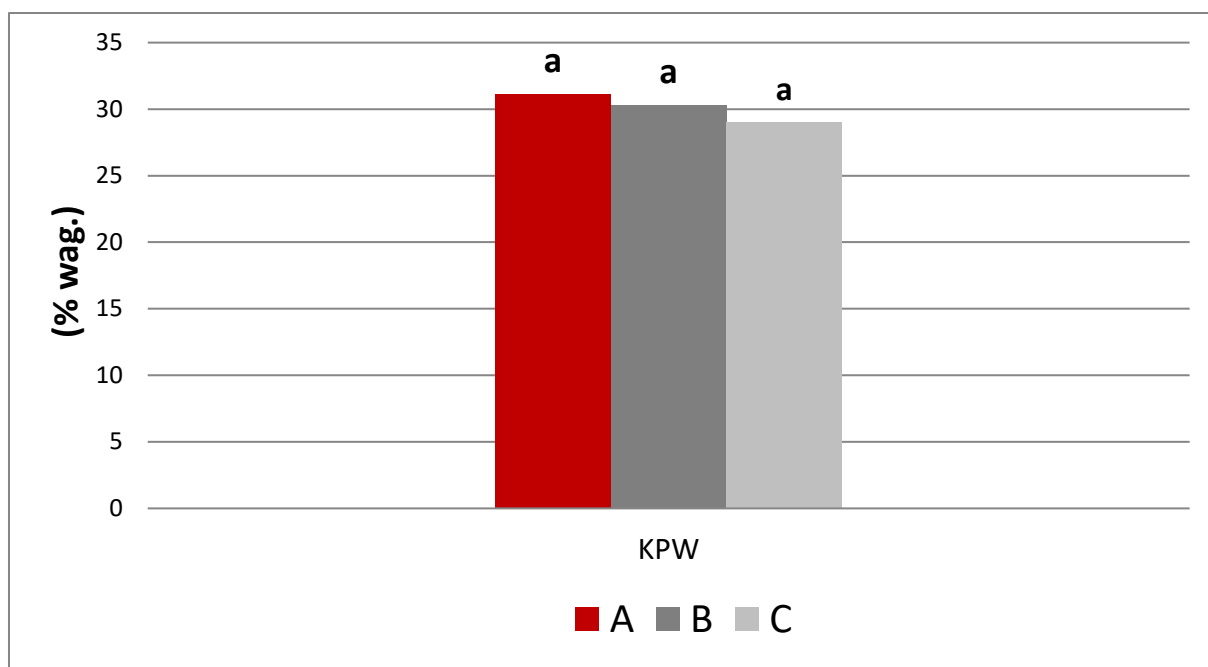
Rysunek 18. Gęstość gleby suchej warstwy 0-30 cm w testowanej innowacyjnej technologii ziemniaka w doświadczeniu polowym J1.



Rysunek 19. Gęstość gleby suchej warstwy 0-30 cm w doświadczeniu polowym J2.

Analiza właściwości wodno-powietrznych w porównywanych doświadczeniach polowych wskazała, że w redlinach o mniejszym zagęszczeniu w strefach uprawianych agregatem własnej konstrukcji (doświadczenie J1) gleba uprawiana innowacyjną technologią ma większą tendencję do gromadzenia wody łatwo dostępnej dla roślin, która jest związana w porach o większej średnicy mniejszymi siłami kapilarnymi w porównaniu do gleby z redlin o większym zagęszczeniu. Wskazuje na to większa ilość wody oznaczona przy kapilarnej pojemności wodnej – KPW oraz polowej pojemności wodnej po zastosowaniu nadciśnienia wypychającego wodę z kapilar glebowych o mniejszej wartości.

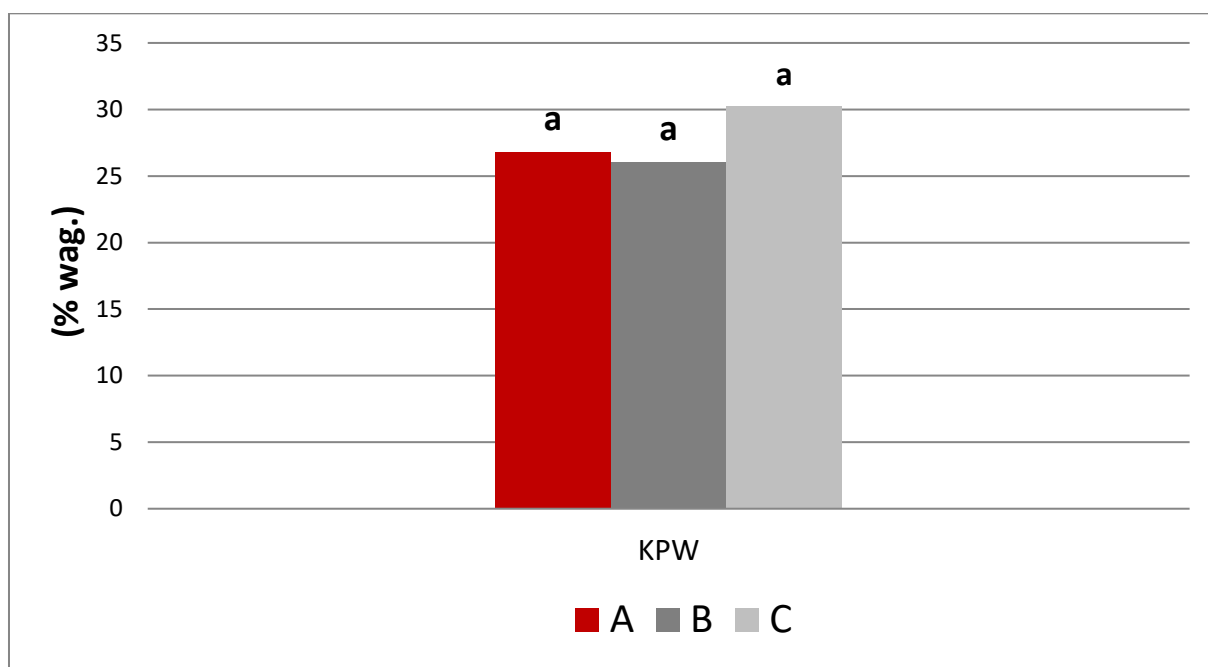
Poziom kapilarnej pojemności wodnej w doświadczeniu J1 w technologii uprawy z wykorzystaniem innowacyjnej maszyny własnej konstrukcji (wariant A) umożliwiającą uprawę na głęboko z nawożeniem na głęboko był nieco większy w porównaniu do uprawy bezorkowej całopowierzchniowej (wariant B uprawy) oraz konwencjonalnej uprawy płużnej. Pomimo tych tendencji nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy technologiami uprawy, o czym na rysunku 20 świadczą te same litery nad słupkami średnich wartości.



Rysunek 20. Kapilarna pojemność wodna – KPW w warstwie 0-30 cm w doświadczeniu polowym J1.

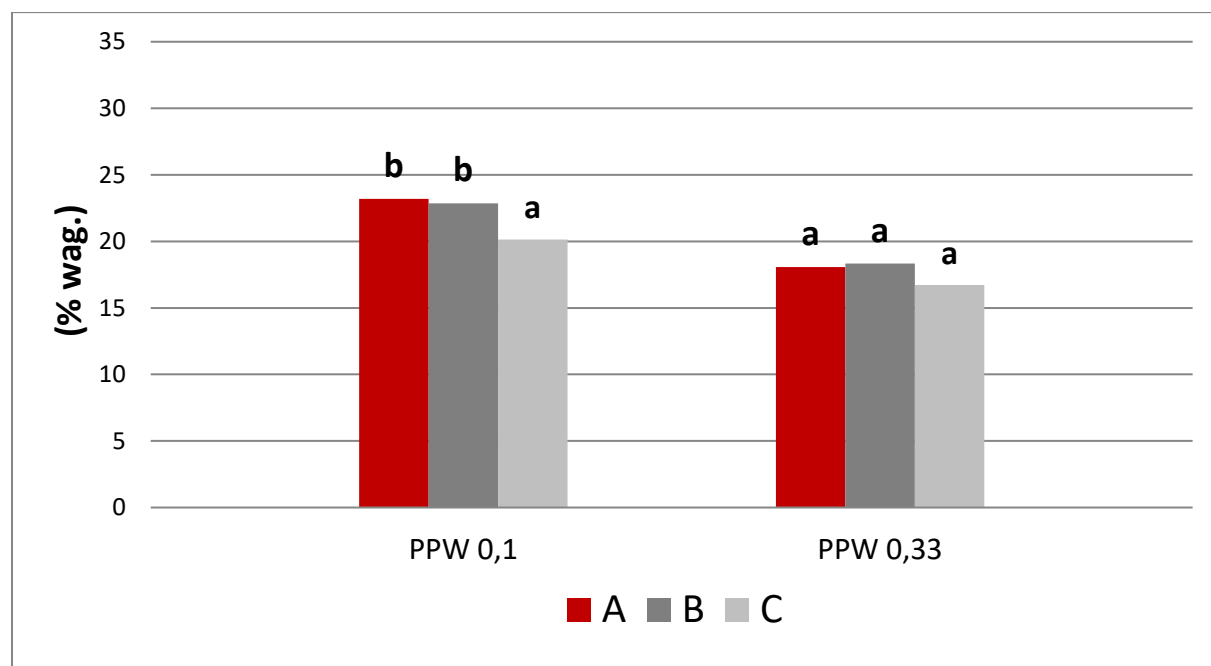
W doświadczeniu J2 stwierdzono natomiast tendencje odwrotną – gleba w uprawie orkowej wykazywała większą kapilarną pojemność wodną w porównaniu do pozostałych testowanych technologii uprawy ziemniaka, jednak różnice pomiędzy średnimi nie zostały potwierdzone statystycznie (rys. 21).

J2

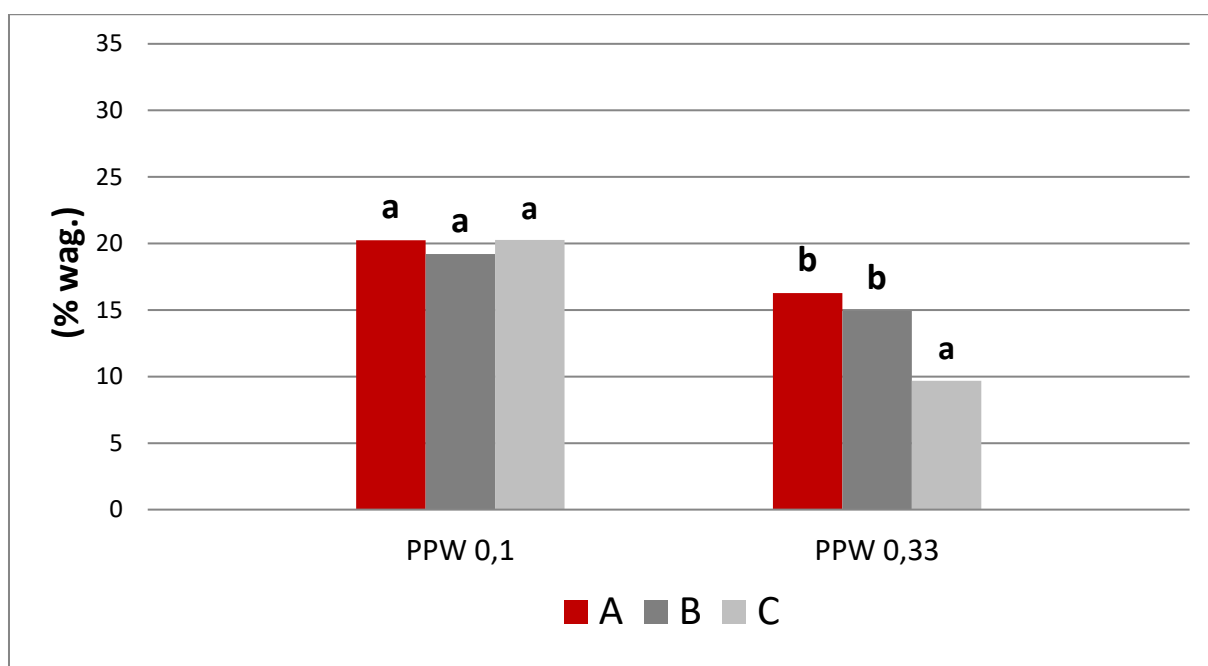


Rysunek 21. Kapilarna pojemność wodna – KPW w warstwie 0-30 cm w doświadczeniu polowym J2.

