

Załącznik 2

**Autoreferat przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych,  
w szczególności określonych w art. 16 ust. 2 ustawy  
w języku polskim**

**1. Imię i nazwisko** Marek Kołodziejczyk

**2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania**

**magister inżynier rolnictwa**, specjalizacja Kształtowanie i Ochrona Środowiska Rolniczego, Akademia Rolnicza im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Rolniczy, 1996  
Tytuł pracy: **Zawartość Cu, Zn i Mn w glebach i burakach ćwikłowych województwa krakowskiego objętych kontrolą monitoringu ekologicznego**  
Opiekun naukowy: prof. dr hab. Czesława Jasiewicz

**doktor nauk rolniczych z zakresu agronomii**, specjalność naukowa: produkcja roślinna, Akademia Rolnicza im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Rolniczy, 2004  
Tytuł rozprawy: **Wpływ zróżnicowanego nawożenia na plonowanie i wybrane parametry jakości bulw ziemniaka**  
Promotor: prof. dr hab. Aleksander Szmigiel  
Recenzenci: prof. dr hab. Elżbieta Boligłowa  
prof. dr hab. Barbara Sawicka

**3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych**

<b>1996 – 2005</b>	asystent naukowo-dydaktyczny, Katedra Szczegółowej Uprawy Roślin, Wydział Rolniczo-Ekonomiczny, Akademia Rolnicza im. Hugona Kołłątaja w Krakowie
<b>od 2005</b>	adiunkt naukowo-dydaktyczny, Katedra Szczegółowej Uprawy Roślin, (obecnie Zakład Szczegółowej Uprawy Roślin, Instytut Produkcji Roślinnej), Wydział Rolniczo-Ekonomiczny, Akademia Rolnicza im. Hugona Kołłątaja w Krakowie (obecnie Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie)
<b>2008 - 2015</b>	starszy wykładowca, Instytut Rolnictwa (obecnie Instytut Gospodarki Rolnej i Leśnej), Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. J. Grodka w Sanoku

**4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)**

**a) tytuł osiągnięcia naukowego:**

jednotematyczny cykl publikacji pt.:

**Ocena efektywności nawożenia azotowego oraz stosowania preparatów mikrobiologicznych w uprawie ziemniaka i pszenicy jarej**

**b) publikacje wchodzące w zakres osiągnięcia naukowego:**

Autor/autorzy, data wydania, tytuł, wydawca lub czasopismo, tom, strony

**b.1. Kołodziejczyk M., Szmigiel A., Kulig B.** 2012. Plonowanie pszenicy jarej w warunkach zróżnicowanego nawożenia azotem oraz stosowania mikrobiologicznych preparatów poprawiających właściwości gleby. *Fragm. Agron.*, 29(1): 60-69. **IF = 0; punkty MNiSW = 5**

**b.2. Kołodziejczyk M., Kulig B., Oleksy A., Szmigiel A.** 2013. The effectiveness of N-fertilization and microbial preparation on spring wheat. *Plant Soil Environ.*, 59(8): 335-341. **IF = 1,113; punkty MNiSW = 30**

**b.3. Kołodziejczyk M.** 2013. Effect of nitrogen fertilization and application of soil properties improving microbial preparations on the content of mineral nitrogen in soil after spring wheat harvesting. *J. Cent. Eur. Agr.*, 14(1): 306-318. **IF = 0; punkty MNiSW = 8**

**b.4. Kołodziejczyk M.** 2014. Effectiveness of nitrogen fertilization and application of microbial preparations in potato cultivation. *Turk. J. Agric. For.*, 38: 299-310. **IF = 0,929; punkty MNiSW = 25**

**b.5. Kołodziejczyk M.** 2014. Effect of nitrogen fertilization and microbial preparations on potato yielding. *Plant Soil Environ.* 60(8): 379-386. **IF = 1,226; punkty MNiSW = 30**

**b.6. Kołodziejczyk M.** 2015. Effect of Nitrogen Fertilization and Microbial Preparations on Nmin Content in Soil after Potato Harvesting. *J. Agr. Sci. Tech.*, 17: 1245-1254. **IF = 0,699; punkty MNiSW = 25**

Sumaryczny IF prac zgodnie z rokiem opublikowania wynosi **3,967**. Suma punktów według ujednoliconego wykazu czasopism punktowanych MNiSW z dnia 31 grudnia 2014 r. wynosi **123**. Prace i oświadczenia wszystkich współautorów określające indywidualny wkład każdego z nich w ich powstanie stanowią **załącznik 4** wniosku.

**c) omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania**

## Wprowadzenie i cel badań

Presja opinii publicznej na producentów rolnych w celu zmniejszenia niekorzystnego oddziaływania produkcji roślinnej na środowisko wymusza konieczność ciągłej optymalizacji technologii uprawy. Systemy produkcji roślinnej są z reguły nieszczerne w odniesieniu do składników pokarmowych, a zwłaszcza azotu. Dlatego wyzwaniem dla nauki i praktyki rolniczej jest racjonalne nawożenie tym składnikiem zapewniające realizację celów agronomicznych, ekonomicznych i środowiskowych [Good i in. 2004]. W ostatnich latach opracowano wiele strategii poprawy efektywności wykorzystania azotu przez rośliny uprawne. Zdaniem Zebarth i in. [2009] strategie te można podzielić na dwie kategorie: optymalne nawożenie azotem oraz ograniczenie strat tego składnika.

Azot jest pierwiastkiem niezbędnym dla prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin, a zarazem głównym składnikiem plonotwórczym. Istotnie modyfikuje nie tylko wielkość ale także jakość plonów oraz odpowiada za zanieczyszczenie środowiska glebowego azotanami. Składnik ten występuje w glebie głównie w związkach organicznych, a tylko 1-5% stanowi formę mineralną jonów amonowych i azotanowych. W agroekosystemach zachodzą dynamiczne zmiany zawartości azotu mineralnego w glebie, w wyniku pobierania tego składnika przez rośliny uprawne, chwasty i mikroorganizmy glebowe, straty na drodze wymywania i ulatniania, a także dopływu azotu w następstwie mineralizacji materii organicznej, imisji związków azotu z atmosfery oraz nawożenia [Mitchell i in. 1998, Mazur i Sądej 1999, Deng i in. 2000, Fotyma i in. 2002]. Głównym źródłem azotu dla roślin uprawnych są nawozy mineralne. Liczne prace wskazują jednak na małą efektywność stosowanych dawek azotu. Stopień wykorzystania tego składnika zależy bowiem m.in. od dawki i formy nawozu, techniki nawożenia, warunków glebowych, przebiegu pogody oraz gatunku i odmiany rośliny uprawnej [Sowers i in. 1994, Halvorson i in. 2001, Rahimizadeh i in. 2010]. Rośliny gorzej wykorzystują azot stosowany w dużych dawkach, zarówno w formie mineralnej jak i organicznej, a lepiej jeśli dawkę dzieli się na przedsięwną i pogłówną [Westermann i in. 1988 Fotyma i Pietruch 1999, Mazur i Sądej 1999, Kuczek 2000, Lis i in. 2002, Szmigiel i Kołodziejczyk 2004, Mazurczyk i in. 2005, Gąsiorowska i in. 2006].

Wpływ nawożenia azotowego na plonowanie roślin uprawnych jest powszechnie znany. Wielu autorów zajmujących się tą problematyką uważa, że przyrost plonu bulw ziemniaka oraz plonu ziarna pszenicy występuje do określonego poziomu nawożenia azotem, po przekroczeniu którego zwyczajka plonu nie jest już statystycznie istotna lub następuje jego redukcja [Fotyma 1997, López-Bellido i in. 1998, Lloveras i in. 2001, López-Bellido i López-Bellido 2001, Zebarth et al. 2004, Olivier et al. 2006, Jamaati-e-Somarin et al. 2010]. Przyrost plonów jest efektem zwiększenia się wartości elementów składowych plonu. Poznanie zależności zachodzących pomiędzy elementami składowymi plonu stanowi ważne zagadnienie uprawy roślin, zwłaszcza w odniesieniu do warunków siedliskowych, agrotechniki oraz właściwości odmianowych roślin. Intensywność technologii uprawy pszenicy jarej, w tym poziom nawożenia azotem najsilniej oddziałuje na obsadę kłosów, natomiast w ograniczonym stopniu na liczbę ziaren w kłosie i masę 1000 ziaren [Wróbel 1999, Lloveras i in. 2001, Gąsiorowska i Makarewicz 2004, Frant i Bajdak 2007, Kołodziejczyk i in. 2007, Czarnocki i in. 2009]. W badaniach Kołodziejczyka i in. [2009]

przyrost plonu ziarna pszenicy jarej pomiędzy technologią średnio intensywną a intensywną w 66% zależał od obsady kłosów, a w 34% od liczby ziaren w kłosie, natomiast wkład masy 1000 ziaren w zwyczaję plonu okazał się ujemny. Również Rudnicki [2000] wykazał, że największy wkład w zwyczaję plonu ziarna wnosi obsada kłosów (70,4%), jednak drugim elementem składowym plonu wpływającym korzystnie na poziom plonowania była masa 1000 ziaren (35,2%), natomiast wkład liczby ziaren w kłosie był ujemny (-5,6%).

Przyrost plonu bulw ziemniaka jest efektem zwiększenia średniej masy bulwy oraz ilości zawiązanych bulw [Galarreta et al. 2006]. O średniej masie bulwy decyduje wiele czynników, które mają pośredni lub bezpośredni wpływ na wartość tej cechy. Największy bezpośredni wpływ wywierają: gęstość sadzenia, nawożenie azotem, właściwości odmianowe oraz warunki wilgotnościowe [Zebarth et al. 2006, Lutra et al. 2009, Badr et al. 2010]. Ilość bulw z rośliny zależy głównie od liczby łodyg głównych, która jest cechą odmianową wysoce skorelowaną z wielkością sadzeniaka. Już w 1959 r. Reestman i de Witt stwierdzili liniową zależność pomiędzy liczbą łodyg ziemniaka a wielkością sadzeniaka. Badania Zebarth et al. [2006] oraz Jamaati-e-Somarin et al. [2010b] wskazują, że na liczbę łodyg wpływa również poziom nawożenia azotem. Zależności takiej nie wykazał Zelalem et al. [2009]. Wyżej cytowani autorzy są natomiast zgodni co do korzystnego wpływu nawożenia azotem na liczbę bulw z rośliny oraz średnią masę bulwy.