Analizując polowa pojemność wodną (PPW) w zakresie ciśnień 01 – 0,33 bara również zaobserwowano różne tendencję w doświadczeniach polowych, co przedstawiono na kolejnych rysunkach 22 i 23. W doświadczeniu J1 gleba w innowacyjnej technologii uprawy głębokiej z nawożeniem na głęboko wykazywała większą zdolność zatrzymywania wody wiązanej przez pory glebowe mniejszymi siłami w porównaniu do pozostałych technologii uprawy ziemniaka, zwłaszcza tradycyjnej uprawy płużnej (wariant C), co dodatkowo zostało potwierdzone statystycznie. W przypadku polowej pojemności wodnej oznaczonej dla większej siły ssącej gleby (0,33 bara) nie stwierdzono w doświadczeniu J1 różnic pomiędzy obiektami uprawowymi, choć nieco więcej zatrzymywał układ gleby w technologiach bezorkowych w porównaniu do tradycyjnej uprawy płużnej. Zgoła odmienna sytuacja została odnotowana w doświadczeniu J2 – tutaj stosowana technologia uprawy istotnie kształtowała zawartość wody w glebie przy polowej pojemności wodnej ustalonej dla nadciśnienia 0,33 bara. Stwierdzono większą zdolność do retencjonowania wody w glebie w technologiach bezorkowej uprawy w porównaniu do tradycyjnej uprawy płużnej (rys 24), co potwierdziła również analiza statystyczna wyników. Jednocześnie odnotowano największą wartość PPW w autorskiej technologii uprawy.

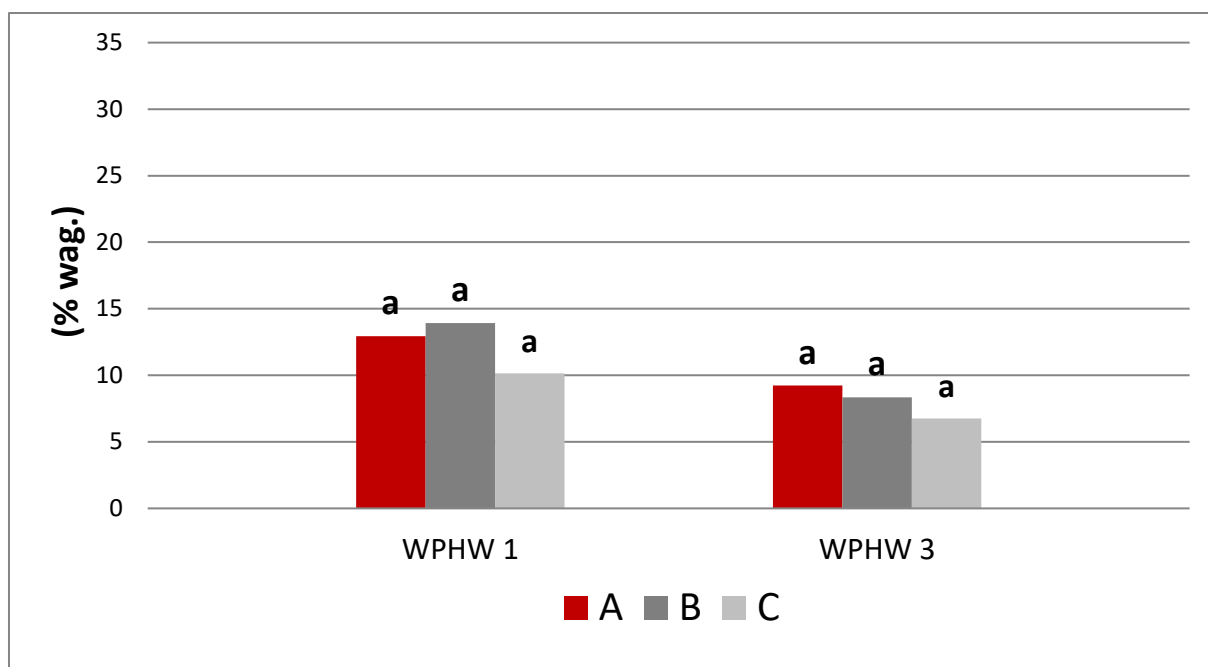


Rysunek 24. Polowa pojemność wodna – PPW w warstwie 0-30 cm w doświadczeniu polowym J1.



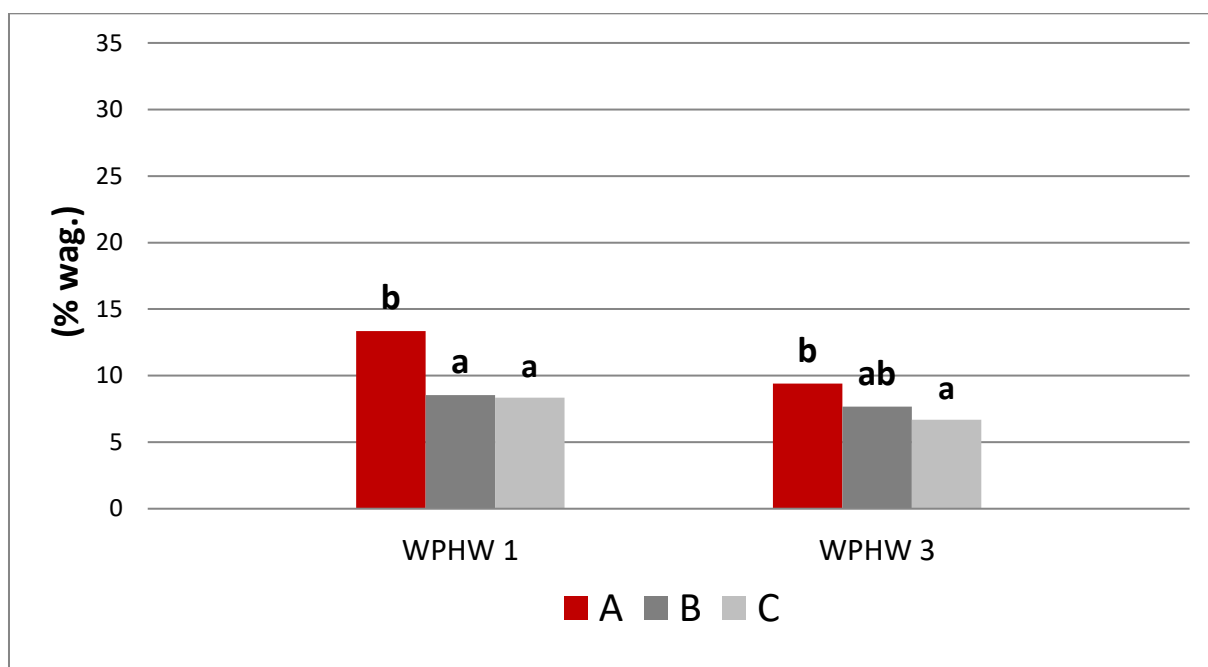
Rysunek 25. Połowa pojemność wodna – PPW w warstwie 0-30 cm w doświadczeniu polowym J2.

Wraz z wysychaniem gleby siła wiązania wody w glebie wzrasta i zretencjonowana woda staje się coraz trudniej dostępna dla roślin. Wilgotność początku zahamowania wzrostu roślin – WPHW dostarcza informacji o zdolności wody do zatrzymywania wody trudno i bardzo trudno dostępnej dla roślin. Ten rodzaj wody może odgrywać kluczową rolę w dostarczaniu wody roślinom w okresach przedłużających się okresów bez opadów. W analizowanych doświadczeniach wartość WPHW była zróżnicowana. W doświadczeniu J1 nie stwierdzono istotnych różnic w poziomie tej pojemności wodnej oznaczonej przy sile ssącej gleby 1 oraz 3 bara, pomimo pewnego wzrostu jej poziomu w obiektach z technologią bezorkowej uprawy ziemniaka. Zwłaszcza przy wyższej sile ssącej gleby ilość wody utrzymywanej przez układ gleby był największy w redlinach w obiekcie z technologią uprawy na głęboko z nawożeniem na głęboko własnej konstrukcji (wariant A) – rys. 26.



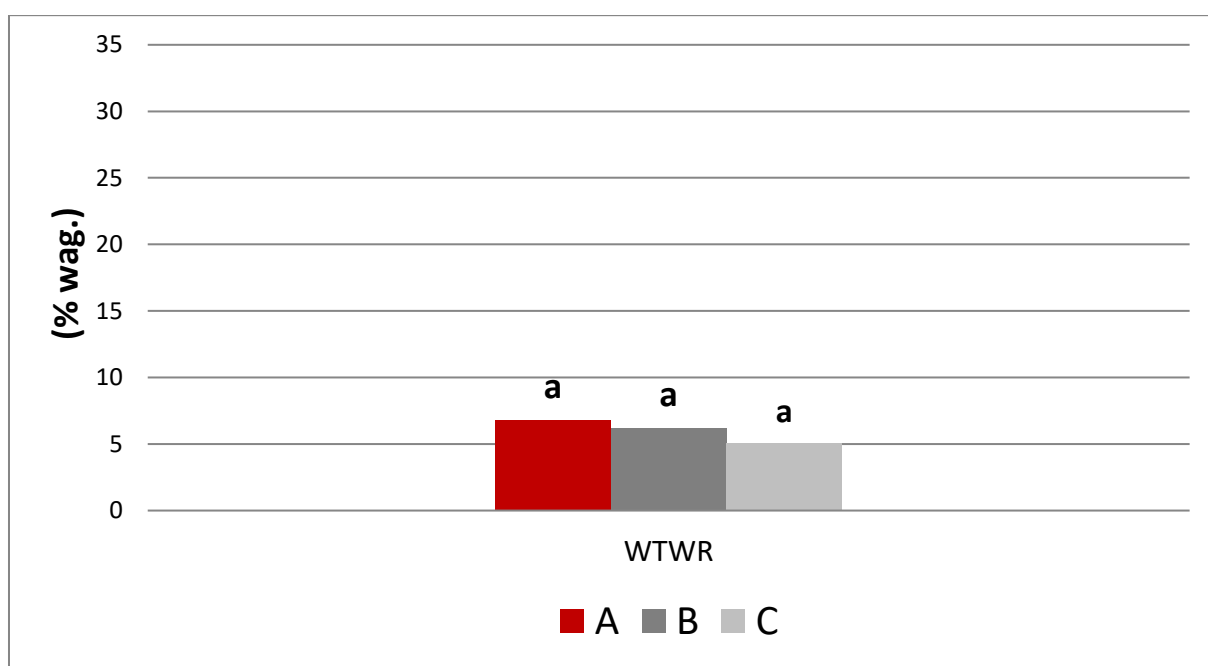
Rysunek 26. Wilgotność początku hamowania wzrostu roślin - WPHW w warstwie 0-30 cm w doświadczeniu polowym J1.

Natomiast w doświadczeniu uprawowym J2 stosowana technologia uprawy wpłynęła różnicująco na wilgotność początku hamowania wzrostu roślin – rys. 27. Odnotowano istotnie więcej wody w glebie przy tej pojemności wodnej w glebie pod wpływem zastosowania innowacyjnej technologii uprawy na głęboko z nawożeniem na głęboko w porównaniu do obiektu z tradycyjną uprawą płużną.

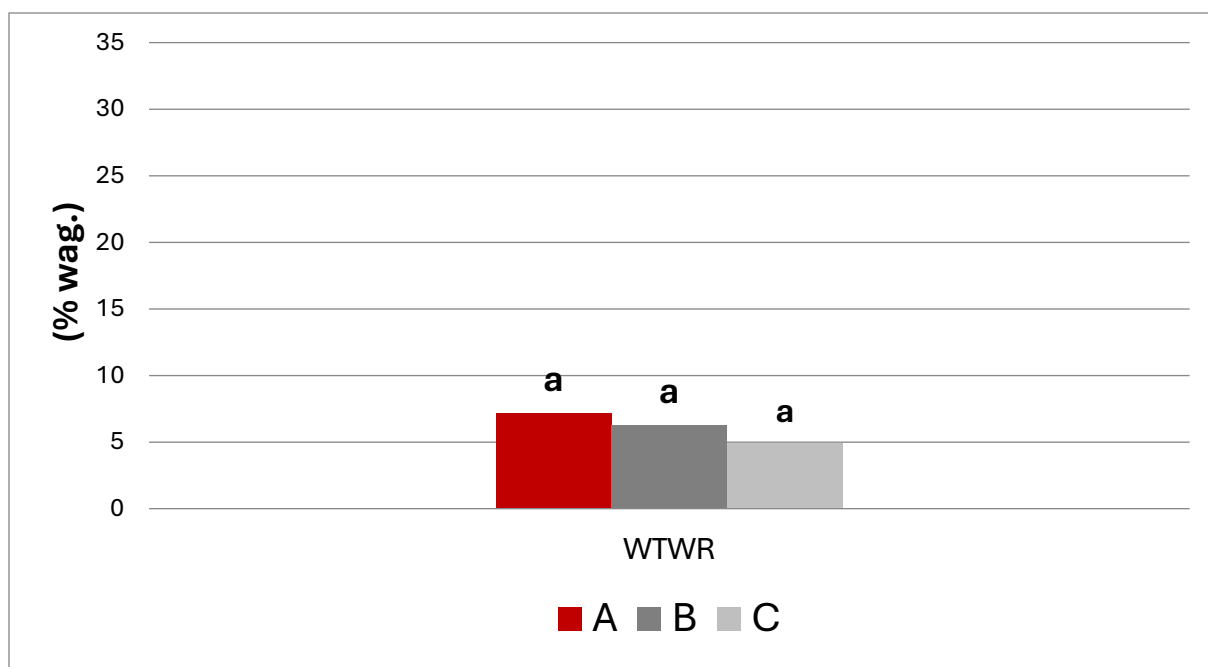


Rysunek 27. Wilgotność początku hamowania wzrostu roślin - WPHW w warstwie 0-30 cm w doświadczeniu polowym J2.

W pełnej analizie właściwości wodno-powietrznych gleb ważne jest również ustalenie ilości wody niedostępnej dla roślin, co charakteryzuje wilgotność trwałego wędnięcia roślin – WTWR. Przy tej pojemności wodnej w glebie znajduje się już tylko woda niedostępna dla roślin z której rośliny nie mogą korzystać. Zawartość w glebie wody przy WTWR w glebach powinna być możliwie najniższa. Pomimo nieznacznie większej wartości tego parametru w glebach w uprawa bezorkową, nie stwierdzono istotnych różnic w wodzie niedostępnej dla roślin pomiędzy technologiami uprawy – rys 28 i 29.



Rysunek 28. Wilgotność trwałego wędnięcia roślin - WTWR w warstwie 0-30 cm w doświadczeniu polowym J1.

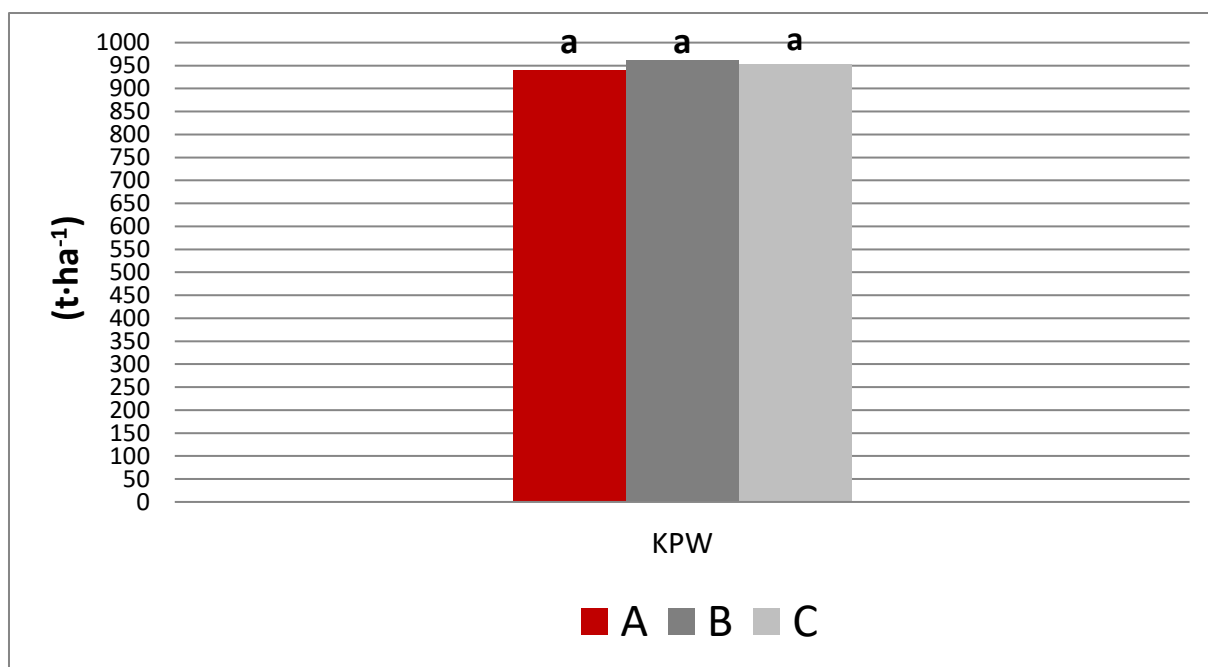


Rysunek 29. Wilgotność trwałego wędnięcia roślin - WTWR w warstwie 0-30 cm w doświadczeniu polowym J2.

Zasadnicze znaczenie dla produkcji roślinnej ma dostępność wody dla roślin na różnych poziomach uwilgotnienia gleby, wynikająca z różnicy pomiędzy różnymi pojemnościami wodnymi, a wilgotnością trwałego wędnięcia roślin – WTWR.

Pełna analiza właściwości gleby pozwoliła obliczyć zapas wody dostępnej dla roślin w warstwie gleby do 30 cm we przeliczeniu na $t \cdot ha^{-1}$ oraz mm. Przeliczenie zapasu na mm pozwala porównać ilość wody zgromadzonej w glebie do opadów, które mierzy się tymi samymi jednostkami. Zapas wody ustalono dla wszystkich oznaczonych pojemności wodnych, co przedstawiono na kolejnych rysunkach.

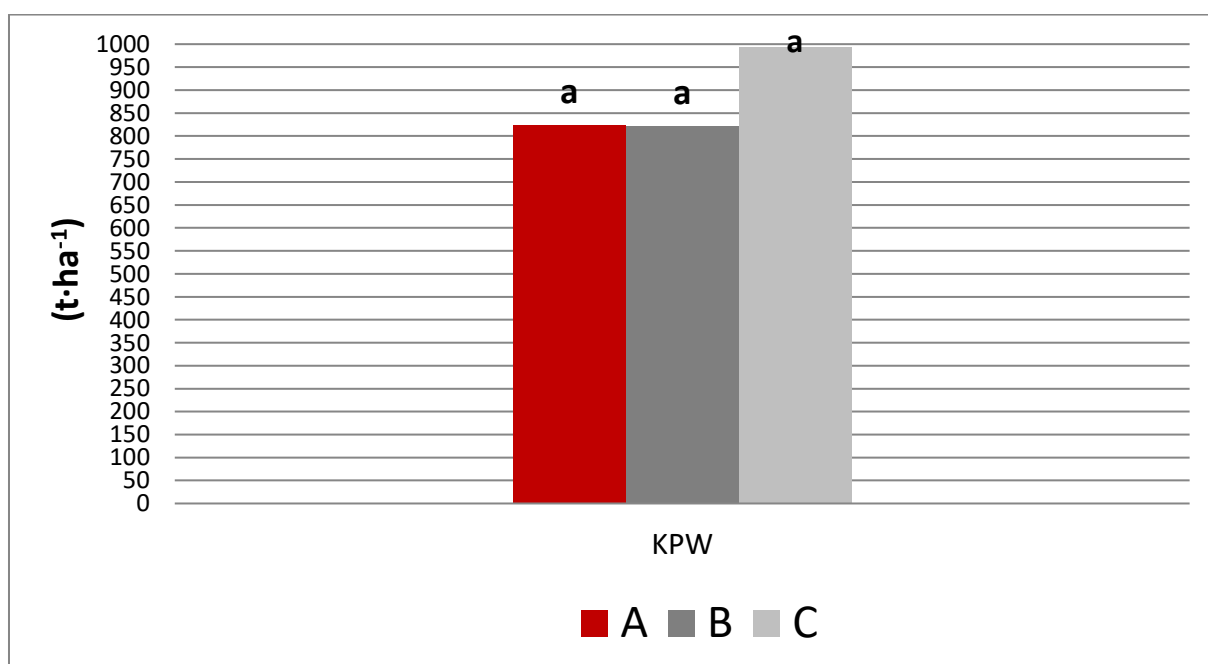
Na rysunku 30 przedstawiono zapas wody przy kapilarnej pojemności wodnej – KPW wyrażony w tonach na hektar dla warstwy gleby 0-30 cm. Zapas był wyrównany we wszystkich analizowanych technologiach uprawy ziemniaka.



Rysunek 30. Zapas wody dostępnej przy kapilarnej pojemności wodnej - KPW w warstwie 0-30 cm w doświadczeniu polowym J1.

W doświadczeniu J2 zapas wody dostępnej dla roślin przy kapilarnej pojemności wodnej – KPW (rys. 31) był średnio największy w glebie w uprawie orkowej i jednocześnie charakteryzował się dużą zmiennością w obrębie tego systemu uprawy, dlatego różnica ta nie została potwierdzona statystycznie.