Skuteczność nawożenia azotem oceniana jest najczęściej wielkością zmian ilościowych bądź jakościowych plonu. Pełniejszą ocenę zdolności roślin do przetwarzania pobranego azotu na plon użytkowy można uzyskać m.in. poprzez analizę takich wskaźników jak wielkość pobrania azotu, efektywność agronomiczną i fizjologiczną, wskaźnik zbioru azotu czy stopień wykorzystanie tego składnika z nawozów [Novoa i Loomis 1981, Simonis 1988]. Średnie wykorzystanie azotu przez zboża, w tym pszenicę zdaniem Raun i Johnson [1999] jest małe i wynosi ok. 33%. Badania Fotymy [1997] wykazały 67% wykorzystanie azotu w uprawie pszenicy jarej nawożonej dawkami do 100 kg N ha<sup>-1</sup>. Z kolei w badaniach López-Bellido i López-Bellido [2001] sprawność odzysku azotu w obiektach nawożonych dawkami od 50 do 150 kg N ha<sup>-1</sup> kształtowała się w zakresie od 18,8 do 25,1%. Współczynnik wykorzystania azotu przez rośliny ziemniaka w opinii Fotymy [1997], Neetesona [1989] oraz Vos i Marshall [1993] jest mniejszy niż u innych roślin i kształtuje się na poziomie 50%. Jamaati-e-Somarin i in. [2010a] wykazali 69% odzysk azotu z nawozu stosowanego w ilości 80 kg N ha<sup>-1</sup> oraz 47 i 50% po zastosowaniu 160 i 200 kg N ha<sup>-1</sup>. Darwish i in. [2006] stwierdzili w obiektach nawożonych dawką 125 kg N ha<sup>-1</sup> odzysk azotu na poziomie 61% natomiast po zastosowaniu 500 kg N ha<sup>-1</sup> już tylko 31%. Li i in. [2003] wykazali liniową zależność pomiędzy dawką azotu a ilością tego składnika niewykorzystanego przez rośliny ziemniaka. Niski poziom wykorzystania azotu przez rośliny pociąga za sobą skutki ekonomiczne i ekologiczne. Azot niepobrany przez rośliny uprawne lub mikroorganizmy glebowe podlega wielu procesom, w efekcie których znaczna jego część ulega stratom, szczególnie w warunkach gleb lekkich [Mitchell i in. 1998, Sykut 2000, Sztuder i Strączyński 2008]. Z dotychczasowych badań wynika, że 15–50% azotu ługowane jest do głębszych warstw gleby i wód gruntowych gdzie akumulowany jest w postaci azotanów, azotynów oraz związków organicznych takich jak aminy czy nitrozoaminy, które zaliczane są do niebezpiecznych trucizn [Newbould 1989, Doran i in. 1996, Sapek 1996]. Azot w środowisku

glebowym wywiera ponadto istotny wpływ na liczbę oraz jakościową selekcję mikroorganizmów glebowych. Wysoki poziom nawożenia mineralnego azotem przyczynia się do recesji, średnio o 50% liczby bakterii z rodzaju *Azotobacter* i *Streptomyces*, całkowitego wyniszczenie bakterii z rodzaju *Artrobacter*, *Rhizobium* i *Bradyrhizobium*, a zwiększenia biomasy mikroorganizmów z rodzajów *Eubacterium*, *Pseudomonas*, *Bacillus* oraz grzybów *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* i *Verticillium* [Byrnes 1990, Barabasz i in. 2002]. Stosowanie wyłącznie nawozów mineralnych oraz dużej ilości pestycydów może prowadzić do zachwiania równowagi mikrobiologicznej, a w konsekwencji do degradacji gleby i obniżenia plonów lub pogorszenia ich jakości [Eser i in. 2007, Lancaster i in. 2006]. Poprawę aktywności biologicznej gleby można uzyskać poprzez aplikację preparatów mikrobiologicznych [Kaczmarek i in. 2008]. Jednak wyniki badań dotyczące wpływu tych preparatów na wielkość i jakość plonu oraz właściwości gleby nie są jednoznaczne. Zwolennicy stosowania preparatów mikrobiologicznych dowodzą korzystnego ich wpływu na plonowanie roślin i właściwości gleby [Janas 2009, Piskier 2006, Shah i in. 2001, Stewart i Daly 1999, Xu 2000], sceptycy zaś wskazują na małą wiarygodność wyników wynikającą z krótkiego okresu badań, lokalnego ich zasięgu oraz błędów metodycznych prowadzonych doświadczeń [Cóndor-Golec i in. 2007, Kucharski i Jastrzębska 2005, Priyadi i in. 2005, Vliet i in. 2006]. Prezentowany w literaturze przedmiotu wpływ preparatów mikrobiologicznych na plonowanie ziemniaka również nie jest jednoznaczny. Mayer et al. [2008] stwierdzili brak istotnego wpływu efektywnych mikroorganizmów na plonowanie ziemniaka, natomiast Emitazi et al. [2004] wykazali korzystne oddziaływanie szczepionek bakteryjnych na rozwój bulw u większości badanych odmian ziemniaka. Boligłowa [2005] stwierdziła znacząco mniejsze występowanie ospowatości bulw (*Rhizoctonia solani*) oraz parcha zwykłego (*Streptomyces scabies*) w wyniku aplikacji preparatu Efektywne Mikroorganizmy (EM). Pozytywne efekty stosowania EM w uprawie pszenicy jarej uzyskał Piskier [2006]. Autor stwierdził, że doglebowa i dolistna aplikacja biopreparatu EM może powodować zwiększenie plonu ziarna nawet o 23% w wyniku korzystnego ich wpływu na kształtowanie się elementów struktury plonu oraz cech biometrycznych roślin. Również Mertens i Hess [1984] oraz Kobayashi i in. [1996] wykazali, że obecność w strefie korzeniowej roślin odpowiednio wyselekcjonowanych mikroorganizmów wpływa pozytywnie na kiełkowanie nasion, wydłużanie się siewek, rozwój korzeni, pobieranie wody i składników odżywczych z gleby, wzrost i zdrowotność roślin, a w końcowym etapie na wielkość plonu. W innych badaniach potwierdzono celowość stosowania Efektywnych Mikroorganizmów (EM) w ochronie pszenicy ozimej przed septoriozą (*Septaria nodorum*) i brunatną plamistością liści (*Drechslera tritici-repentis*) [Boligłowa i Gleń 2008].

Głównym celem badań wchodzących w skład przedstawianego osiągnięcia naukowego było określenie wpływu nawożenia azotowego i mikrobiologicznych preparatów poprawiających właściwości gleby na plonowanie oraz kształtowanie się wskaźników efektywności nawożenia w uprawie pszenicy jarej i ziemniaka jadalnego. W badaniach uwzględniono ponadto ocenę wpływu tych czynników doświadczenia na zawartość azotu mineralnego w glebie po zbiorze uprawianych roślin oraz wielkość strat N-NO<sub>3</sub> w okresie jesienno-zimowym.

## Wyniki badań

Prace **b.1.**, **b.2.** i **b.3.** przedstawiają wyniki badań dotyczących wpływu nawożenia azotowego stosowanego w ilości: 0, 40 80, 120 i 160 kg N ha<sup>-1</sup> oraz preparatów mikrobiologicznych: Proplantan AM, Efektywne Mikroorganizmy (EM) i Użyźniacz Glebowy UGmax na plonowanie oraz efektywność nawożenia pszenicy jarej, a także zawartość azotu mineralnego w glebie po zbiorze roślin.

Poziom nawożenia azotowego istotnie różnicował wielkość plonu ziarna pszenicy oraz wartość jego elementów składowych. Każde zwiększenie dawki azotu do poziomu 160 kg N ha<sup>-1</sup> powodowało istotny, aczkolwiek proporcjonalnie coraz mniejszy przyrost plonu ziarna. Największy przyrost plonu stwierdzono po zastosowaniu dawki 40 kg N ha<sup>-1</sup>, średnio 1,8 t ha<sup>-1</sup> (53,8%). Przyrost plonu ziarna pszenicy jarej nawożonej dawką 80 kg N ha<sup>-1</sup> w porównaniu do plonu pszenicy nawożonej dawką mniejszą tj. 40 kg N ha<sup>-1</sup> wynosił 1,1 t ha<sup>-1</sup> (20,8%). Zastosowanie dawek 120 oraz 160 kg N ha<sup>-1</sup> skutkowało zwiększeniem plonu ziarna w odniesieniu do dawki mniejszej, odpowiednio o 0,5 i 0,2 t ha<sup>-1</sup> (7,3 i 3,5%). Czynnikiem ograniczającym efektywność dużych dawek azotu w uprawie pszenicy była naturalna żyzność gleby. Obsada kłosów na jednostce powierzchni kształtowała się w przedziale od 369 szt. m<sup>-2</sup> w obiekcie bez nawożenia do 600 szt. m<sup>-2</sup> w obiekcie nawożonym dawką 160 kg N ha<sup>-1</sup>. Każda z zastosowanych dawek azotu powodowała istotne zwiększenie obsady kłosów w odniesieniu do dawki mniejszej. Liczba ziaren w kłosie pszenicy w poszczególnych obiektach nawozowych wahała się od 27,2 szt. w obiekcie bez nawożenia azotem do 31,0 szt. po zastosowaniu 160 kg N ha<sup>-1</sup>. Istotne zwiększenie liczby ziaren w kłosie pod wpływem wzrastających dawek azotu odnotowano tylko do poziomu nawożenia 80 kg N ha<sup>-1</sup>. Większe dawki azotu powodowały wprawdzie przyrost liczby ziaren w kłosie aczkolwiek różnice nie zostały statystycznie potwierdzone. Poziom nawożenia azotem istotnie wpływał również na dorodność ziarna. Najmniejszą masą 1000 ziaren odznaczała się pszenica nienawożona azotem, średnio 38,4 g, największą natomiast pszenica nawożona dawką 120 kg N ha<sup>-1</sup>, średnio 40,5 g, przy czym istotne zwiększenie wartości tej cechy pod wpływem wzrastających dawek azotu analogicznie jak w przypadku liczby ziaren w kłosie odnotowano tylko do poziomu nawożenia 80 kg N ha<sup>-1</sup>. Badania wykazały ponadto istotny wpływ mikrobiologicznych preparatów poprawiających właściwości gleby na wielkość plonu ziarna pszenicy jarej. Największy przyrost plonu stwierdzono na obiektach, w których aplikowano preparaty Proplantan AM oraz Efektywne Mikroorganizmy (EM), średnio 0,4 t ha<sup>-1</sup>. Preparaty mikrobiologiczne w niewielkim stopniu oddziaływały natomiast na kształtowanie się elementów składowych plonu ziarna pszenicy jarej. Korzystny ich wpływ zaznaczył się tylko w odniesieniu do obsady kłosów na jednostce powierzchni. Zastosowanie preparatów Proplantan AM i Efektywne Mikroorganizmy (EM) przyczyniło się do zwiększenia obsady kłosów średnio o 21 szt. m<sup>-2</sup> (4%). Analizując indywidualny wkład oraz udział poszczególnych elementów składowych plonu w przyroście plonu pomiędzy obiektami nawozowymi stwierdzono, że największy udział oraz wkład, odpowiednio 75% tj. 2,1 t ha<sup>-1</sup> miała obsada kłosów na jednostce powierzchni, mniejszy liczba ziaren w kłosie 17% co stanowiło 0,4 t ha<sup>-1</sup>, najmniejszy udział oraz wkład w zwyczaję plonu miała masa 1000 ziaren odpowiednio 8% tj. 0,2 t ha<sup>-1</sup>. Wkład obsady kłosów w różnicowaniu plonów ziarna

zwiększał się wraz ze wzrostem poziomu nawożenia azotem, z kolei udział pozostałych składowych plonu zmniejszał się pod wpływem wzrastających dawek azotu.