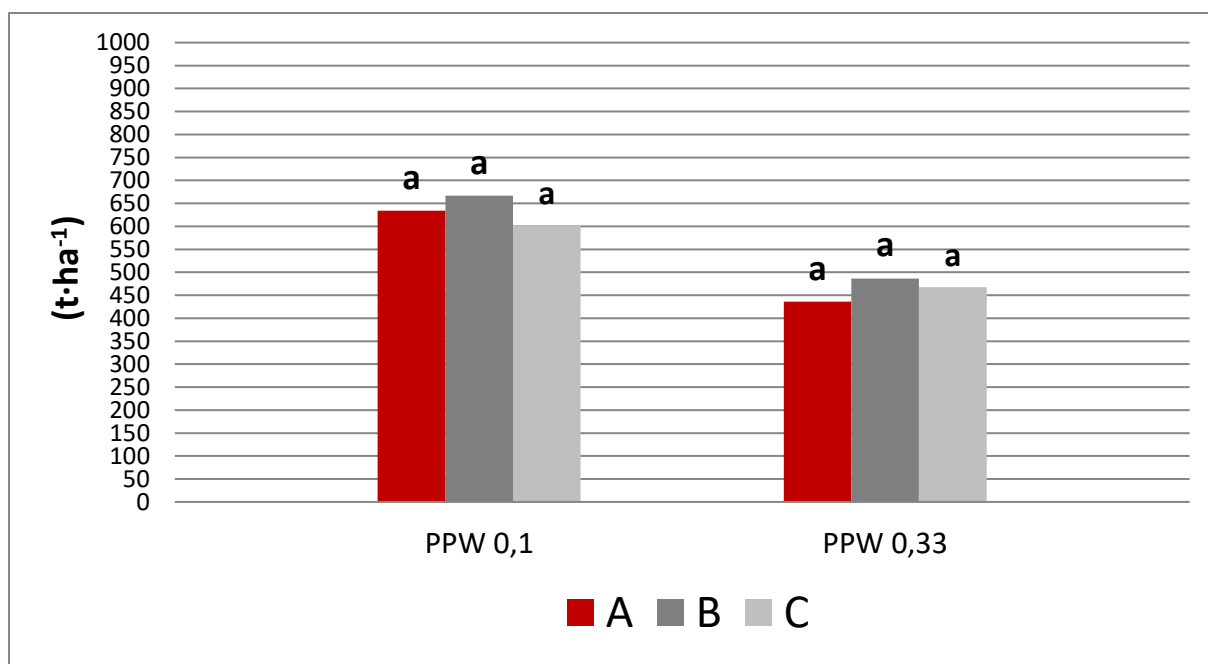
J2



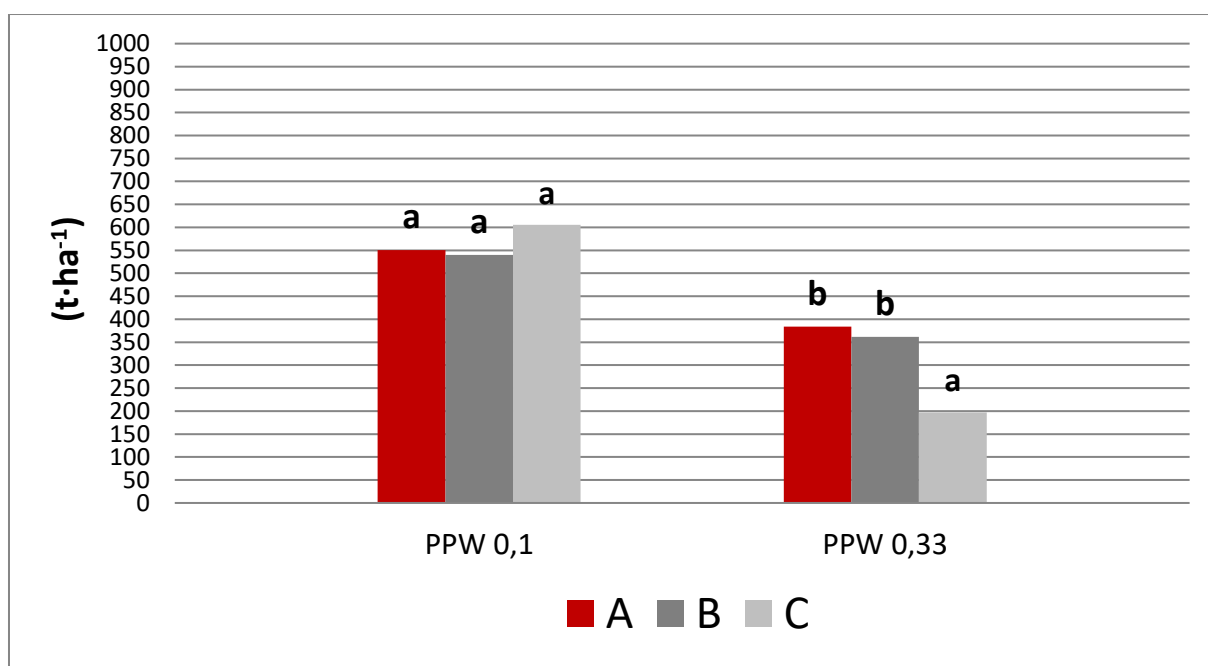
Rysunek 31. Zapas wody dostępnej przy kapilarnej pojemności wodnej - KPW w warstwie 0-30 cm w doświadczeniu polowym J2.

Woda dostępna dla roślin obliczona dla polowej pojemności wodnej – PPW dostarcza informacji o ilości wody zretencjonowanej w glebie na dłuższy czas, po odcieknięciu wody grawitacyjnej. Ten rodzaj wody jest wiązany w glebie siłami kapilarnymi przewyższającymi siły grawitacyjne, a jednocześnie oznacza zdolność gleby do gromadzenia wody łatwo dostępnej dla roślin, z której rośliny mogą korzystać w okresie między opadami. Kluczowe jest, aby kształtować właściwości retencyjne gleby w kierunku zwiększania zdolności retencyjnych gleby na poziomie polowej pojemności wodnej – PPW.

W doświadczeniu J1 zapas wody w tonach na hektar przy obu analizowanych siłach wiązania wody w glebie charakterystycznych dla polowej pojemności wodnej był podobny we wszystkich analizowanych technologiach uprawy ziemniaka (rys. 32). Nie stwierdzono udowodnionych statystycznie różnic zdolności retencyjnej gleby. Natomiast w doświadczeniu J2 wpływ stosowanych technologii uprawy na zdolności retencyjne gleby wyraźnie zaznaczył się w przypadku polowej pojemności wodnej przy sile ssącej gleby 0,33 bara (rys. 33). Większa polową pojemnością wodną charakteryzowała się gleba z technologii bezorkowych w porównaniu do gleby uprawianej tradycyjną metodą z zastosowaniem pługa. Odnotowano jednocześnie nieco większą ilość zretencjonowanej wody łatwo dostępnej dla roślin w uprawie z wykorzystaniem innowacyjnej maszyny własnej konstrukcji – oznaczonej jako wariant A na rysunku.

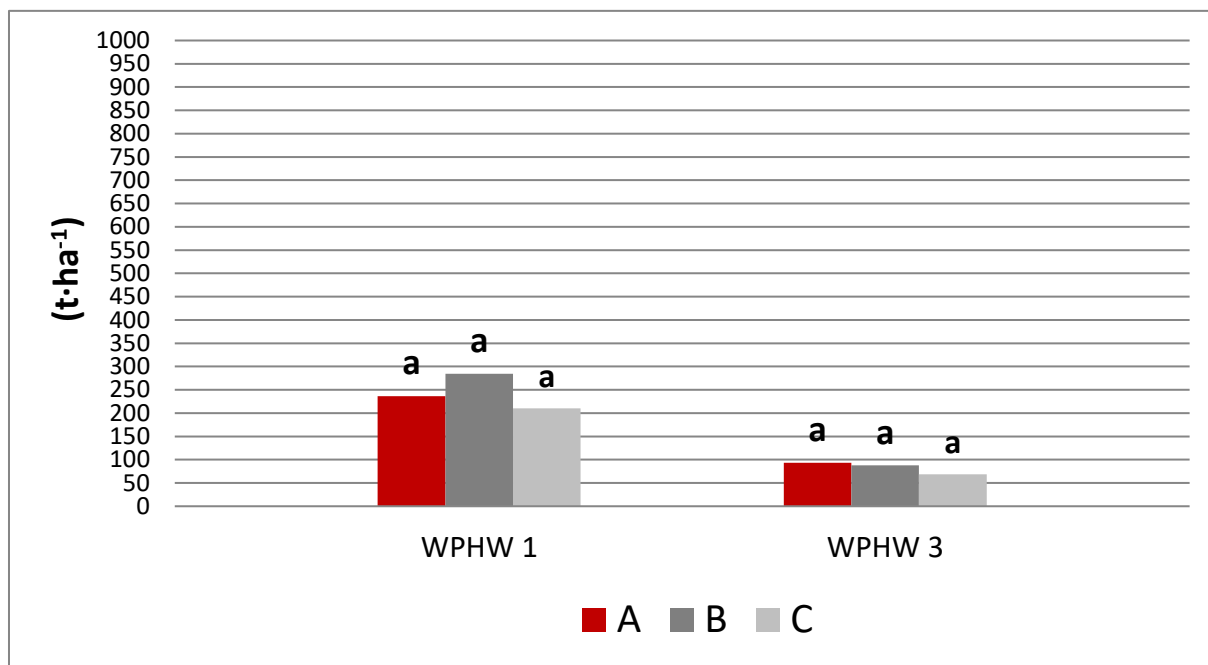


Rysunek 32. Zapas wody łatwo dostępnej dla roślin przy połowej pojemności wodnej - PPW w warstwie 0-30 cm w doświadczeniu polowym J1.

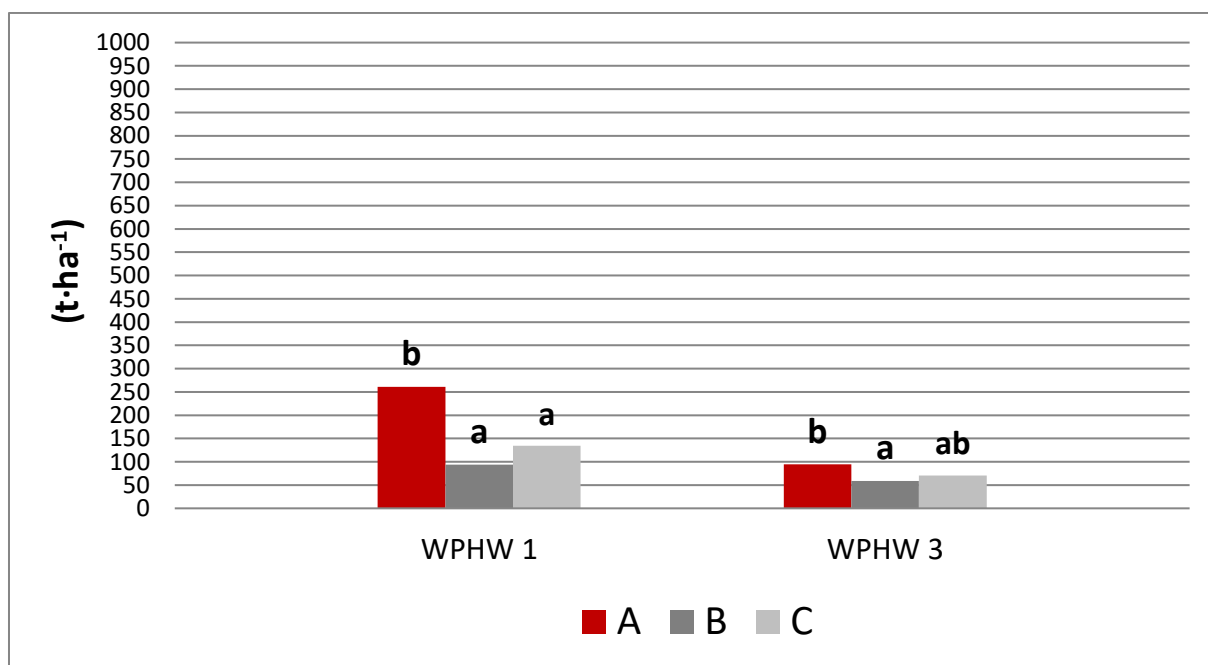


Rysunek 33. Zapas wody łatwo dostępnej dla roślin przy połowej pojemności wodnej - PPW w warstwie 0-30 cm w doświadczeniu polowym J1.

Podobne tendencje wykazywała ilość wody dostępnej dla roślin obliczona dla wilgotności trwałego wędnięcia roślin – WPHW (rys. 34 i 35). Podczas gdy w doświadczeniu J1 parametr ten pomimo pewnych tendencji nie podlegał istotnie zastosowanym technologiom uprawy (rys. 34), to w doświadczeniu polowym J2 był istotnie zróżnicowany.



Rysunek 34. Zapas wody trudno i bardzo trudno dostępnej dla roślin wilgotności początku hamowania wzrostu roślin - WPHW w warstwie 0-30 cm w doświadczeniu polowym J1.



Rysunek 35. Zapas wody trudno i bardzo trudno dostępnej dla roślin wilgotności początku hamowania wzrostu roślin - WPHW w warstwie 0-30 cm w doświadczeniu polowym J2.

W przypadku pojemności wodnej wilgotności trwałego wędnięcia roślin – WPHW w doświadczeniu uprawowym J2 stwierdzono większą zdolność retencji wody przy większej sile ssącej gleby w warunkach testowanej autorskiej technologii uprawy ziemniaka. Analiza danych z doświadczenia jasno wskazała, że innowacyjna technologia uprawy na głęboko z nawożeniem na głęboko w wykorzystaniem agregatu własnej konstrukcji (wariant A na rysunkach) może działać lepiej przy niskich opadach w trakcie sezonu wegetacyjnego. Może to być skutkiem większej ilości drobnych porów, znajdujących się w **strukturze dobrze wykształconych i stabilnych agregatów glebowych**.

Podsumowując stwierdzić można, że **stosowanie technologii uprawy ziemniaka innowacyjną maszyną spulchniania na głęboko z nawożeniem na głęboko może istotny sposób kształtować właściwości wodno-powietrzne gleb uprawnych**.

Testy polowe wykazały, że **stosowanie innowacyjnej technologii uprawy w ziemniaku prowadzi do lepszej retencji wody w glebach uprawnych**.

Gleba w technologii uprawy głębokiej z nawożeniem na głęboko z wykorzystaniem innowacyjnej maszyny uprawowej to:

- **możliwość retencjonowania o 187 ton więcej wody w redlinach w porównaniu do stosowania tradycyjnej uprawy płużnej**
- **ponad 2 tony więcej zretencjonowanej w redlinach wody w porównaniu do uprawy bezorkowej całopowierzchniowej**

Oznacza to, że gleby uprawiane z wykorzystaniem wytworzonej technologii mogą gromadzić od 2 do nawet ponad 18 mm opadu więcej w porównaniu do gleb z uprawy bezorkowej całopowierzchniowej i z tradycyjnej uprawy płużnej, który będzie dostępny dla roślin w okresach między opadami

Czy wytworzona w ramach projektu innowacyjna technologia uprawy korzystnie wpływa na strukturę gleb?

Na rysunku 36 przedstawiono porównanie czynników wpływających na strukturę gleb w warunkach naturalnych, a także w warunkach pola uprawnego – zredukowanej, bezorkowej uprawy i tradycyjnej uprawy płużnej.



Rysunek 36. Cechy naturalnej i zarządzanej struktury gleb (gleby uprawne)

Źródło: Or, D., Keller, T., & Schlesinger, W. H. (2021). *Natural and managed soil structure: On the fragile scaffolding for soil functioning*. *Soil and Tillage Research*, 208, 104912. doi:10.1016/j.still.2020.104912

Naturalna struktura gleby jest kształtowana przez sprzężenia zwrotne gleba-fauna-roślinność-klimat (akumulacja bioporów i niewidoczna gołym okiem agregacja gleby). Natomiast w glebach intensywnie uprawianych uprawianych zarządzana (uprawiana) struktura gleby charakteryzuje się mechaniczną fragmentacją górnej warstwy i późniejszym zlewaniem się i konsolidacją luźnej struktury, a wpływ aktywności biologicznej na procesy strukturotwórcze w glebie jest ograniczony. W warunkach uprawy bezorkowej mniejsza ingerencja w naturalny układ gleby sprzyja wyższej aktywności biologicznej w porównaniu do

uprawy konwencjonalnej, ale nie zapewnia tak dużej różnorodności roślinności i akumulacji węgla organicznego w glebie, jak w przypadku naturalnej gleby w podobnych warunkach.

Korzyści z wprowadzania różnych technologii uprawy gleby, oszczędzających jej naturalny układ, mogą być oceniane poprzez porównania z uprawą orkową w podobnych warunkach. Systematyczne sprawdzanie stanu struktury gleby przy użyciu odpowiednich powinno leżeć u podstawy podejmowania racjonalnych decyzji związanych z zarządzaniem gruntami i zapewnieniem zrównoważonego funkcjonowania wrażliwego i podstawowego zasobu w rolnictwie, jakim jest gleba.

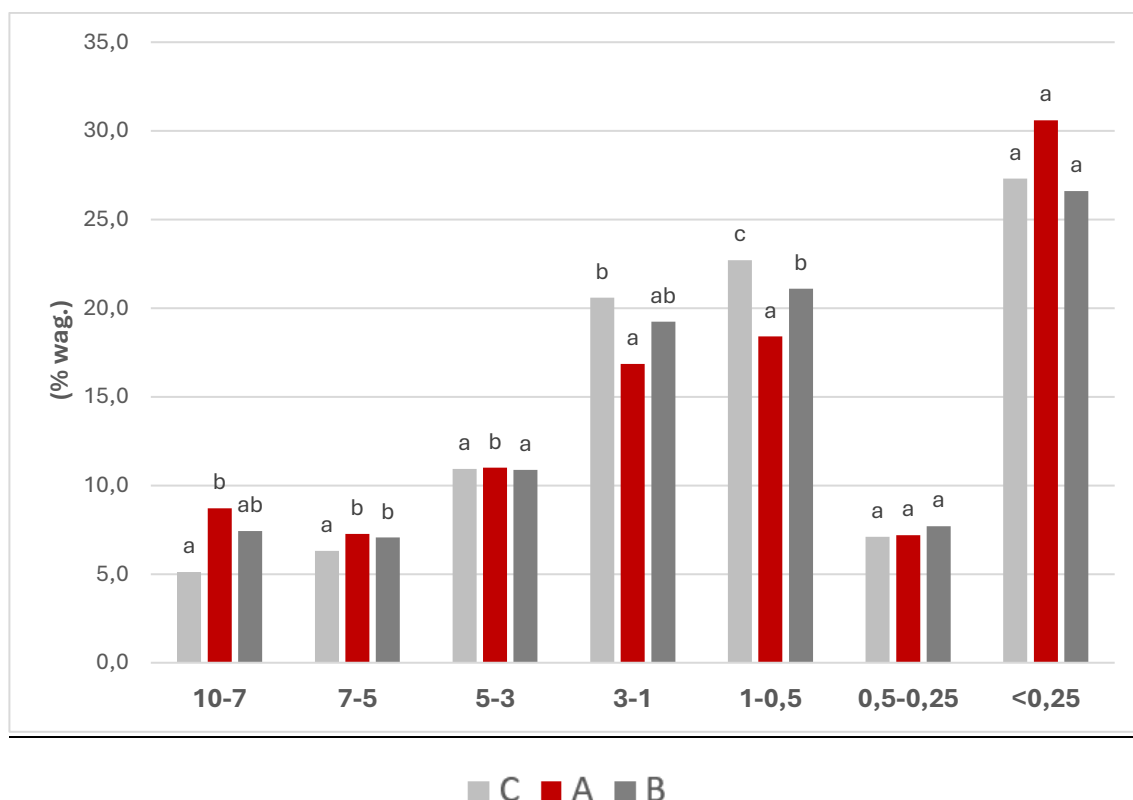
Badania prowadzone w warunkach polowych potwierdziły korzystny wpływ stosowanej innowacyjnej technologii uprawy ziemniaka na strukturę gleb, zwłaszcza stabilność agregatów glebowych w wodzie we wszystkich badanych lokalizacjach. W glebie z uprawy na głęboko z nawożeniem na głęboko z wykorzystaniem wytworzonej w projekcie innowacyjnej maszyny we wszystkich lokalizacjach wpłynął na wzrost w glebie udziału wodoodpornych frakcji gruzełków większych średnic oraz średnią średnicę agregatu wodoodpornego – MWDg. Wynika to ze specyfiki działania maszyny na glebę, która w większym stopniu oszczędza naturalnie wykształcony układ gleby w porównaniu do bardziej intensywnie działających na glebę technologii uprawy – bezorkowej całopowierzchniowej oraz tradycyjnej płużnej uprawy roli. Wpływ stosowanych technologii na skład agregatowy gleb nie był jednoznaczny i poza polem J1 nie wykazywał istotnego wpływu na udział w masie gleby suchych agregatów różnych średnic.

Aby lepiej poznać działanie stosowanej technologii na uprawianą glebę w warunkach pola uprawnego poniżej przedstawiono wyniki pełnej analizy struktury gleby dla pola doświadczalnego J1. Aby lepiej poznać wpływ testowanej technologii na strukturę gleby analizę struktury w warstwie 0-30 cm przeprowadzono oddzielnie dla warstwy powierzchniowej 0-10 cm oraz głębszej 10 cm.

W analizie struktury gleby w pierwszym etapie sprawdzano stan struktury agregatowej gleb w procesie przesiewania próbki gleby na sucho z wykorzystaniem zestawu sit o oczkach różnych średnic. Na podstawie mas agregatów różnych średnic obliczono procentowy ich udział w masie gleby, przyjęty jako całość. Na rysunku x i x przedstawiono wyniki tej analizy.

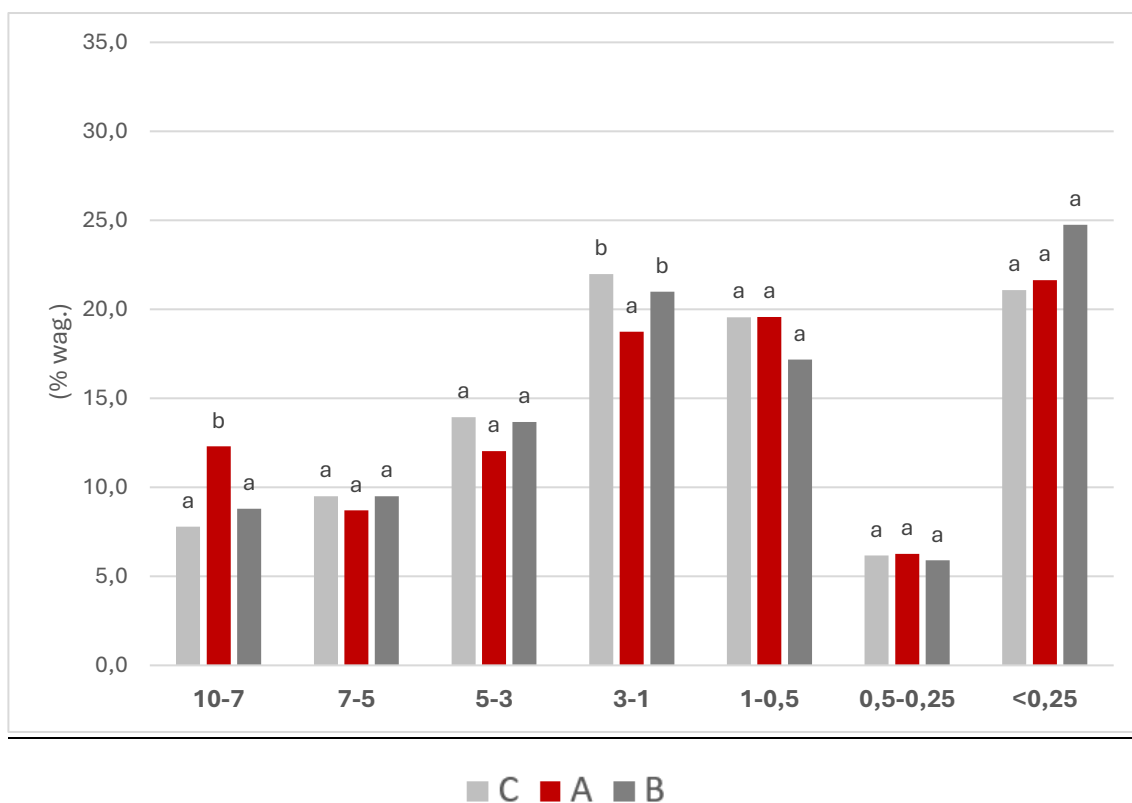
Stosowana technologia uprawy roli wpłynęła istotnie na udział różnych frakcji agregatów w masie gleby w warstwie 0-10 cm (rys. 37). W masie gleby suchej stwierdzono największy udział dużych makroagregatów we frakcji 3-1 mm oraz mikroagregatów <0,25 mm. Pomiedzy uprawami uproszczonymi A i B istotne statystycznie różnice odnotowano we frakcji makroagregatów 5-3 mm oraz 1-0,5, natomiast w pozostałych frakcjach pomiędzy tymi typami

uprawy istotnych statystycznie różnic nie zaobserwowano. Natomiast w przypadku uprawy płużnej stwierdzono istotnie więcej drobniejszych frakcji agregatów (średnice 3-1 oraz 1-0,5 mm) w porównaniu do autorskiej technologii uprawy ziemniaka.



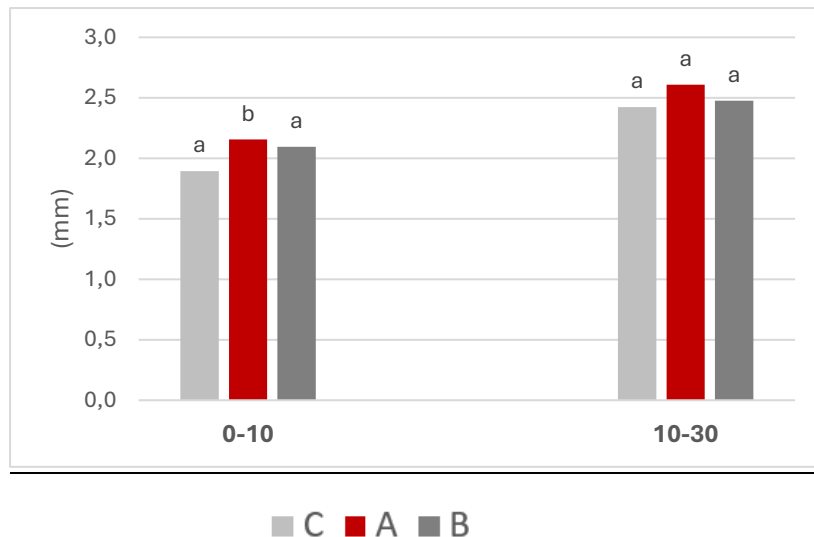
Rysunek 38. Skład agregatowy gleby w warstwie gleby 0-10 cm (w % wagowy agregatów różnych średnic)

W głębszej warstwie gleby różnice istotne statystycznie w udziale w glebie masy makroagregatów zaobserwowano we frakcjach 10–7 mm oraz 3–1 mm pomiędzy technologią uprawy na głęboko z nawożeniem na głęboko (A) a pozostałymi technologiami uprawy (rys. 39)