Pobranie azotu zarówno z plonem ziarna jak również z masą całych roślin pszenicy jarej istotnie zależało od poziomu nawożenia tym składnikiem. Na wytworzenie biomasy, rośliny pszenicy jarej pobierały od 78 kg N ha<sup>-1</sup> w obiekcie bez nawożenia do 184 kg N ha<sup>-1</sup> w obiekcie nawożonym dawką 160 kg N ha<sup>-1</sup>, a udział azotu zgromadzonego w ziarnie stanowił średnio 82% całkowitego pobrania tego składnika. Poziom nawożenia azotem miał istotny wpływ również na wartość pozostałych wskaźników efektywności nawożenia: efektywność wykorzystania azotu – NUE (N use efficiency), efektywność rolniczą azotu – NAE (N agronomic efficiency), efektywność fizjologiczną azotu – NPE (N physiological efficiency) i stopień wykorzystania azotu z nawozu – NRF (N apparent recovery fraction). Wskaźnik NUE określa stosunek plonu do zaopatrzenia roślin w azot (N<sub>min</sub> w glebie przed siewem, azot w nawozach mineralnych oraz z mineralizacji materii organicznej i innych źródeł). W przeprowadzonych badaniach największą wartość wskaźnika NUE stwierdzono na obiektach z dawką 40 kg N ha<sup>-1</sup>, średnio 32,4 kg kg<sup>-1</sup>. Każde kolejne zwiększenie poziomu nawożenia powodowało istotne zmniejszenie efektywności wykorzystania azotu. Najmniejszą wartość indeksu NUE stwierdzono na obiektach nawożonych dawką 160 kg N ha<sup>-1</sup>, średnio 24,7 kg kg<sup>-1</sup>. Efektywność rolnicza azotu – NAE wyrażona przyrostem plonu ziarna na kilogram azotu zastosowanego w nawozach malała w miarę wzrostu dawek tego składnika z 45,8 do 22,6 kg kg<sup>-1</sup>. Również efektywność fizjologiczna azotu – NPE określona jako przyrost plonu suchej masy ziarna na jednostkę azotu pobranego przez rośliny malała wraz ze zwiększającym się poziomem nawożenia azotowego. Największą efektywnością azotu pobranego zarówno z nawozu mineralnego jak i z rezerw glebowych, średnio 54,2 kg kg<sup>-1</sup> odznaczały się rośliny pszenicy jarej nawożone dawką 40 kg N ha<sup>-1</sup>, najmniejszą natomiast rośliny nawożone dawką 160 kg N ha<sup>-1</sup>, odpowiednio 34,9 kg kg<sup>-1</sup>. Wartość wskaźnika NRF określono jako stosunek azotu pobranego przez rośliny pszenicy do ilości tego składnika zastosowanego w nawozie mineralnym. Badania wykazały, że zastosowany azot najlepiej wykorzystywały rośliny nawożone dawką 40 i 80 kg N ha<sup>-1</sup>, odpowiednio 82,8 i 78,9%, a najgorzej rośliny nawożone dawką 160 kg N ha<sup>-1</sup>, średnio 65,5%.

Wpływ mikrobiologicznych preparatów poprawiających właściwości gleby na kształtowanie się wskaźników efektywności nawożenia azotowego pszenicy jarej był stosunkowo niewielki. Istotne zwiększenie pobrania azotu stwierdzono po zastosowaniu preparatów Efektywne Mikroorganizmy (EM) i Użyźniacz Glebowy UGmax. Największy wpływ ocenianych preparatów na wielkość pobrania azotu przez rośliny pszenicy odnotowano na obiektach nienawożonych azotem. Aplikacja preparatów mikrobiologicznych przyczyniła się do istotnego zwiększenia efektywności wykorzystania azotu (NUE), nie miała jednak wpływu na efektywność fizjologiczną azotu (NPE). Zastosowanie preparatu Efektywne Mikroorganizmy (EM) spowodowało zmniejszenie efektywności rolniczej azotu (NAE) o 2,8 kg kg<sup>-1</sup>, a preparatu Użyźniacz Glebowy UGmax zwiększenie wartości tego wskaźnika o 2,6 kg kg<sup>-1</sup>. Badania wykazały ponadto zmniejszenie wykorzystania azotu z nawozów (NRF) po zastosowaniu preparatów Proplantan AM i Efektywne Mikroorganizmy (EM) odpowiednio o 4,6 i 6,0%.

Zawartość N<sub>min</sub> w glebie po zbiorze pszenicy jarej istotnie zależała od poziomu nawożenia azotem oraz aplikacji preparatów mikrobiologicznych. Dominującą formę stanowił

azot azotanowy, a jego udział w ogólnej ilości azotu mineralnego wynosił średnio 65%. Ilość N-NO<sub>3</sub> w warstwie gleby 0–90 cm niezależnie od czynników doświadczenia kształtowała się na poziomie 42 kg ha<sup>-1</sup>, natomiast N-NH<sub>4</sub> odpowiednio 22 kg ha<sup>-1</sup>. Zawartość N<sub>min</sub> w glebie po zbiorze roślin, szczególnie w górnych warstwach profilu glebowego zwiększała się wraz ze wzrostem poziomu nawożenia azotem. Ilość azotu w formie N-NO<sub>3</sub> na głębokości do 30 cm wahała się od 12,6 kg N ha<sup>-1</sup> na obiekcie bez nawożenia do 29,7 kg N ha<sup>-1</sup> na obiekcie nawożonym dawką 160 kg N ha<sup>-1</sup>. W warstwie 30–60 cm ilość tej formy azotu kształtowała się w przedziale od 8,8 do 18,6 kg N ha<sup>-1</sup>, natomiast w warstwie 60–90 cm odpowiednio od 5,5 do 7,2 kg N ha<sup>-1</sup>. Z kolei ilość azotu mineralnego w formie N-NH<sub>4</sub> w warstwie górnej gleby wahała się od 7,2 do 14,9 kg N ha<sup>-1</sup>, w środkowej od 4,8 do 8,3 kg N ha<sup>-1</sup>, a w warstwie dolnej od 4,1 do 5,8 kg N-NH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>. Nawożenie azotowe stosowane w formie saletry amonowej powodowało większą kumulację N-NO<sub>3</sub> niż N-NH<sub>4</sub> w profilu glebowym. W żadnym z obiektów nawozowych po zbiorze pszenicy jarej tj. w II dekadzie sierpnia nie stwierdzono przekroczenia bezpiecznej dla środowiska zawartości N-NO<sub>3</sub> w glebie. Jednak zawartość azotu mineralnego w glebie po zbiorze roślin może ulec zwiększeniu pod wpływem mineralizacji materii organicznej. Istotną rolę odegrać może obumierająca biomasa mikroorganizmów, które przyczyniły się do immobilizacji części azotu mineralnego. W przeprowadzonych badaniach stwierdzono bowiem istotnie mniejszą zawartość N-NO<sub>3</sub> oraz N-NH<sub>4</sub> w górnej i środkowej warstwie gleby po zastosowaniu preparatu Proplantan AM i Efektywne Mikroorganizmy (EM) niż w obiekcie kontrolnym.

Prace **b.4.**, **b.5.** i **b.6.** przedstawiają wyniki badań dotyczących wpływu nawożenia azotowego stosowanego w ilości: 0, 60, 120 i 180 kg N ha<sup>-1</sup> oraz preparatów mikrobiologicznych: BactoFil B 10, Efektywne Mikroorganizmy (EM) i Użyźniacz Glebowy UGmax na plonowanie oraz efektywność nawożenia ziemniaka jadalnego, a także zawartość N<sub>min</sub> w glebie po zbiorze roślin i straty N-NO<sub>3</sub> w okresie jesienno–zimowym.

Produkcyjność roślin ziemniaka istotnie zależała od poziomu nawożenia azotem oraz aplikacji mikrobiologicznych preparatów poprawiających właściwości gleby. Każda dawka azotu zastosowana w zakresie do 180 kg N ha<sup>-1</sup> powodowała istotne zwiększenie produktywności roślin. Aplikacja 60 kg N ha<sup>-1</sup> zapewniała przyrost plonu świeżej i suchej masy bulw odpowiednio o 53,5 i 50,9% oraz całych roślin o 50,4% w porównaniu z obiektem nienawożonym – N<sub>0</sub>. Zwiększenie dawki azotu do poziomu 120 kg N ha<sup>-1</sup> powodowało wzrost produktywności roślin ziemniaka średnio o 25%, natomiast zastosowanie 180 kg N ha<sup>-1</sup> w odniesieniu do dawki mniejszej (N<sub>120</sub>) skutkowało zwiększeniem plonu świeżej masy bulw tylko o 11,7%, plonu suchej masy bulw o 8,0%, a biomasy całych roślin ziemniaka o 7,3%. Analogicznie przedstawiał się wpływ nawożenia azotowego na kształtowanie się wielkości plonu handlowego bulw. Wpływ preparatów mikrobiologicznych na produktywność roślin ziemniaka był zróżnicowany. Aplikacja preparatu BactoFil B 10 przyczyniła się do istotnego zmniejszenia plonu ogólnego bulw, zastosowanie preparatu Efektywne Mikroorganizmy (EM) skutkowało zmniejszeniem plonu świeżej i suchej masy bulw, natomiast zastosowanie preparatu Użyźniacz Glebowy UGmax powodowało zmniejszenie biomasy całych roślin. Na obiektach, w których aplikowano preparaty mikrobiologiczne plon handlowy bulw był mniejszy niż w obiekcie kontrolnym o 1,5 do 2,3 t ha<sup>-1</sup>. Pozytywny efekt stosowania preparatów mikrobiologicznych na kształtowanie się plonu ogólnego bulw stwierdzono tylko na obiektach nienawożonych azotem – N<sub>0</sub>. Rosnące dawki azotu



zmniejszały efektywność produkcyjną preparatów mikrobiologicznych. Szczególnie niekorzystny wpływ łącznego stosowania preparatów mikrobiologicznych i nawożenia azotem na plonowanie ziemniaka stwierdzono na obiektach  $N_{120}$  i  $N_{180}$ .