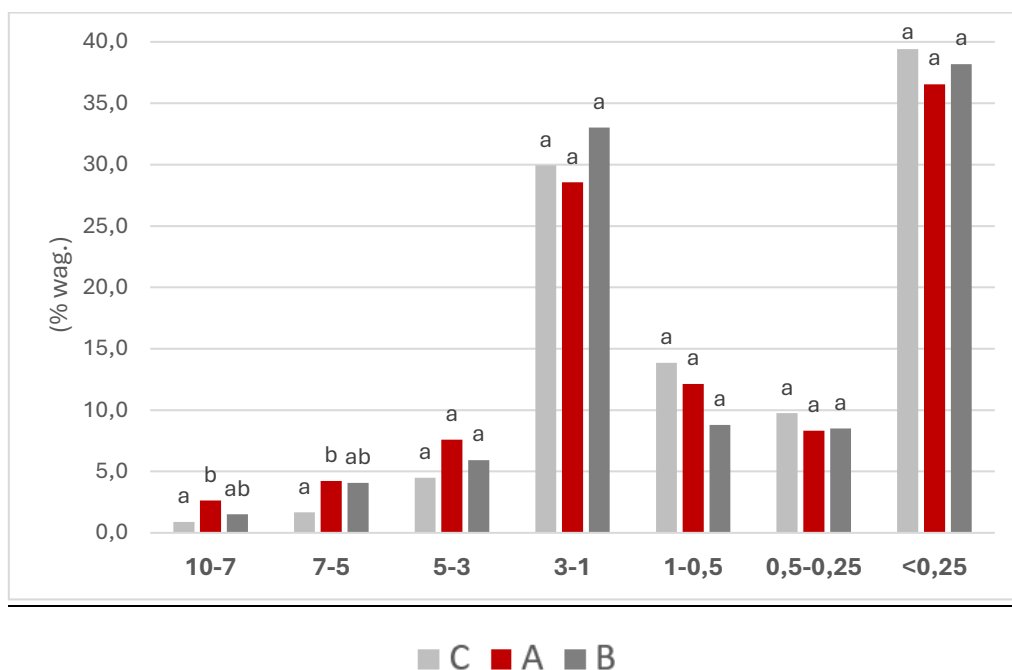
Rysunek 40. Skład agregatowy gleby w warstwie gleby 10-20 cm (w % wagowy agregatów różnych średnic)

Na podstawie wyników analizy składu agregatowego gleb obliczono średnią ważoną średnicę agregatu MWDa w warstwach gleby 0-10 cm oraz 10-30 cm. W warstwie powierzchniowej (0–10 cm) średnia wielkość suchego agregatu była największa - 2,2 mm na tle uprawy płużnej - 1,9 mm oraz bezorkowej całopowierzchniowej - 2,1 mm. W warstwie głębszej 10-30 cm nie stwierdzono istotnego wpływu stosowanych technologii uprawy na wielkość wskaźnika MWDa, pomimo, że miał on największą wartość dla uprawy na głęboko z nawożeniem na głęboko (A) – rys. 41.

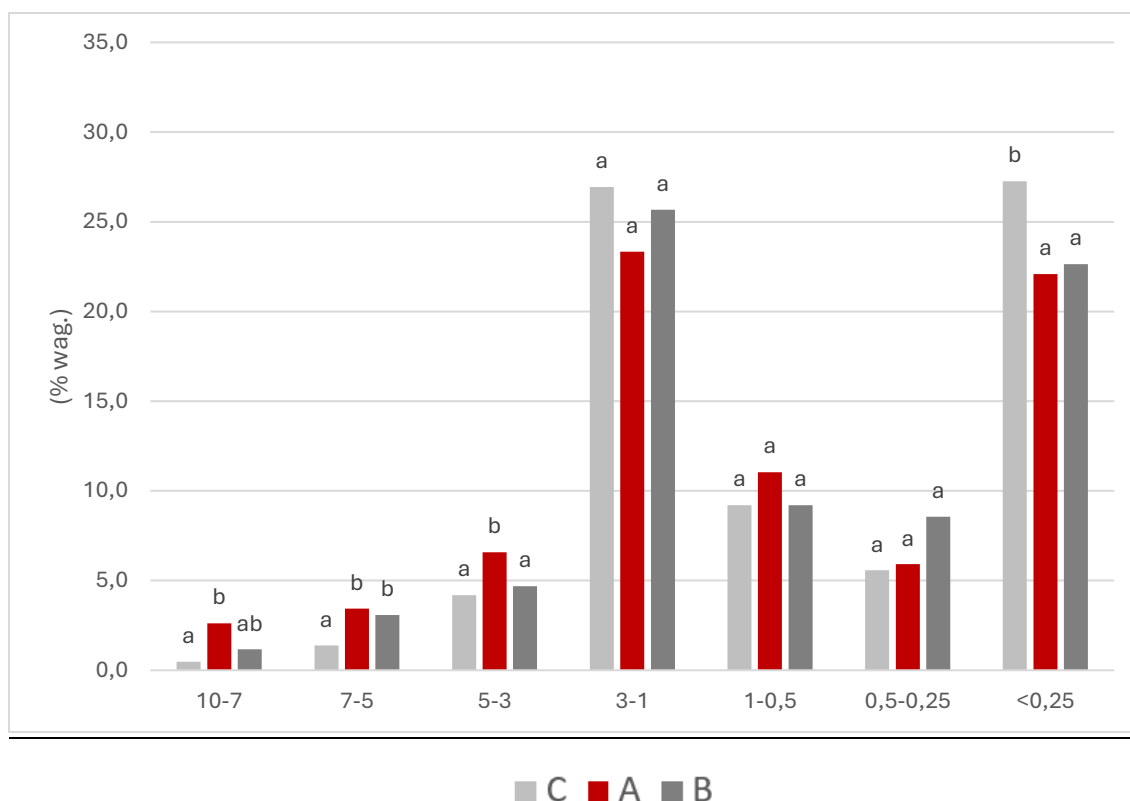


Rysunek 41. Średnia ważona średnica agregatu MWDa w warstwie gleby 0-10 i 10-30 cm w różnych technologiach uprawy

Technologie uprawy w istotny sposób kształtowały udział w glebie gruzełków różnych średnic, zwłaszcza największych. Stosowanie innowacyjnej technologii uprawy na głęboko z nawożeniem na głęboko wyróżniało się wpływem na większą stabilność w wodzie frakcji dużych gruzełków średnic 10- 3 mm. Podobnie technologie uprawy wpłynęły na skład gruzełkowy gleby w głębszej warstwie – rys. 42 i 43.

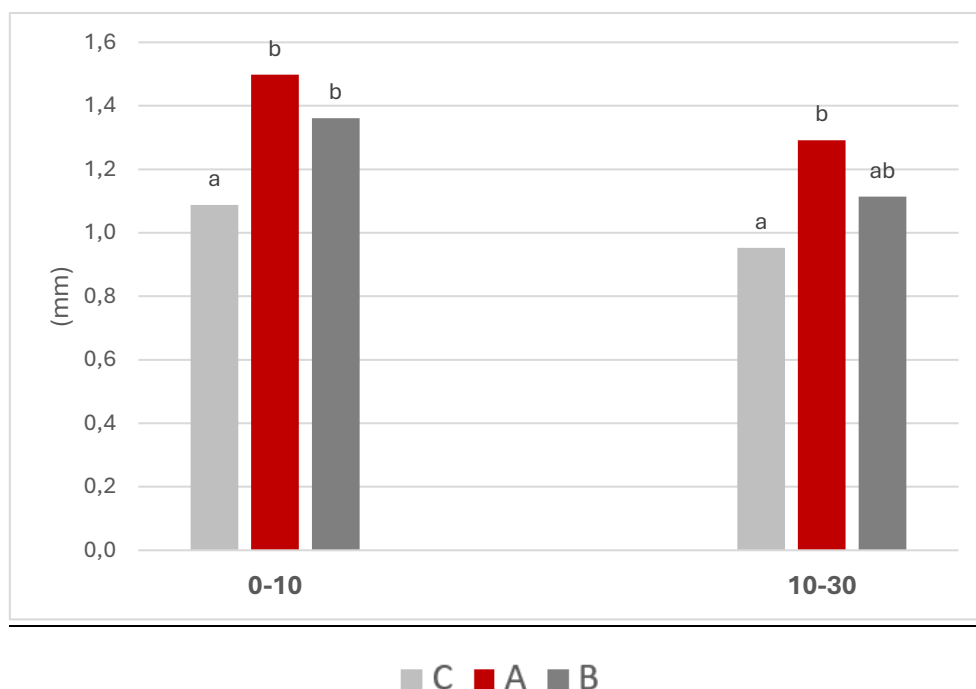


Rysunek 42. Skład gruzełkowy w warstwie gleby 0-10 cm (w % wagowy wodoodpornych gruzełków różnych średnic)



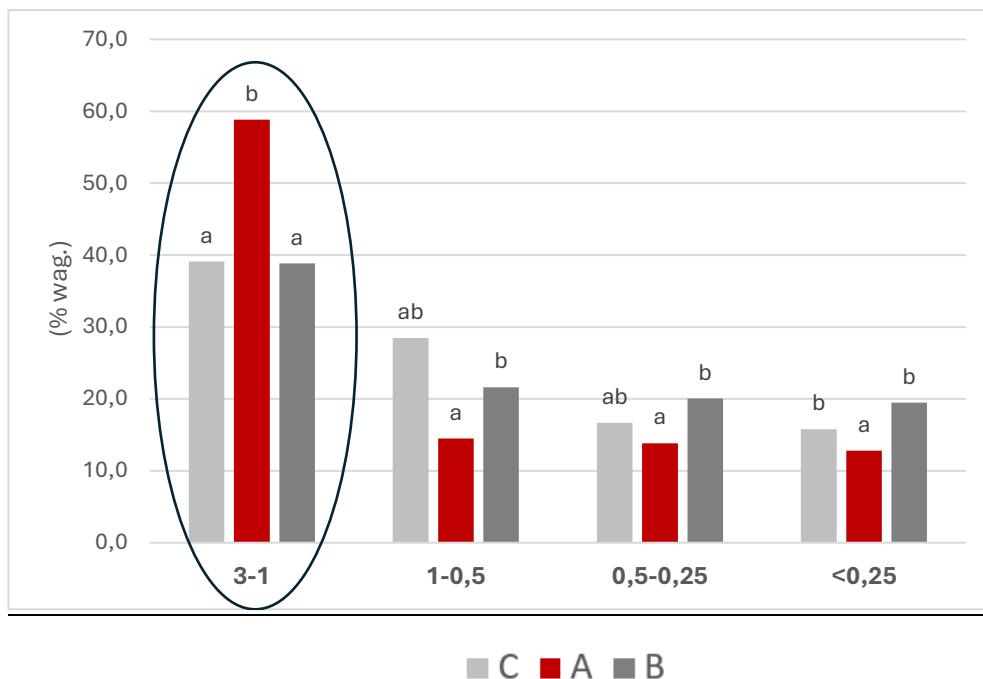
Rysunek 43. Skład gruzelkowy w warstwie gleby 0-10 cm (w % wagowy wodoodpornych gruzelków różnych średnic)

Zróżnicowany wpływ stosowanej technologii uprawy na wodoodporność agregatów różnych średnic zdecydował o zróżnicowanej średniej średnicy gruzelka wodoodpornego w różnych technologiach uprawy. Agregaty glebowe pod wpływem wprowadzenia w miejsce tradycyjnej uprawy płużnej uproszczonej technologii w postaci stosowania innowacyjnej maszyny charakteryzowały się większą średnią wodoodpornością, czego wyrazem jest większa średnia średnica gruzelka wodoodpornego w porównaniu do pozostałych technologii uprawy roli (rys. 44).