Nawożenie azotowe ziemniaka wpływało na zwiększenie wartości elementów składowych plonu bulw. Istotny przyrost liczby łodyg głównych na  $1\text{ m}^2$  pod wpływem rosnących dawek azotu występował do poziomu nawożenia  $120\text{ kg N ha}^{-1}$ , natomiast liczby bulw przypadających na 1 łodygę tylko do poziomu  $60\text{ kg N ha}^{-1}$ . Każda dawka azotu stosowanego w zakresie do  $180\text{ kg N ha}^{-1}$  powodowała natomiast istotne zwiększenie średniej masy bulwy oraz udziału frakcji bulw handlowych i dużych. Udział bulw handlowych w plonie ogólnym zwiększał się pod wpływem rosnących dawek azotu od 94 do 98%, a bulw dużych w zakresie od 58 do 74%. Preparaty mikrobiologiczne BactoFil B 10 i Efektywne Mikroorganizmy (EM) miały niekorzystny wpływ na liczbę łodyg głównych na jednostce powierzchni. Efekt ten był szczególnie widoczny na obiektach nawożonych azotem w ilości 120 i 180  $\text{kg N ha}^{-1}$ . Zastosowanie w uprawie ziemniaka preparatów Efektywne Mikroorganizmy (EM) i Użyźniacz Glebowy UGmax powodowało zmniejszenie średniej masy bulwy. Wartość tej cechy zależała ponadto od interakcyjnego wpływu preparatów mikrobiologicznych oraz dawek azotu. Aplikacja preparatu BactoFil B 10 na obiektach nienawożonych azotem –  $N_0$  skutkowała istotnym zwiększeniem średniej masy bulwy, natomiast po zastosowaniu preparatu Efektywne Mikroorganizmy (EM) na obiektach  $N_{60}$  i  $N_{120}$  odnotowano zmniejszenie wartości tej cechy. Niekorzystny wpływ wszystkich ocenianych preparatów mikrobiologicznych na średnią masę bulwy stwierdzono na obiektach nawożonych dawką  $180\text{ kg N ha}^{-1}$ . Pozytywną reakcję roślin ziemniaka na aplikację preparatów mikrobiologicznych zaznaczyła się natomiast w odniesieniu do liczby bulw na 1 łodydze. Istotne zwiększenie wartości tej cechy w stosunku do kontroli stwierdzono jednak tylko po zastosowaniu preparatu Efektywne Mikroorganizmy (EM). Preparaty mikrobiologiczne nie różnicowały udziału frakcji bulw handlowych oraz dużych w plonie ogólnym. Przyrost plonu bulw ziemniaka był efektem zwiększenia się wartości jego elementów składowych. Największy udział oraz wkład w przyroście plonu bulw ziemniaka nawożonego w zakresie od 0 do  $180\text{ kg N ha}^{-1}$  miała średnia masa bulwy, odpowiednio 81,2% i  $14,6\text{ t ha}^{-1}$ . Wkład średniej masy bulwy w przyrost plonu bulw zwiększał się od  $8,5\text{ t ha}^{-1}$  (42,0%) na obiekcie nawozowym  $N_{60}$  do  $19,5\text{ t ha}^{-1}$  (96,6%) na obiekcie  $N_{180}$ . Udział liczby łodyg na  $1\text{ m}^2$  w zwyczajnie plonu wynosił 11,8%, a liczby bulw z łodygi – 7,0%, co stanowiło wkład tych elementów składowych wynoszący odpowiednio 2,1 i  $1,1\text{ t ha}^{-1}$ . Analiza regresji liniowej potwierdziła występowanie istotnych zależności pomiędzy wielkością plonu ogólnego bulw a wartością poszczególnych elementów składowych plonu. Zależności te były najbardziej wyraźne w przypadku kształtowania się średniej masy bulwy o czym świadczy wartość współczynnika determinacji ( $R^2=0,983$ ). Zależność plonu ogólnego bulw od wartości pozostałych elementów składowych plonu była mniejsza ( $R^2=0,599$  i  $0,349$ ).

Ilość azotu pobranego zarówno z plonem bulw jak również z masą całych roślin ziemniaka zależała od wielkości dawki azotu, preparatu mikrobiologicznego oraz interakcji tych czynników. Pobranie azotu z plonem bulw ziemniaka zwiększało się wraz ze wzrostem poziomu nawożenia tym składnikiem od  $62\text{ kg N ha}^{-1}$  w obiekcie bez nawożenia –  $N_0$  do  $150\text{ kg N ha}^{-1}$  w obiekcie  $N_{180}$ . Aplikowane w uprawie ziemniaka preparaty mikrobiologiczne przyczyniły się do zmniejszenia pobrania azotu z plonem bulw o 5 do 6%. Efektywność

wykorzystania azotu (NUE) zależała istotnie od dawki azotu oraz preparatu mikrobiologicznego. Największą wartość wskaźnika NUE stwierdzono na obiektach  $N_0$  oraz  $N_{60}$ , odpowiednio 37,8 i 37,5 kg kg<sup>-1</sup>. Każde kolejne zwiększenie poziomu nawożenia powodowało zmniejszenie efektywności wykorzystania azotu. Najmniejszą wartość indeksu NUE stwierdzono na obiektach nawożonych dawką 180 kg N ha<sup>-1</sup>, średnio 30,1 kg kg<sup>-1</sup>. Zastosowanie preparatów BactoFil B 10 i Efektywne Mikroorganizmy (EM) skutkowało istotnym zmniejszeniem efektywności wykorzystania azotu (NUE). Efekt ten był wynikiem gorszego plonowania ziemniaka mimo większego zaopatrzenia roślin w azot glebowy wiosną oraz pochodzący z mineralizacji materii organicznej. Wpływ preparatów mikrobiologicznych na wartość indeksu NUE był zróżnicowany w poszczególnych obiektach nawozowych. Pozytywny efekt aplikacji preparatów mikrobiologicznych stwierdzono tylko na obiektach  $N_0$  po zastosowaniu preparatów Efektywne Mikroorganizmy (EM) i Użyźniacz Glebowy UGmax. Efektywność wykorzystania azotu na obiektach  $N_{120}$  i  $N_{180}$  po zastosowaniu preparatów mikrobiologicznych była istotnie mniejsza niż w obiekcie kontrolnym. Efektywność pobierania azotu (NUpE, N uptake efficiency) określono jako stosunek azotu pobranego przez rośliny do ilości azotu dostępnego dla roślin. Wartość tego wskaźnika kształtowała się w odmienny sposób niż efektywność wykorzystania azotu (NUE). Największą efektywność pobierania azotu stwierdzono po zastosowaniu nawożenia 60 kg N ha<sup>-1</sup>, a każde kolejne zwiększenie dawki nawozów azotowych skutkowało istotnym zmniejszeniem wartości tego wskaźnika. Aplikacja preparatów mikrobiologicznych przyczyniła się do zmniejszenia wartości NUpE, średnio o 0,04 kg kg<sup>-1</sup>. Niekorzystny wpływ preparatów mikrobiologicznych na efektywność pobranego N stwierdzono we wszystkich obiektach nawożonych azotem, niezależnie od wielkości dawki tego składnika. Sprawność wykorzystania azotu (NUtE, N utilization efficiency) określona jako stosunek biomasy roślin do ilości azotu pobranego kształtowała się w zakresie od 59,0 do 74,0 kg kg<sup>-1</sup> w zależności od czynników doświadczenia. Sprawność wykorzystania azotu w obiekcie nienawożonym –  $N_0$  wynosiła 71,7 kg kg<sup>-1</sup>. Każda z zastosowanych dawek azotu powodowała istotne zmniejszenie wartości indeksu NUtE. Najmniejszą sprawność wykorzystania azotu odnotowano na obiekcie  $N_{180}$ , średnio 60,2 kg kg<sup>-1</sup>. Sprawność wykorzystania azotu (NUtE) zwiększała aplikacja preparatów mikrobiologicznych na obiektach nienawożonych –  $N_0$ . Korzystny wpływ na wartość tego wskaźnika po zastosowaniu preparatu Efektywne Mikroorganizmy (EM) zaznaczył się także na obiektach nawozowych  $N_{60}$  i  $N_{120}$ . Indeks NHI (N harvest index) określający udział azotu zgromadzonego w plonie bulw w relacji do całkowitego pobrania azotu przez rośliny ziemniaka kształtował się w zakresie od 90,4 do 96,5%. Poziom nawożenia azotem nie różnicował wartości indeksu NHI. Na wartość tego wskaźnika istotny wpływ miała natomiast aplikacja preparatów mikrobiologicznych. Zastosowanie preparatów BactoFil B 10 i Efektywne Mikroorganizmy (EM) istotnie obniżało wartość NHI. Efektywność agronomiczna N (NAE) wyrażona przyrostem plonu bulw na kilogram azotu zastosowanego w nawozach malała wraz ze zwiększającym się poziomem nawożenia tym składnikiem. Największą efektywność agronomiczną azotu, średnio 181 kg kg<sup>-1</sup> stwierdzono na obiektach nawozowych  $N_{60}$ , najmniejszą natomiast na obiektach  $N_{180}$ , odpowiednio 130 kg kg<sup>-1</sup>. Istotny wpływ na wartość tego wskaźnika miała również aplikacja preparatów mikrobiologicznych. Każdy z zastosowanych w uprawie ziemniaka preparatów mikrobiologicznych obniżał efektywność agronomiczną azotu. Na obiektach, w których

aplikowano preparat Efektywne Mikroorganizmy (EM) spadek efektywności agronomicznej był największy i wynosił średnio  $52 \text{ kg kg}^{-1}$ . Zastosowanie preparatu BactoFil B 10 powodowało zmniejszenie efektywności agronomicznej azotu o  $41 \text{ kg kg}^{-1}$ . Efektywność fizjologiczna azotu (NPE) na obiektach  $N_{60}$  i  $N_{120}$  kształtowała się na jednakowym poziomie, odpowiednio  $54,0$  i  $56,6 \text{ kg kg}^{-1}$ . Zwiększenie dawki azotu do poziomu  $180 \text{ kg N ha}^{-1}$  powodowało istotne zmniejszenie efektywności fizjologicznej tego składnika. Na obiektach, w których aplikowano preparaty mikrobiologiczne efektywność fizjologiczna azotu kształtowała się podobnie jak efektywność agronomiczna. Preparaty, Efektywne Mikroorganizmy (EM) i Użyźniacz Glebowy UGmax istotnie obniżały efektywność fizjologiczną azotu, odpowiednio o  $4,9$  i  $10,1 \text{ kg kg N}^{-1}$ , natomiast preparat BactoFil B 10 nie miał wpływu na wartość tego wskaźnika. Stwierdzono ponadto istotną interakcję nawożenia z preparatami mikrobiologicznymi.

Współczynnik wykorzystania azotu (NRF) kształtował się w zakresie od  $49,6$  do  $78,1\%$ . Najwięcej azotu zastosowanego w nawozach, średnio  $74,8\%$  wykorzystwały rośliny nawożone dawką  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Każde zwiększenie dawki azotu powodowało pogorszenie wykorzystania tego składnika. Rośliny ziemniaka nawożone dawką  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$  wykorzystywały  $63,1\%$  azotu zastosowanego w nawozach, a nawożone dawką  $180 \text{ kg N ha}^{-1}$  odpowiednio  $52,6\%$ . Aplikacja preparatów mikrobiologicznych miała niekorzystny wpływ na wykorzystanie azotu z nawozów. Zastosowanie preparatów mikrobiologicznych powodowało zmniejszenie wykorzystania azotu z nawozów średnio o  $5,5$  do  $9,0\%$ .

Plon bulw ziemniaka najsilniej skorelowany był z  $NUtE$  ( $-0,63$ ) oraz  $NUE$  ( $-0,50$ ), w mniejszym stopniu z  $NRF$  ( $-0,39$ ) i  $NAE$  ( $-0,26$ ). Przeprowadzone badania wykazały ponadto ścisłą zależność pomiędzy efektywnością wykorzystania azotu ( $NUE$ ) z pozostałymi wskaźnikami efektywności nawożenia oprócz  $NHI$ , a także zależność pomiędzy  $NUpE$  i  $NRF$  ( $r=0,90$ ) oraz  $NUpE$  i  $NAE$  ( $r=0,73$ ). Skuteczność wykorzystania azotu ( $NUtE$ ) wykazywała ścisły związek z efektywnością fizjologiczną ( $NPE$ ), ( $r=0,69$ ) i agronomiczną azotu ( $NAE$ ), ( $r=0,27$ ).