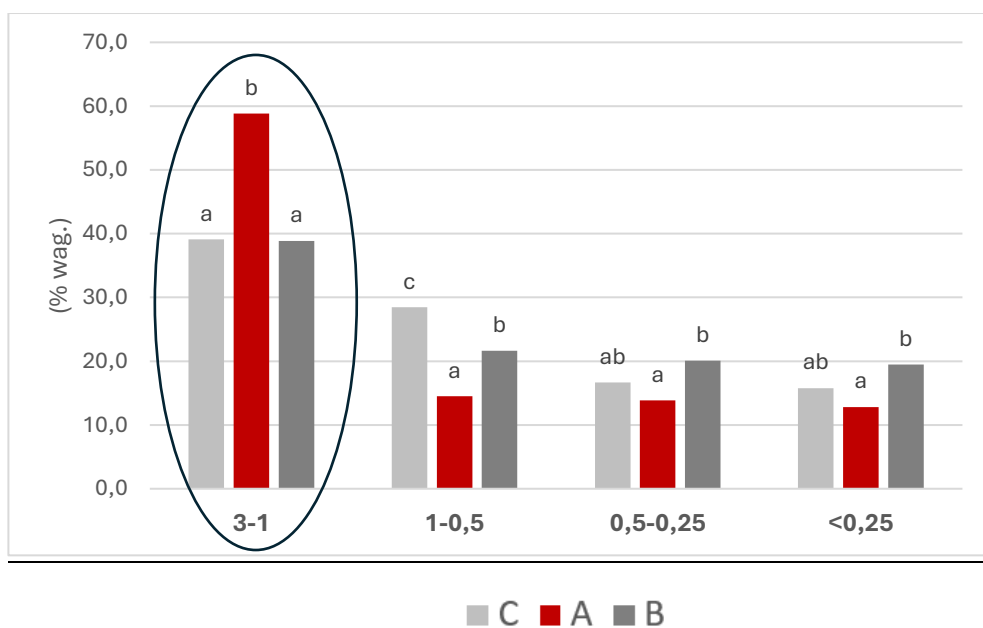


Rysunek 44. Średnia ważona średnica gruzelka wodoodpornego MWDg w warstwie gleby 0-10 i 10-20 cm w różnych technologiach uprawy

Najbardziej wrażliwymi wskaźnikami struktury gleby są agregaty większych średnic, gdyż w ich powstawanie i stabilizację zaangażowane jest wiele środków cementujących, zwłaszcza pochodzenia biologicznego. Im bardziej intensywna uprawa roli, naruszająca naturalny układ gleby oraz negatywnie oddziałująca na aktywność biologiczną gleby i gromadzenie w glebie różnych frakcji materii organicznej, tym zdolność gleby do wspierania tworzenia i stabilizacji tych dużych struktur spada. Z tego powodu makroagregaty większych średnic uważane są za dobre i „wrażliwe” wskaźniki dające stosunkowo szybko odpowiedź zwrotną dotyczącą kierunku wpływu danej technologii uprawy na kierunki zmian zachodzące w jakości struktury gleb uprawnych. Z uwagi, że znaczący udział w glebie uprawnej miały agregaty średnicy 1-3 mm, sprawdzono stabilność tych struktur w wodzie pod wpływem stosowanych technologii uprawy. Wyniki tej analizy przedstawiono na rysunku X. Okazało się, że innowacyjna technologia uprawy na głęboko z nawożeniem na głęboko w istotnie większy sposób sprzyjała kreowaniu stabilności w glebie tych makroagregatów w porównaniu do pozostałych testowanych porównawczo technologii uprawy roli. Na szczególną uwagę zasługuje znacznie większy udział wyjściowej frakcji makroagregatów średnicy 1-3 mm w produktach rozmywania – jest to tzw. frakcja nierozmyta, która na rysunkach została zaznaczona okręgiem – rys. 45 i 46.



Rysunek 45. Produkty rozmywania makroagregatów średnicy 3-1 mm w warstwie gleby 0-10 cm (% wagowy frakcji gruzełków różnych średnic w masie wyjściowej rozmywanych makroagregatów)



Rysunek 46. Produkty rozmywania makroagregatów średnicy 3-1 mm w warstwie gleby 10-30 cm (% wagowy frakcji gruzełków różnych średnic w masie wyjściowej rozmywanych makroagregatów)

Przeprowadzone badania wykazały, że stosowane technologie uprawy mogą mieć istotny wpływ na kształtowanie jakości struktury gleby w uprawie ziemniaków. Z punktu widzenia budowania zdrowia gleby i jej odporności zwłaszcza na ekstrema pogodowe (silne ulewy, wiatr) istotne znaczenie ma zarówno struktura agregatowa, jak i gruzełkowata. Im lepiej rozwinięta i mniej rozpylona struktura agregatowa, tym lepsze warunki dla wzrostu i rozwoju roślin uprawnych oraz większa odporność gleb na erozję wietrzną. Natomiast stabilna struktura gruzełkowata decyduje o odporności gleb na erozję wodną oraz wzmacnianie wspierającej roli struktury gleby dla roślin uprawnych i organizmów glebowych. Stabilna struktura gleby On-situ – w warunkach pola uprawnego zapewnia odpowiedni układ gleby do gromadzenia wody i składników pokarmowych, wzrostu korzeni i dostarczania wody i tlenu do środowiska glebowego.

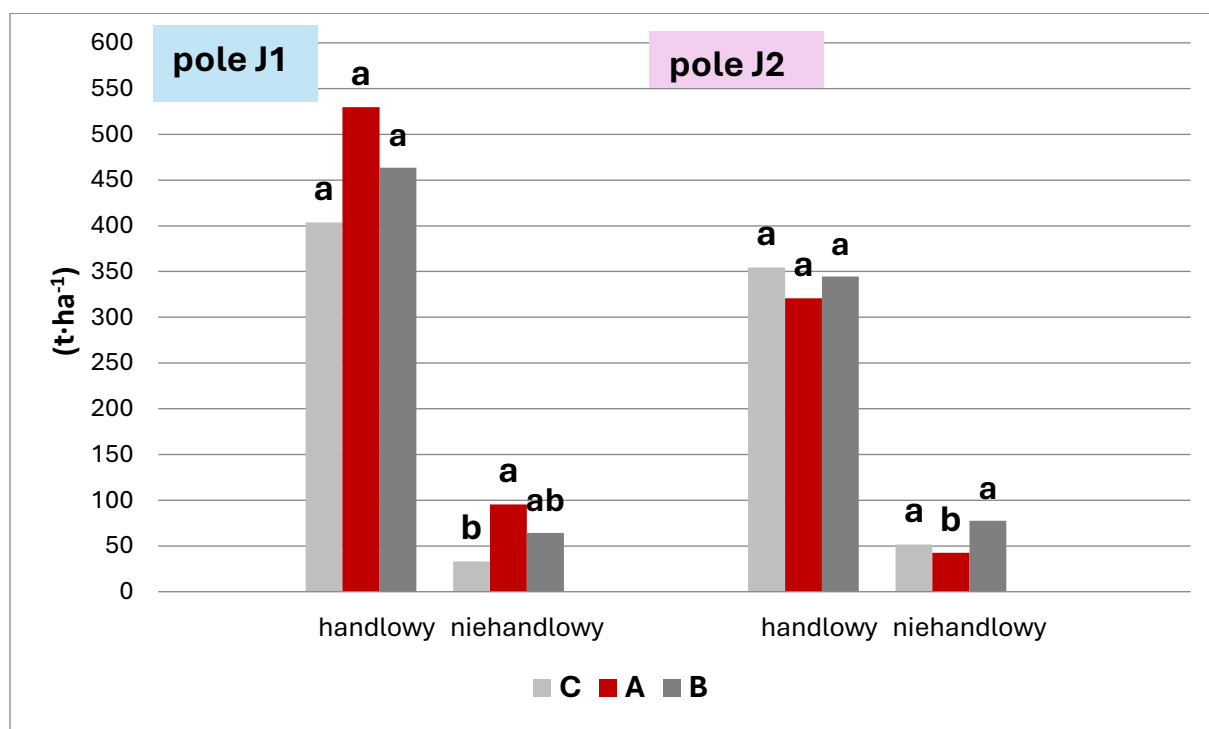
Gleba w technologii uprawy głębokiej z nawożeniem na głęboko z wykorzystaniem innowacyjnej maszyny uprawowej to:

- wspieranie rozwoju i stabilizacji makroagregatów glebowych, odgrywających kluczową rolę w kształtowaniu zdrowia gleb uprawnych
- zwiększanie odporności gleb uprawnych na erozję wietrzną oraz wodną

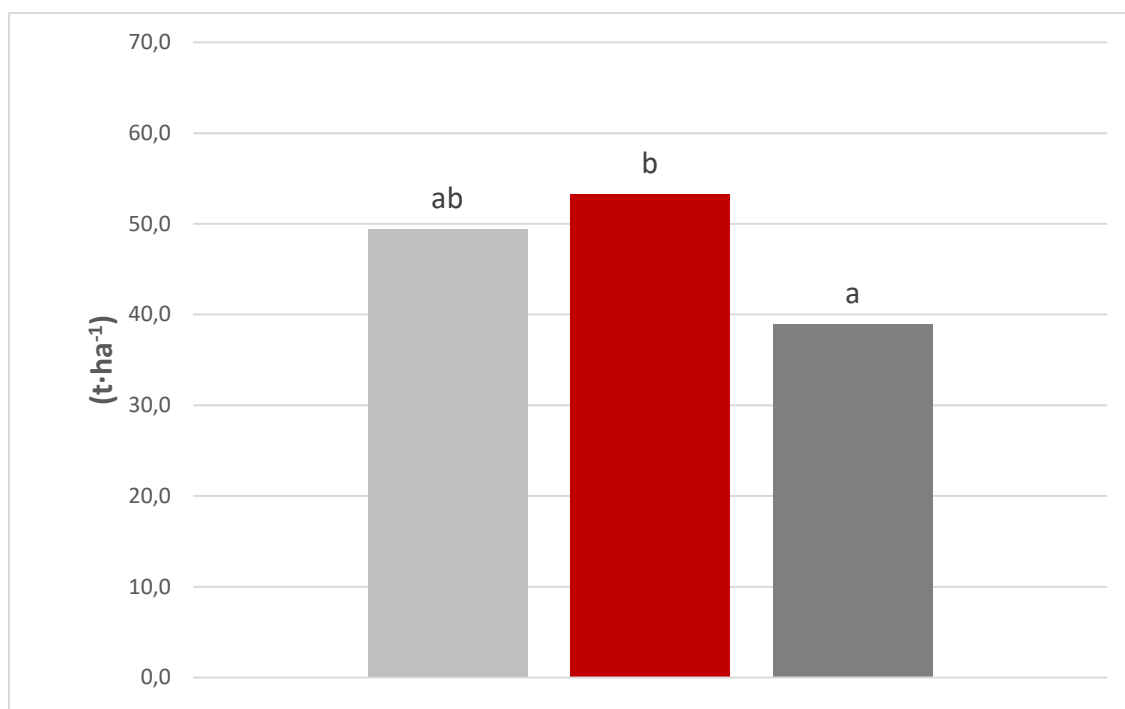
Oznacza to, że gleby uprawiane z wykorzystaniem wytworzonej technologii mogą wykazywać większą odporność na niekorzystne zjawiska klimatyczne, które towarzyszą zmianom klimatu

Czy wytworzona w ramach projektu innowacyjna technologia uprawy korzystnie wpłynęła na wyniki produkcyjne gospodarstwa?

Stosowane w sezonie 2023 - 2024 technologie uprawy w istotny sposób kształtowały plonowanie ziemniaka. Na ogół w warunkach innowacyjnej technologii uprawy na głęboko z nawożeniem na głęboko stwierdzono dużo wzrost plonu handlowego z hektara. Uzyskiwane z testowanej technologii plony na tle innych badanych w ramach doświadczeń polowych technologii uprawy przedstawiono na rysunkach poniżej. Jedynie w przypadku pola produkcyjnego J2 w innowacyjnej technologii uprawy zaobserwowano mniejsze plony w strefie uprawy na głęboko z nawożeniem na głęboko, co mogło wynikać z konkurencyjnego działania zadrzewień śródpolnych sąsiadujących bezpośrednio z tą strefą uprawy.

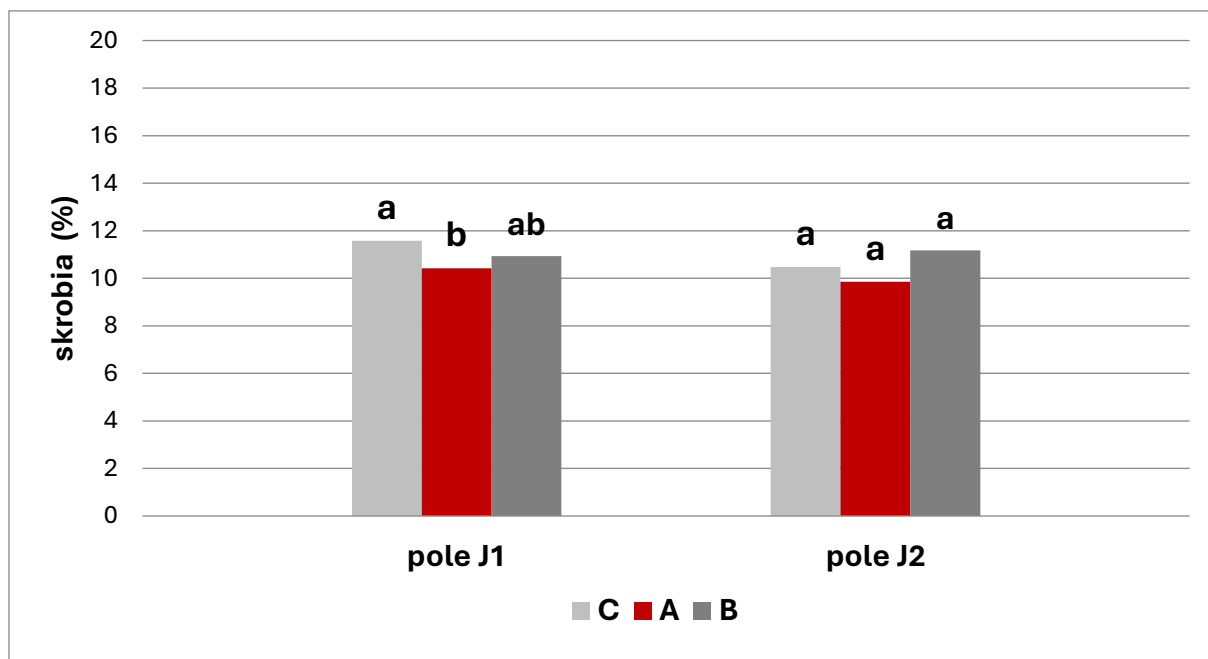


Rysunek 47. Wpływ technologii uprawy na plon handlowy i niehandlowy bulw ziemniaka w sezonie 2023 – pole J1 i J2.