Zawartość  $N_{min}$  w glebie po zbiorze ziemniaka istotnie zależała zarówno od poziomu nawożenia azotem jak i aplikacji preparatów mikrobiologicznych. Dominującą formą azotu był  $N-NO_3$ , a jego udział w ogólnej ilości  $N_{min}$  wahał się od  $54$  do  $63\%$ . Niezależnie od czynników doświadczenia średnia zawartość  $N-NO_3$  w warstwie gleby  $0-90 \text{ cm}$ , kształtowała się na poziomie  $50 \text{ kg N ha}^{-1}$ , natomiast  $N-NH_4$  wynosiła  $36 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Ilość  $N_{min}$  w glebie po zbiorze roślin zwiększała się wraz ze wzrostem poziomu nawożenia azotem, szczególnie w górnej warstwie profilu glebowego. Najmniejszą zawartość  $N-NO_3$  oraz  $N-NH_4$  na głębokości do  $30 \text{ cm}$  stwierdzono na obiekcie  $N_0$ , odpowiednio  $13$  i  $10 \text{ kg N ha}^{-1}$ , a największą na obiekcie  $N_{180}$ , odpowiednio  $35$  i  $24 \text{ kg N ha}^{-1}$ . W środkowej warstwie profilu glebowego zawartość  $N-NO_3$  zwiększała się od  $10$  do  $23 \text{ kg N ha}^{-1}$ , natomiast  $N-NH_4$  odpowiednio od  $8$  do  $16 \text{ kg N ha}^{-1}$ . W dolnej warstwie profilu glebowego rosnące dawki azotu stosowane w uprawie ziemniaka powodowały zwiększenie zawartości  $N-NO_3$  w zakresie od  $5$  do  $12 \text{ kg N ha}^{-1}$ , natomiast  $N-NH_4$  od  $5$  do  $8 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Analiza regresji liniowej potwierdziła występowanie istotnych zależności pomiędzy wielkością dawki azotu, a zawartością  $N-NO_3$  i  $N-NH_4$  w glebie po zbiorze ziemniaka. Zależności te były najbardziej wyraźne w górnej warstwie profilu glebowego. Rosnące dawki azotu zastosowanego w formie mocznika powodowały większą kumulację w profilu glebowym  $N-NO_3$  niż  $N-NH_4$ . Aplikacja

preparatów mikrobiologicznych w uprawie ziemniaka powodowała zwiększenie zawartości  $N_{\min}$  w glebie po zbiorze roślin. Jednak wpływ preparatów mikrobiologicznych na zawartość  $N-NO_3$  i  $N-NH_4$  po zbiorze ziemniaka w poszczególnych obiektach nawozowych i poziomach gleby nie był jednoznaczny. Istotne zwiększenie zawartości  $N-NO_3$  po zastosowaniu preparatu BactoFil B 10 stwierdzono w górnej warstwie profilu glebowego na obiekcie nawozowym  $N_{60}$  oraz w dolnej warstwie gleby na obiekcie  $N_{180}$ . Z kolei w środkowej części profilu glebowego istotny wpływ na kształtowanie się zawartości  $N-NO_3$  wywierał preparat Użyźniacz Glebowy UGmax. Wpływ preparatów mikrobiologicznych na ilość  $N-NH_4$  po zbiorze ziemniaka był niewielki i zaznaczył się tylko w górnej warstwie gleby. Zawartość  $N-NO_3$  w glebie po okresie jesienno-zimowym (marzec) była mniejsza niż jesienią po zbiorze ziemniaka (wrzesień). Wielkość strat  $N-NO_3$  w profilu glebowym 0–90 cm w zależności od poziomu nawożenia azotowego ziemniaka wahała się od 2 do 17  $kg\ N\ ha^{-1}$  (10–23%). Największe straty stwierdzono na obiektach, w których zawartość  $N-NO_3$  po zbiorze ziemniaka była największa tj. nawożonych dawką 180  $kg\ N\ ha^{-1}$ . Najmniej  $N-NO_3$  ługowane było na obiektach nienawożonych azotem. Na wielkość strat  $N-NO_3$  w okresie jesienno-zimowym istotny wpływ miała także aplikacja preparatów mikrobiologicznych. W obiektach, w których stosowano preparaty mikrobiologiczne zawartość  $N-NO_3$  wiosną była od 7 do 10  $kg\ N\ ha^{-1}$  mniejsza niż jesienią, natomiast na obiekcie kontrolnym o 6  $kg\ N\ ha^{-1}$ .

### **Wnioski wynikające z przeprowadzonych badań z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania**

1. Plon ziarna pszenicy jarej oraz obsada kłosów zwiększały się w całym zakresie stosowanego nawożenia azotowego, natomiast przyrost liczby ziaren w kłosie oraz masy 1000 ziaren występował tylko do poziomu nawożenia 80  $kg\ N\ ha^{-1}$ . Największy udział w przyroście plonu ziarna miała obsada kłosów, mniejszy – liczba ziaren w kłosie, najmniejszy natomiast masa 1000 ziaren.
2. Preparaty mikrobiologiczne w niewielkim stopniu oddziaływały na plonowanie pszenicy. Istotność wpływu dotyczyła plonu ziarna oraz obsady kłosów. Przyrost plonu, średnio o 0,4  $t\ ha^{-1}$  stwierdzono na obiektach, w których aplikowano preparaty Proplantan AM oraz Efektywne Mikroorganizmy (EM), głównie za sprawą większej obsady kłosów.
3. Aplikacja preparatów mikrobiologicznych w uprawie pszenicy przyczyniła się do zwiększenia efektywności wykorzystania azotu (NUE), nie decydowała o efektywności fizjologicznej (NPE), a ich wpływ na efektywność rolniczą (NAE) nie był jednoznaczny. Badania wykazały ponadto zmniejszenie wykorzystania azotu z nawozów (NRF) po zastosowaniu preparatów Proplantan AM oraz Efektywne Mikroorganizmy (EM).
4. Każda dawka azotu stosowanego w uprawie ziemniaka w zakresie do 180  $kg\ N\ ha^{-1}$  powodowała istotny przyrost plonu bulw, średniej masy bulwy oraz udziału frakcji bulw handlowych i dużych. Zwiększenie liczby łodyg głównych na 1  $m^2$  pod wpływem rosnących dawek azotu występowało do poziomu nawożenia 120  $kg\ N\ ha^{-1}$ , natomiast liczby bulw przypadających na 1 łodygę tylko do poziomu 60  $kg\ N\ ha^{-1}$ .

5. Przyrost plonu bulw ziemniaka pod wpływem intensyfikacji nawożenia azotowego był efektem głównie zwiększenia średniej masy bulwy. Udział liczby łodyg głównych oraz ilości bulw z łodygi w zwyżce plony był znacząco mniejszy.
6. Preparaty mikrobiologiczne wywierały nieistotny lub niekorzystny wpływ na plonowanie ziemniaka oraz kształtowanie się wskaźników efektywności nawożenia azotowego szczególnie na obiektach z dużymi dawkami tego składnika. Pozytywny efekt ich stosowania zaznaczył się tylko na obiektach nienawożonych azotem.
7. Wrastające dawki azotu powodowały liniowe zwiększanie się zawartości  $N_{\min}$  w glebie po zbiorze roślin. Nawożenie azotowe pszenicy stosowane w ilości do  $160 \text{ kg N ha}^{-1}$ , a ziemniaka jadalnego do  $180 \text{ kg N ha}^{-1}$  w warunkach uprawy na glebie ciężkiej nie powodowało przekroczenia bezpiecznej dla środowiska zawartości  $N\text{--NO}_3$  w glebie po zbiorze roślin.
8. Wpływ preparatów mikrobiologicznych na kształtowanie zawartości  $N_{\min}$  po zbiorze pszenicy jarej i ziemniaka był odmienny, co wynikało głównie z różnej długości okresu wegetacji tych roślin. Preparaty Proplantan AM i Efektywne Mikroorganizmy (EM) powodowały zmniejszenie ilości  $N_{\min}$  oznaczonego po zbiorze pszenicy, natomiast aplikacja preparatów mikrobiologicznych w uprawie ziemniaka wpływała na zwiększenie zawartości  $N_{\min}$  w glebie po zbiorze roślin oraz wielkości strat  $N\text{--NO}_3$  w okresie jesienno–zimowym.
9. Ze względu na dużą ilość  $N_{\min}$  po zbiorze roślin oraz charakter zmian zawartości  $N\text{--NO}_3$  pod wpływem rosnących dawek azotu sugerujących możliwość przekroczenia bezpiecznej ilości tej formy azotu po zbiorze roślin, zaleca się uprawę roślin ozimych lub międzyplonów w celu ograniczenia strat  $N\text{--NO}_3$  w okresie jesienno-zimowym.

## Literatura

- Badr M.A., El-Tohamy W.A., Zaghoul A.M. 2012. Yield and water use efficiency of potato grown under different irrigation and nitrogen levels in an arid region. *Agric. Water Manage.* 110: 9–15.
- Barabasz W., Albińska D., Jaśkowska M., Lipiec J. 2002. Biological effects of mineral nitrogen fertilization on soil microorganisms. *Pol. J. Environ. Stud.* 11, (3): 193–198.
- Boligłowa E. 2005. Ochrona ziemniaka przed chorobami i szkodnikami przy użyciu Efektywnych Mikroorganizmów (EM) z udziałem ziół. Wybrane zagadnienia ekologiczne we współczesnym rolnictwie. Red. Z. Zbytek PIMR, Poznań: 165–170
- Boligłowa E., Gleń K. 2008. Assessment of effective microorganism activity (EM) in winter wheat protection against fungal diseases. *Ecol. Chem. Eng.* 15(1–2): 23–27.
- Byrnes B.H. 1990. Environmental effects of N fertilizer use - An overview. *Fert. Res.* 26: 209–215.
- Cóndor-Golec A.F., Pérez P.G., Lokare Y.C. 2007. Effective microorganisms: Myth or reality? *Rev. Peru. Biol.* 14(2): 315–319.
- Czarnocki S., Garwacka A., Starczewski J. 2009. Architektura łanu i plonowanie wybranych odmian pszenicy jarej w zależności od zastosowanych technologii uprawy. *Fragm. Agron.* 26(3): 34–41.
- Darwish T.M., Atallah T.W., Hajhasan S., Haidar A. 2006. Nitrogen and water use efficiency of fertigated processing potato. *Agric. Water Manage.* 85: 95–104.

- Deng S.P., Moore J.M., Tabatabai M.A. 2000. Characterization of active nitrogen pools in soils under different cropping systems. *Biol. Fertil. Soils*. 32:302–309.
- Doran J.W., Sarrantonio M., Liebig M.A. 1996. Soil health and sustainability. *Adv. Agron.* 56: 1–54.
- Emitazi G., Nader A., Etemadifar Z. 2004. Effect of nitrogen fixing bacteria on growth of potato tubers. *Adv. Food Sci.* 26(2): 56–58.
- Eser F., Liker H.A.S., Darici C. 2007. The effects of glyphosate isopropylamine and trifluralin on the carbon mineralization of olive tree soils. *Turk. J. Agric. For.* 31: 297–302.
- Fotyma E. 1997. Efektywność nawożenia azotem podstawowych roślin uprawy polowej. *Fragm. Agron.* 14(1): 46–66.
- Fotyma E., Fotyma M., Pietruch Cz., Berge H. 2002. Sources of mineral nitrogen and efficiency of their utilization in Polish agriculture. *Nawozy Nawożenie* 1: 30–49
- Frant M., Bujak K. 2007. Wpływ uproszczeń w uprawie roli i poziomów nawożenia mineralnego na plonowanie pszenicy jarej. *Fragm. Agron.* 24(1): 49–57.
- Galarreta J.I.R., Ezpelata B., Pascualena J., Ritter E. 2006. Combining ability in early generations of potato breeding. *Plant Breed.* 125: 183–186.
- Gąsiorowska B., Makarewicz A., 2004. Wpływ nawożenia azotowego na plonowanie pszenicy jarej. *Annales UMCS, Sec. E* 59 (2): 713–719.
- Good A.G., Shrawat A.K., Muench D.G. 2004. Can less yield more? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production? *Trends in Plant Science* 9: 597–605.
- Halvorson A.D., Wienhold B.J., Black A.L. 2001. Tillage and nitrogen fertilization influence grain and soil nitrogen in an annual cropping system. *Agron. J.* 93: 836–841.
- Jamaati-e-Somarin S., Zabihi-e-Mahmoodabad R., Yari A. 2010a. Response of agronomical, physiological, apparent recovery nitrogen use efficiency and yield of potato tuber (*Solanum tuberosum* L.), to nitrogen and plant density. *American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 9(1): 16–21.
- Jamaati-e-Somarin S., Zabihi-e-Mahmoodabad R., Yari A. 2010b. Yield and yield components of potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber as affected by nitrogen fertilizer and plant density. *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 4(8): 3128–3131.
- Janas R. 2009. Możliwości wykorzystania Efektywnych Mikroorganizmów w ekologicznych systemach produkcji roślin uprawnych. *Prob. Inż. Rol.* 3: 111–119.
- Kaczmarek Z., Wolna-Maruwka A., Jakubas M. 2008. Zmiany liczebności wybranych grup drobnoustrojów glebowych oraz aktywności enzymatycznej w glebie inokulowanej Efektywnymi Mikroorganizmami (EM). *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 53(3): 122–127.
- Kobayashi A., Myong J.K., Kawazu K. 1996. Uptake and exudation of phenolic compounds by wheat and antimicrobial components of the root exudate. *Z. Naturforsch.* 51: 527–533.
- Kołodziejczyk M., Szmigiel A., Kulig B. 2009. Plonowanie wybranych odmian pszenicy jarej w zależności od poziomu agrotechniki. *Fragm. Agron.* 26(3): 58–67.
- Kołodziejczyk M., Szmigiel A., Oleksy A. 2007. Wpływ intensywności uprawy na plonowanie wybranych odmian pszenicy jarej. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 6(4): 5–14.
- Kucharski J., Jastrzębska E. 2005. Rola efektywnych mikroorganizmów w kształtowaniu właściwości mikrobiologicznych gleby. *Inż. Ekol.* 12: 295–296.
- Lancaster S.H., Haney R.L., Senseman S.A., Hons F.M., Chandler J.M. 2006. Soil microbial activity is affected by Roundup WeatherMax and pesticides applied to cotton (*Gossypium hirsutum*). *J. Agric. Food Chem.* 54: 7221–7226.
- Li H., Parent L.E., Karam A., Tremblay C. 2003. Efficiency of soil and fertilizer nitrogen of a sod-potato system in the humid, acid and cool environment. *Plant Soil* 251: 23–36.
- Lis B., Mazurczyk W., Trawczyński C., Wierzbička A. 2002. Czynniki ograniczające wykorzystanie azotu przez rośliny ziemniaka a zagrożenie środowiska. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 489: 165–174.
- Lloveras J., Lopez A., Ferran J., Espachs S., Solsona J. 2001. Bread-making wheat and soil nitrate as affected by nitrogen fertilization in irrigated Mediterranean conditions. *Agron. J.* 93: 1183–1190.

- Luthra S.K., Gopal J., Singh B.P., Pandey S.K. 2009. Stability for tuber yield and its components in potato. *Potato J.* 36(1-2): 20–24.
- López-Bellido L., Fuentes M., Castillo J.E., López-Garrido F.J. 1998. Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat-grain quality grown under rainfed Mediterranean conditions. *Field Crop Res.* 57: 265–276.
- López-Bellido R.J., López-Bellido L. 2001. Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean condition: effect of tillage, crop rotation and N fertilization. *Field Crop Res* 71(1):31–46.
- Mayer J., Scheid S., Oberholzer H.R. 2008. How effective are ‘Effective Microorganisms’? Results from an organic farming field experiment. 16<sup>th</sup> IFOAM Organic World Congress, 18–20 June 2008, Modena, Italy, p. 168–171.
- Mazur T., Sądej W. 1999. Leaching of nutrients from the soil fertilized with pig slurry, manure and mineral fertilizers. *Folia Univ. Agric. Stetin., Agric.* 200 (77): 257–262.
- Mazurczyk W., Wierzbicka A., Wroniak J. 2005. Wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych przez odmiany wczesne ziemniaka. *Fragm. Agron.* (22)1: 512–520.
- Mertens T., Hess D. 1984. Yield increases in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) inoculated with *Azospirillum lipoferum* under greenhouse and field conditions of a temperate region. *Plant Soil* 82: 87–99.
- Mitchell JK, Walther SE, Hirschi MC, Cooke RAC, Banasik K. 1998. Nitrate losses under various nitrogen management systems. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 485: 431–432.
- Neeteson J.J. 1989. Evaluation of the performance for nitrogen fertilization of sugar beet and potatoes. *Netherlands J. Agric. Sci.* 37: 143–155.
- Newbould P. 1989. The use of nitrogen fertilizer in agriculture. Where do we go practically and ecologically. *Ecology of Arable Land.* Kluwer Academic Publisher, pp 281–295.
- Novoa R., Loomis R.S. 1981. Nitrogen and plant production. *Plant Soil* 58: 177–204.
- Olivier M., Goffart J.P., Ledent J.F. 2006. Threshold value for chlorophyll meter as decision tool for nitrogen management of potato. *Agron. J.* 98: 496–506.
- Piskier T. 2006. Reakcja pszenicy jarej na stosowanie biostymulatorów i absorbentów glebowych. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 51(2): 136–138.
- Priyadi K., Hadi A., Siagan T.H., Nisa C., Azizah A., Raihani N., Inubushi K., 2005. Effect of soil type, applications of chicken manure and Effective Microorganisms on corn yield and microbial properties of acidic wetland soils in Indonesia. *Soil Sci. Plant Nutr.* 51(5): 689–691.
- Rahimizadeh M., Kashani A., Zare-Feizabadi A., Koocheki A., Nassiri-Mahallati M. 2010. Nitrogen use efficiency of wheat as affected by preceding crop, application rate of nitrogen and crop residues. *Aust. J. Crop Sci.* 4(5): 363–368.
- Raun W.R., Johnson G.V. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agron. J.* 91: 357–363.
- Reestman A.J., Witt C.D. de. 1959. Yield and size distribution of potatoes as influenced by seed rate. *Neth. J. Agric. Sci.* 7: 257–268.
- Rudnicki F. 2000. Wyznaczenie wpływu poszczególnych elementów plonowania na różnice plonów między obiektami doświadczalnymi. *Fragm. Agron.* 17 (3): 53–65.
- Sapek A. 1996. Risks of water pollution from nitrogen in agricultural activities. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 440: 309–329
- Shah H.S., Saleem M.F., Shahid M. 2001. Effect of different fertilizers and effective microorganisms on growth, yield and quality of maize. *Int. J. Agri. Biol.* 3: 378–379.
- Simonis A.D. 1988. Studies on nitrogen use efficiency in cereals. In: *Nitrogen Efficiency in Agricultural Soils.* Elsevier Appl. Sci. pp 110–124.
- Sowers K.E., Pan W.L., Miller B.C., Smith J.L. 1994. Nitrogen use efficiency of split nitrogen applications in soft white winter wheat. *Agron. J.* 86: 942–948.
- Stewart D.P.C., Daly M.J., 1999. Influence of “effective microorganisms” (EM) on vegetable production and carbon mineralization – a preliminary investigation. *J. Sustain. Agric.* 14, 2/3: 15–25.
- Sykut S. 2000. Leaching of soil macroelements in lysimeters. *Nawozy i Nawożenie* 4(5): 18–25.

- Szmigiel A., Kołodziejczyk M. 2004. Wybrane wskaźniki efektywności nawożenia ziemniaka. *Annales UMCS, Sec. E* 59(3): 1445–1453.
- Sztuder H., Strączyński S. 2008. Evaluation of traditional and integrated application of liquid agrochemicals in winter wheat. *Annales UMCS, Sec. E* 63(4): 24–33.
- Van Vliet P.C.J., Bloem J., de Goede R.G.M. 2006. Microbial diversity, nitrogen loss and grass production after addition of Effective Micro-organisms® (EM) to slurry manure. *Appl. Soil Ecol.* 32: 188–198.
- Vos J., Marshall B. 1993. Nitrogen and potato production: strategies to reduce nitrate leaching. 12<sup>th</sup> Trien. Conf. of EAPR, Paris pp 101–110.
- Westermann D.T., Kleinkopf G.E., Porter L.K. 1988. Nitrogen fertilizer efficiencies on potatoes. *Am. Potato J.* 65: 377–386.
- Wróbel E. 1999. Reakcja pszenicy jarej na dawkę i termin stosowania azotu. *Pam. Puł.* 118: 448–453.
- Xu H.L. 2000. Effects of a microbial inoculant and organic fertilizer on the growth, photosynthesis and yield of sweet corn. *J. Crop Prod.* 3: 183–214.
- Zebarth B.J., Arsenault W.J., Sanderson J.B. 2006. Effect of seedpiece spacing and nitrogen fertilization on tuber yield, yield components, and nitrogen use efficiency parameters of two potato cultivars. *Amer. J. Pot. Res.* 83: 289–296.
- Zebarth B.J., Leclerc Y., Moreau G. 2004. Rate and timing of nitrogen fertilization of Russet Burbank potato: Nitrogen use efficiency. *Can. J. Plant Sci.* 84: 845–854.
- Zebarth B.J., Drury C.F., Tremblay N., Cambouris A.N. 2009. Opportunities for improved fertilizer nitrogen management in production of arable crops in eastern Canada: A review. *Can. J. Soil Sci.* 89(2): 113–132.
- Zelalem A., Tekaling T., Nigussie D. 2009. Response of potato (*Solanum tuberosum* L.) to different rates of nitrogen and phosphorus fertilization on vertisols at Debre Berhan, in the central highlands of Ethiopia. *Afr. J. Plant Sci.* 3(2): 16–24.

## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

Realizowana przeze mnie tematyka badawcza od początku pracy naukowej związana jest przede wszystkim z doskonaleniem technologii uprawy roślin okopowych, w tym głównie ziemniaka jadalnego oraz zbóż, a zwłaszcza pszenicy. Efektem kilkunastoletniej współpracy z COBORU w ramach Porejestrowego Doświadczalnictwa Odmianowego są liczne publikacje naukowe. Uzyskane wyniki badań dostarczyły ponadto wskazań dla praktyki rolniczej w zakresie przydatności odmian pszenicy jarej oraz ziemniaka jadalnego i skrobiowego (różnych klas wczesności) do uprawy w warunkach klimatyczno–glebowych woj. małopolskiego.