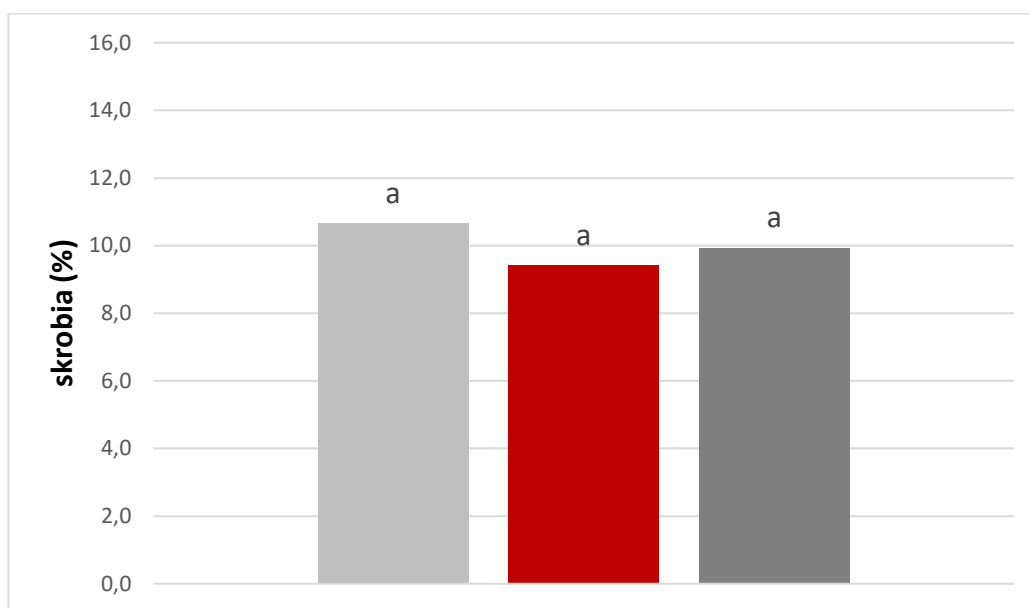


Rysunek 47. Wpływ technologii uprawy na plon handlowy bulw ziemniaka w sezonie 2024 – pole S1.

Natomiast procentowa zawartość skrobi w bulwach nie była w sposób istotny kształtowana przez stosowane technologie uprawy w ziemniaku.



Rysunek 48. Procentowa zawartość skrobi w bulwach ziemniaka w sezonie 2023 – pole J1 i J2.



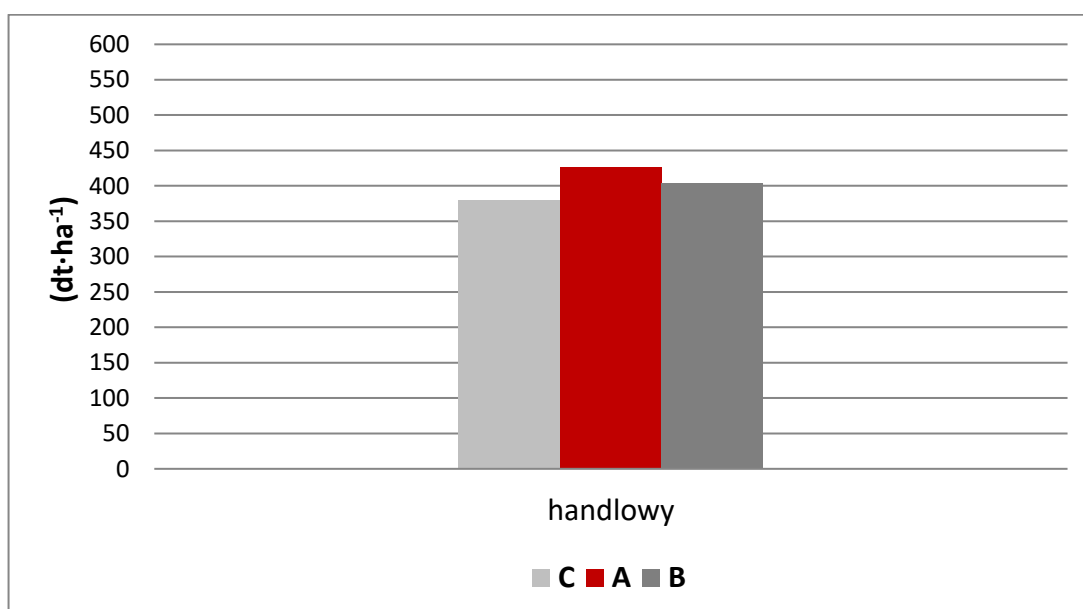
Rysunek 49. Procentowa zawartość skrobi w bulwach ziemniaka w sezonie 2024 – pole S1.

Gleba w technologii uprawy głębokiej z nawożeniem na głęboko z wykorzystaniem innowacyjnej maszyny uprawowej to:

- możliwość uzyskiwania plonów o porównywalnej wielkości jak te pozyskiwane w uprawie płuźnej

Podsumowanie

W wyniku realizacji projektu opracowano i wdrożono kompleksową innowację technologiczną w postaci modułowej maszyny do bezorkowej uprawy roli, umożliwiającej jednocześnie głębokie spulchnianie gleby, aplikację nawozów na dwóch poziomach (do 55 cm) oraz formowanie redlin w jednym przejeździe. Efektywność tego rozwiązania została potwierdzona w warunkach polowych na kilku stanowiskach doświadczalnych, w których porównywano technologię innowacyjną z tradycyjną uprawą płużną oraz uproszczoną uprawą całopowierzchniową. Wyniki jednoznacznie wskazują na pozytywny wpływ innowacji na wielkość plonu handlowego ziemniaka – w 2023 roku w technologii innowacyjnej uzyskano średnio 53 tony plonu z hektara na polu J1, podczas gdy w kontroli uzyskano odpowiednio 45 t/ha i 40 t/ha. Dodatkowo, na polu J2 w technologii ulepszonej zaobserwowano spadek plonu niehandlowego z 7 do 5 t/ha, co świadczy o poprawie jakości produkcji. Również w sezonie 2024 technologia innowacyjna wykazała się najwyższą efektywnością – plon handlowy ziemniaka wyniósł ponownie 53 t/ha, wobec 50 t/ha i 40 t/ha w pozostałych technologiach. Dane te dowodzą, że zastosowanie ulepszonej technologii może znacząco zwiększyć opłacalność produkcji ziemniaka, poprawić stabilność plonowania oraz zredukować udział bulw niespełniających standardów jakościowych. Średni plon handlowy dla wszystkich lat i pól wyszedł najwyższy w rozwijanej technologii.



Rysunek 50. Wpływ technologii uprawy na plon handlowy bulw ziemniaka - średnia z projektu

Oprócz wzrostu plonu handlowego, wprowadzenie innowacyjnej technologii przyniosło szereg wymiernych korzyści środowiskowych, które zostały potwierdzone w toku

kompleksowych badań gleby i roślin. Stosowanie technologii bezorkowej z nawożeniem wgłębnym doprowadziło do poprawy retencji wodnej gleby (zwiększenie PPW i KPW), obniżenia gęstości objętościowej gleby w strefie korzeniowej oraz poprawy parametrów struktury agregatowej i gruzełkowatej, co zwiększa odporność gleby na erozję wodną i wietrzną. Odnotowano także wzrost udziału makroagregatów wodoodpornych, poprawę stabilności struktury gleby i większą zawartość materii organicznej w warstwie uprawnej. Dodatkowo technologia przyczyniła się do bardziej równomiernego i głębszego rozwoju systemu korzeniowego roślin, zwiększając ich zdolność do pobierania wody i składników pokarmowych w warunkach stresu abiotycznego. Redukcja liczby przejazdów po polu zmniejszyła zagęszczenie gleby i zużycie paliwa, a precyzyjna aplikacja nawozów ograniczyła ich straty oraz ryzyko przenawożenia. Wszystkie te elementy dowodzą, że innowacja technologiczna wdrożona w ramach projektu ma charakter przełomowy nie tylko w wymiarze produkcyjnym, lecz również środowiskowym, i może być z powodzeniem rekomendowana do upowszechnienia w gospodarstwach wdrażających praktyki zrównoważonego i regeneratywnego rolnictwa.

Rekomendacja dalszych działań

1. Zastosowanie podobnych technologii w uprawach innych roślin korzeniowych i okopowych

W świetle uzyskanych wyników zasadnym kierunkiem rozwoju byłoby rozszerzenie zastosowania ulepszonej technologii na inne rośliny okopowe i korzeniowe, takie jak marchew, pietruszka, seler czy burak ćwikłowy. Ich wymagania agrotechniczne – w tym potrzeba głębokiego, ale nieniszczącego spulchnienia oraz zwiększonego rozwoju korzeni pionowych – są zbliżone do ziemniaka. Technologia bezorkowego spulchniania z nawożeniem wgłębnym może stymulować rozwój korzenia palowego także u tych gatunków, co przełoży się na poprawę efektywności wodnej, lepszą dostępność składników pokarmowych oraz ograniczenie presji patogenów związanych z powierzchniową aplikacją nawozów.

2. Promowanie technologii bezorkowej zgodnej z ideą rolnictwa regeneratywnego

Maszyna GRYN wpisuje się w kierunki rolnictwa regeneratywnego, umożliwiając spulchnianie i nawożenie bez odwracania gleby, co zmniejsza jej erozyjność i sprzyja stabilizacji struktury gruzełkowatej. Badania terenowe wykazały, że stosowanie technologii bezorkowej – w szczególności z nawożeniem na głębokość 35–55 cm – zwiększa stabilność makroagregatów wodoodpornych, poprawia wskaźniki wilgotności (KPW, PPW) i wzmacnia naturalne mechanizmy buforowania stresów wodnych. Rekomenduje się kontynuowanie testowania tej technologii w różnych warunkach glebowych i uprawowych, szczególnie na obszarach narażonych na susze, degradację struktury gleby i erozję wodną.

3. Zróżnicowana głębokość aplikacji nawozów jako czynnik stymulujący rozwój korzeni

Wyniki projektu jednoznacznie wykazały, że umieszczanie nawozów w dwóch warstwach gleby (np. 35 i 50 cm) przyczynia się do wzrostu całkowitej długości systemu korzeniowego ziemniaka. Rekomenduje się kontynuację badań w tym obszarze – nie tylko dla ziemniaka, ale i dla innych gatunków – w celu określenia optymalnej głębokości aplikacji składników pokarmowych. Taka strategia mogłaby wspierać budowę systemu korzeniowego odpornego na stresy abiotyczne, a tym samym poprawiać efektywność nawożenia oraz ograniczać straty składników do wód gruntowych.

4. Rozwój modułowych, wymiennych maszyn do bezorkowej uprawy różnych gatunków roślin

Wysoki stopień wielozadaniowości technologii, potwierdzony w raporcie, wskazuje na zasadność rozwijania maszyn o konstrukcji modułowej – umożliwiających wymianę elementów roboczych oraz dostosowanie ich do różnych technologii: od strip-till po klasyczną uprawę uproszczoną. Dostosowanie do siewu rzepaku, kukurydzy czy buraków cukrowych

powinno być przedmiotem dalszych wdrożeń. Takie podejście zwiększa elastyczność technologii w gospodarstwach, ogranicza potrzebę inwestowania w wiele oddzielnych maszyn, a zarazem wspiera efektywne gospodarowanie zasobami gleby zgodnie z zasadami zrównoważonego rolnictwa.