W badaniach dotyczących określenia wpływu intensywności technologii uprawy na plonowanie, skład chemiczny i jakość ziarna oraz zdrowotność roślin pszenicy jarej oceniono 23 odmiany tego gatunku (II.D.20, II.D.24, II.D.25, II.D.41). Pszenica korzystnie reagowała na zwiększone nawożenie azotowe oraz ochronę fungicydową i aplikację retardanta. Stwierdzony przyrost plonu ziarna pszenicy był efektem głównie zwiększonej obsady kłosów oraz liczby ziaren w kłosie. Intensywność technologii uprawy istotnie oddziaływała na zawartość białka w ziarnie, nie różnicowała jednak celności i wyrównania oraz gęstości ziarna w stanie usypowym. Wpływ nawożenia azotowego oraz ochrony fungicydowej na kształtowanie się masy 1000 ziaren modyfikowany był właściwościami



odmianowymi oraz warunkami pogodowymi w latach badań. Zastosowanie retardanta mimo wyższego poziomu nawożenia azotowego powodowało skrócenie długości źdźbła pszenicy oraz zwiększenie odporności roślin na wyleganie i wartość wskaźnika LAI (II.D.29). Korzystny wpływ intensyfikacji produkcji na wielkość plonu ziarna, zawartość i plon białka oraz kształtowanie się wskaźnika LAI stwierdzono także w uprawie pszenicy ozimej (II.D.21, II.D.26). W innych badaniach polowych wykazano istotny przyrost plonu ziarna pszenicy jarej nawożonej azotem w ilości do  $90 \text{ kg N ha}^{-1}$  (II.D.40). Krzewistość roślin oraz masa 1000 ziaren zwiększały się do poziomu nawożenia  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ , natomiast wpływ tego składnika na liczbę ziaren w kłosie okazał się nieistotny. Z kolei, zawartość białka w ziarnie przyrastała w całym zakresie stosowanego nawożenia tj. do  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Również w badaniach, których celem było określenie reakcji pszenicy jarej na nawożenie azotowe oraz aplikację mikrobiologicznych preparatów poprawiających właściwości gleby zawartość białka zwiększała się wraz z każdą kolejną dawką azotu (II.D.32). Stwierdzono także korzystne oddziaływanie tego czynnika na kształtowanie się cech fizycznych ziarna. Z kolei aplikacja preparatów mikrobiologicznych nie miała zasadniczo wpływu na wartość ocenianych cech. Reasumując, prezentowane powyżej rezultaty badań wskazują, że ze względu na indywidualną reakcję odmian oraz zróżnicowane warunki pogodowe panujące w okresie wegetacji, intensyfikacja produkcji ziarna pszenicy w warunkach glebowych kompleksu pszennego bardzo dobrego nie zawsze jest uzasadniona. Potwierdzają to również badania, w których porównywano opłacalność produkcji ziarna różnych grup użytkowych pszenicy ozimej w zależności od intensywności technologii uprawy (II.D.14). Kalkulacja kosztów wykazała większą wartość wskaźników opłacalności produkcji ziarna pszenicy chlebowej i jakościowej uprawianej wg technologii średnio intensywnej niż pszenicy paszowej uprawianej w technologii intensywnej.

W innych badaniach polowych, w których określano wpływ odmiany, systemu uprawy roli i międzyplonu ścierniskowego na plonowanie oraz kształtowanie się wskaźników LAI i SPAD pszenicy jarej wykazano, że w stanowisku po bobiku można uzyskać wysoki plon ziarna przy stosunkowo niskim poziomie nawożenia azotowego (II.A.1). Stwierdzono ponadto korzystny wpływ uprawy gorczycy białej jako międzyplonu ścierniskowego nie tylko w aspekcie ochrony środowiska przed zanieczyszczeniem azotanami ale także jako czynnik powodujący przyrost plonu ziarna, szczególnie w warunkach uproszczonej uprawy roli. Większe plony ziarna pszenicy jarej w konwencjonalnym systemie uprawy roli były efektem lepszej krzewistości roślin, większej powierzchni asymilacyjnej liści (LAI) oraz zawartości w nich chlorofilu (SPAD). W tym systemie uprawy roli pszenica gromadziła również więcej białka w ziarnie niż w systemie bezorkowym. W badaniach, których celem było porównanie produktywności pszenicy ozimej uprawianej jako roślina ochronna dla seradeli, koniczyny białej i ich mieszanek przy zróżnicowanym nawożeniu azotowym wykazano, że pszenica stwarza wsiewkom śródplonowym korzystne warunki dla wzrostu i rozwoju bez względu na wielkość dawki azotu (II.D.28). Poziom nawożenia azotowego istotnie oddziaływał natomiast na plonowanie pszenicy. Wysiew międzyplonów ścierniskowych z gorczycy białej, grochu pastewnego i ich mieszanek po zbiorze pszenicy ozimej na obiektach, w których nie

uprawiano wsiewek śródplonowych zwiększał biomasę nawozową, a ilość nagromadzonego azotu zależała od właściwości biologicznych uprawianego gatunku.

Uzyskano również szereg cennych informacji na temat dominacji chorób grzybowych i szkodników oraz wpływu agrotechniki i warunków pogodowych w okresie wegetacji na nasilenie występowania tych agrofagów. Opublikowane z tego zakresu wyniki badań wskazują na duże zróżnicowanie odmian w podatności na większość notowanych chorób grzybowych. W uprawie pszenicy dominowały choroby podsuszkowe: fuzaryjna zgorzel podstawy źdźbła i korzeni zbóż oraz łamliwość źdźbła zbóż i traw. Na liściach i kłosach dominowały natomiast septoriozy oraz fuzariozy. Szkodnikami najczęściej występującymi były mszyce, skrzypionki, i miniarki. Intensyfikacja uprawy ograniczała nasilenie występowania chorób, ale sprzyjała szkodliwości owadów o kłująco-ssącym aparacie gębowym (II.D.9, II.D.16). Wykonana ocena wpływu nawożenia azotowego pszenicy jarej na szkodliwość muchówek pozwoliła na stwierdzenie, że o szkodliwości tych owadów w większym stopniu decydują warunki klimatyczne sezonu wegetacyjnego niż zastosowana dawka azotu (II.D.46). W ocenie wpływu nawożenia azotowego pszenicy oraz aplikacji Efektywnych Mikroorganizmów (EM) stwierdzono brak istotnego wpływu tego preparatu na zdrowotność roślin. Czynnikiem decydującym o nasileniu występowania chorób były warunki pogodowe w okresie wegetacji pszenicy jarej (II.D.45). Warunki pogodowe oraz intensywność technologii produkcji w większym stopniu niż czynnik odmianowy decydowały również o występowaniu chorób podsuszkowych w uprawie pszenicy ozimej, zwyczajnej (Ostka Strzelecka) oraz twardej (Komnata), (II.D.39). Badania dotyczące oceny siły krytycznej powodującej uszkodzenia ziarna pozwoliły wyodrębnić odmiany pszenicy ozimej o różnej odporności na uszkodzenia mechaniczne pod wpływem obciążeń statycznych (II.D.42). Wykazano również istotność wpływu warunków pogodowych na uszkodzenia mechaniczne ziarna. Mimo iż w wielu badaniach stwierdzono różnicujący wpływ warunków opadowo-termicznych na wartość ocenianych cech, analiza statystyczna niedoborów i nadmiarów opadów w okresie wegetacji pszenicy ozimej w Polsce w latach 1971–2010 nie wykazała istotnych trendów zmian (II.D.47). Nadmiary opadów występowały częściej niż niedobory, a najczęściej obserwowano je w czerwcu i lipcu w północnej części kraju.

Podejmowane przeze mnie badania z zakresu doskonalenia technologii uprawy ziemniaka dotyczyły przede wszystkim doboru odmian, zróżnicowanego nawożenia mineralnego i organicznego, biologicznej i chemicznej ochrony przed stonką ziemniaczaną (*Leptinotarsa decemlineata* Say) oraz zarazą ziemniaka (*Phytophthora infestans*), (dane niepublikowane), a także konwencjonalnych i niekonwencjonalnych sposobów regulacji zachwaszczenia. W badaniach polowych oceniano reakcję ziemniaka na nawożenie mineralne NPK oraz organiczne stosowane w postaci międzyplonu ścierniskowego z gorczycy białej, wermikompostu uzyskanego z obornika bydlęcego, a także nawozu Polli-Pam wytworzonego na bazie pomiotu kurzego (II.D.6, II.D.7). Największy plon ogólny, liczbę zawiązanych bulw, ich średnią masę, a także udział bulw handlowych i dużych w plonie stwierdzono na obiektach nawożonych mineralnie NPK. Korzystne oddziaływanie testowanych nawozów organicznych przejawiało się istotną poprawą wartości ocenianych cech ilościowy ziemniaka

w odniesieniu do obiektu kontrolnego. Największą efektywnością w tym zakresie odznaczał się nawóz Polli–Pam, a najmniejszą międzyplon z gorzycy białej. Wykazano ponadto wysoki stopień wykorzystania azotu oraz efektywność nawożenia przetworzonymi nawozami organicznymi (wermikompost i Polli–Pam) wyrażoną przyrostem plonu bulw na 1 kg azotu zastosowanego w nawozie (efektywność agronomiczna), jak również pobranego przez rośliny (efektywność fizjologiczna). Odmiany ziemniaka charakteryzowały się zróżnicowaną zdolnością pobierania, wykorzystania oraz przetwarzania pobranego azotu na plon użytkowy. W badaniach stwierdzono także istotny wpływ czynnika nawozowego i odmianowego, warunków glebowych oraz pogodowych na gromadzenie suchej masy, skrobi, białka ogółem, azotanów i makroelementów w bulwach, skłonność do ciemnienia miąższu oraz wskaźnik mechanicznych uszkodzeń bulw (II.D.8, II.D.10, II.D.11, II.D.17). Rodzaj zastosowanego nawożenia miał ponadto istotny wpływ na właściwości zarówno gleby lekkiej jak i ciężkiej (II.D.12). W innych badaniach realizowanych w dwóch różniących się warunkami siedliskowymi miejscowościach oceniano wpływ terminu i gęstości sadzenia, stosowania Tytanitu oraz zaprawiania sadzeniaków na plonowanie i skład chemiczny bulw (II.D.18). W warunkach uprawy ziemniaka na glebie lekkiej istotny wpływ na wielkość plonu miały gęstość sadzenia oraz aplikacja Tytanitu. Z kolei wielkość plonu bulw ziemniaka uprawianego na glebie ciężkiej zależała od wszystkich czynników doświadczenia. Wcześniejszy termin sadzenia przyczynił się do zwiększenia zawartości skrobi w bulwach, natomiast aplikacja Tytanitu powodowała większe gromadzenie białka. Oceniając wpływ gęstości sadzenia i odmiany ziemniaka na kształtowanie się plonu bulw łanu i pojedynczej rośliny wykazano większą zależność tej cechy od obsady roślin u odmiany bardzo wczesnej niż średnio wczesnej (II.D.4). Wpływ liczby zawiązanych bulw na wielkość plonu był silniejszy u odmiany średnio wczesnej, natomiast średnia masa bulwy w jednakowym stopniu determinowała wartość tej cechy u obu badanych odmian.

Plantacjom ziemniaka zagraża wiele agrofagów powodujących większą bądź mniejszą redukcję potencjalnego plonu bulw oraz pogorszenie ich jakości. Do najgroźniejszych szkodników ziemniaka nadal zaliczana jest stonka ziemniaczana, która corocznie występuje w ilości przekraczającej próg ekonomicznej szkodliwości. Ponadto coraz większym problemem staje się uodparnianie tego szkodnika na zarejestrowane insektycydy oraz wysoka toksyczność neonikotynoidów względem entomofauny pożytecznej. Dlatego celem kilku badań polowych była ocena plonochronnej skuteczności biopreparatów: Spuzit 04 EC, Neem oraz zawiesiny zarodników owadobójczych grzybów *Beauveria bassiana* i *Isaria fumosorosea* (dane częściowo opublikowane) na tle ochrony chemicznej insektycydami Actara 25 WG, Regent 200 SC, Karate Zeon 050 CS oraz zaprawy Prestige 290 FS. Biopreparaty stosowane w badaniach do zwalczania stonki ziemniaczanej wykazywały wprawdzie mniejszą skuteczność plonochronną niż preparaty chemiczne, niemniej jednak przyrost plonu w odniesieniu do obiektu kontrolnego był istotny, głównie w efekcie zwiększenia średniej masy bulwy (II.D.23). Sposób ochrony roślin ziemniaka przed stonką istotnie oddziaływał także na skład chemiczny bulw (II.D.30). Największy wpływ na zawartość suchej masy, skrobi, białka oraz azotanów wywierała zaprawa fungicydowo–

insektycydowa Prestige 290 FS. Oceniane preparaty skutecznie chroniły rośliny ziemniaka przed redukcją powierzchni asymilacyjnej, przy czym większą efektywnością w tym zakresie odznaczały się insektycydy chemiczne niż biopreparaty. Jak wykazały badania, stopień oraz termin redukcji powierzchni asymilacyjnej roślin ziemniaka istotnie wpływa nie tylko na wielkość i strukturę plonu ale także na skład chemiczny i jakość bulw (II.D.33, II.D.34). Każde zmniejszenie powierzchni asymilacyjnej roślin skutkowało istotną stratą plonu bulw, tym większą im wcześniej nastąpiła redukcja ulistnienia. W warunkach pogodowych sprzyjających plonowaniu ziemniaka względne straty plonu były mniejsze niż w warunkach niekorzystnych, wynikających z nadmiernej ilości opadów, które potęgowały skutki zmniejszenia powierzchni asymilacyjnej roślin. Redukcja ulistnienia ziemniaka przyczyniła się do zwiększenia koncentracji azotanów w bulwach oraz zmniejszenia zawartości suchej masy, skrobi i białka, a także skłonności do ciemnienia miąższu bulw surowych.

Obecność chwastów w uprawach roślin jest bezpośrednią przyczyną obniżki plonu i pogorszenia jego jakości. Regulacja zwalczania na plantacjach ziemniaka prowadzona jest najczęściej w oparciu o mechaniczne zabiegi pielęgnacyjne oraz aplikację herbicydów. Ostatnie badania sugerują, że alternatywą dla chemicznych metod ograniczania zachwaszczenia może być podsiew żywą ściółką. Dlatego celem kolejnych badań była ocena zachwaszczenia oraz plonowania ziemniaka, w uprawie którego stosowano mechaniczne, mechaniczno-chemiczne oraz mechaniczne zabiegi odchwaszczające połączone z wysiewem żywych ściółek z gorczycy białej, wyki siewnej, koniczyny perskiej i facelii błękitnej (II.A.3). Każdy sposób regulacji zachwaszczenia istotnie zmniejszał biomasa chwastów. Największą efektywnością w tym zakresie odznaczały się zabiegi mechaniczno-chemiczne, a najmniejszą zabiegi wyłącznie mechaniczne. Również żywe ściółki hamowały rozwój roślinności segetalnej. Jednak łączna biomasa żywych ściółek oraz chwastów była większa niż biomasa chwastów na obiekcie odchwaszczanym zabiegami mechanicznymi, a w przypadku koniczyny perskiej większa także niż biomasa chwastów na obiekcie kontrolnym. Z punktu widzenia kształtowania się wielkości plonów oraz średniej masy bulwy najlepszym sposobem regulacji zachwaszczenia okazały się zabiegi mechaniczno-chemiczne. Mniej efektywne były zabiegi mechaniczne oraz zabiegi mechaniczne połączone z wysiewem żywych ściółek, szczególnie gorczycy białej i facelii błękitnej. W przypadku tych ostatnich wariantów regulacji zachwaszczenia plony bulw były istotnie mniejsze niż na obiektach, w których stosowano wyłącznie zabiegi mechaniczne. Koniczyna perska oraz wyka siewna podsiewane jako żywe ściółki powodowały wprawdzie zmniejszenie plonu bulw ziemniaka ale różnice nie zostały statystycznie potwierdzone.

W badaniach realizowanych w ramach PDO oceniano przydatność kilkunastu odmian ziemniaka jadalnego i skrobiowego do uprawy na terenie woj. małopolskiego. Na podstawie wyników tych badań określano corocznie Listę Odmian Zalecanych do uprawy. Ponadto opublikowane z tego zakresu wyniki wskazują, że do najbardziej stabilnych cech ziemniaka należy udział bulw handlowych w plonie ogólnym, zawartość suchej masy, skrobi i białka ogółem oraz skłonność do ciemnienia miąższu bulw surowych (II.D.36, II.D.38, II.D.43). Najmniej stabilną cechą okazał się udział bulw zdeformowanych. Czynniki środowiska

najsilniej determinowały wielkość plonu ogólnego i handlowego bulw, liczbę zawiązanych bulw oraz ich średnią masę, a także udział bulw dużych. Właściwości odmianowe w większym stopniu niż inne źródła zmienności decydowały tylko o zawartości suchej masy w bulwach. Z kolei interakcyjny wpływ czynnika odmianowego oraz warunków pogodowych w okresie wegetacji ziemniaka najsilniej zaznaczył się w przypadku gromadzenia skrobi, białka i azotanów, skłonności do ciemnienia enzymatycznego bulw oraz udziału bulw zdeformowanych. W badaniach wykazano także, że uprawa ziemniaka na glebie ciężkiej, szczególnie w warunkach nadmiernej ilości opadów, nie gwarantuje uzyskania odpowiednio wysokiego plonu bulw oraz zawartości skrobi, a w konsekwencji plonu skrobi z jednostki powierzchni (II.D.37).

Czynnikiem agrotechnicznym niezwiązanym z nakładami a decydującym o wielkości i jakości plonu może być kierunek siewu roślin. Przeprowadzone w tym zakresie badania wykazały, że kierunek siewu buraka nie wpływa wprawdzie na wielkość plonu korzeni ale różnicuje biomasę liści oraz skład chemiczny korzeni (II.D.22). Stwierdzono, że buraki cukrowe i pastewne wysiewane w kierunku północ-południe odznaczają się większą zawartością suchej masy i cukru w korzeniach oraz masą liści niż z zasiewów wschód – zachód. Oceniając reakcję buraka pastewnego na zróżnicowane dawki azotu wykazano, że istotny przyrost plonu korzeni oraz liści następuje tylko do poziomu nawożenia  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$  (II.D.44). Czynnikiem nawozowym nie decydował natomiast o zawartości suchej masy zarówno w korzeniach jak i liściach buraka. Wielkość plonu oraz zawartość suchej masy w korzeniach i liściach buraka pastewnego istotnie modyfikowały warunki pogodowe. Największe plony oraz zawartość suchej masy stwierdzono w latach o mniejszej ilości opadów, natomiast duża ilość opadów sprzyjała wykształcaniu biomasy liści, a niekorzystnie wpływała na gromadzenie suchej masy.

Moje zainteresowania naukowe oprócz roślin zbożowych i okopowych dotyczyły także rośliny motylkowatych i oleistych. W badaniach realizowanych w latach 2006–2008 oceniano wpływ konwencjonalnej i ekologicznej metody ochrony roślin oraz odmiany bobiku na plonowanie, kształtowanie się wskaźników wegetacyjnych roślin, a także charakterystykę systemu korzeniowego w wierzchniej warstwie gleby (II.A.2). Istotny przyrost plonu nasion bobiku w obiektach chronionych w odniesieniu do kontroli był efektem większej liczby strąków na roślinie oraz masy 1000 nasion, a w przypadku ochrony chemicznej również większej liczby nasion w strąku. Stwierdzono ponadto, że zarówno sposób ochrony jak czynnik odmianowy nie miały wpływu na parametry charakteryzujące system korzeniowy roślin bobiku: gęstość długości korzeni – RLD (root length density), specyficzną długość korzeni – SRL (specific root length), suchą masę korzeni – RDM (root dry matter) i średnią średnicę korzeni – MD (mean root diameter). Konwencjonalna ochrona przed szkodnikami i chorobami grzybowymi pozwoliła roślinom bobiku na uzyskanie większej powierzchni liści (LAI) niż w obiekcie kontrolnym oraz chronionym biopreparatami. W innych badaniach wykazano większą produktywność bobiku o podwyższonej zawartości tanin niż odmian niskotaninowych (II.D.35). Stwierdzono także istotnie większą efektywność plonochronną insektycydu Karate Zeon 050 CS w porównaniu z biopreparatem Spuzit 04 EC.

## Podsumowanie bibliometryczne osiągniętego dorobku publikacyjnego

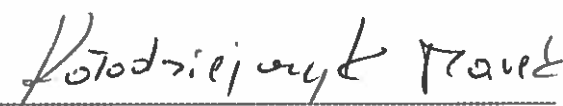
Mój dotychczasowy dorobek naukowy składa się z 69 publikacji w recenzowanych czasopismach naukowych.

Wyszczególnienie	Przed doktoratem			Po doktoracie			Łącznie		
	ilość	pkt. MNiSW	IF	ilość	pkt. MNiSW	IF	ilość	pkt. MNiSW	IF
Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego				6	123	3,967	6	123	3,967
Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie JRC				3	90	4,095	3	90	4,095
Publikacje naukowe w czasopismach innych niż znajdujące się w bazie JRC	4	26		44	248		48	274	
Publikacje naukowe w czasopismach recenzowanych, które nie znalazły się na liście czasopism punktowanych MNiSW z dn. 31.12.2014.	9			3			12		
<b>RAZEM</b>	<b>13</b>	<b>26</b>		<b>56</b>	<b>461</b>	<b>8,062</b>	<b>69</b>	<b>487</b>	<b>8,062</b>

7 prac naukowych mojego dorobku zostało opublikowanych w czasopismach z bazy JCR, a ich łączny IF zgodnie z rokiem opublikowania wynosi 8,062. Są to czasopisma: European Journal of Agronomy, Scientia Horticulturae, Plant Soil and Environment, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, Journal of Agricultural Science and Technology, Bulgarian Journal of Agricultural Science.

Zgodnie z załącznikami komunikatu MNiSW w sprawie wykazu czasopism naukowych z dnia 31 grudnia 2014 r. łączna punktacja mojego dorobku naukowego wynosi 487 pkt. Po wyłączeniu 6 prac wchodzących w skład przedstawianego osiągnięcia naukowego mój pozostały dorobek naukowy stanowią 63 prace naukowe o łącznym IF 4,095 i punktacji wg MNiSW 364 pkt. Według bazy Web of Science h-indeks prac z mojego dorobku naukowego wynosi obecnie 1, według bazy Scopus (2010-2015); 2, natomiast według Publish or Perish; 4. Pozostałe osiągnięcia w zakresie pracy naukowej, dydaktycznej, popularyzatorskiej i organizacyjnej zostały przedstawione w załączniku 3 do niniejszego wniosku.

Kraków, 16. 11. 2015 r.

  
Podpis Wnioskodawcy