

**Dr inż. Agnieszka Klimek-Kopyra**  
**Instytut Produkcji Roślinnej**  
**Wydział Rolniczo-Ekonomiczny**  
**Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kollątaja w Krakowie**

Załącznik 2

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

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** Agnieszka Klimek-Kopyra

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

**magister inżynier rolnictwa**, specjalizacja: agronomia, Akademia Rolnicza im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Rolniczy, 2005

Tytuł pracy: **Kompetencje rolników wobec wejścia Polski do Unii Europejskiej**

Opiekun naukowy: dr hab. Józef Kania

Recenzent: prof. dr hab. Wiesław Musiał

**doktor nauk rolniczych z zakresu agronomia**, specjalność naukowa: produkcja roślinna, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Rolniczo-Ekonomiczny, 2010

Tytuł rozprawy: **Przyrodnicze i rolnicze uwarunkowania uprawy lnu w siewie czystym i mieszanym w zmiennych warunkach siedliska**

Promotor: prof. dr hab. Tadeusz Zając

Recenzenci: dr hab. Bogdan Kulig  
dr hab. Zdzisław Wyszynski

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

**2010 – 2012** asystent naukowo-dydaktyczny, Katedra Szczegółowej Uprawy Roślin, Wydział Rolniczo-Ekonomiczny, Akademia Rolnicza im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

**od 2012** adiunkt naukowo-dydaktyczny, Instytut Produkcji Roślinnej, Zakład Szczegółowej Uprawy Roślin, Wydział Rolniczo-Ekonomiczny, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

**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.:

**„Agrobiologiczne aspekty wprowadzania intensyfikacji w uprawie grochu wynikające ze stosowania nawożenia mikroelementowego i szczepienia bakteryjnego oraz innowacyjnego sposobu siewu”**

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

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

Praca	Cytowanie	Impact Factor <sup>1</sup>	Punkty MNiSW <sup>2</sup>
b.1	Zajac T., Klimek-Kopyra A., Oleksy A., Stokłosa A., Kulig B. 2012. Morphological-developmental reaction and productivity of plants and canopy of semileafless pea ( <i>Pisum sativum</i> L.) after seed vaccination with Rhizobium and foliar micronutrient fertilization. Journal of Applied Botany and Food Quality, 85: 188-197.	0,340	20
b.2	Klimek-Kopyra A., Strojny J., Zajac T., Ślizowska A., Klimesova J., Neugschwandtner R. 2017. Ordinal regression model for pea seed mass. Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Ford and Environment, 68 (2): 81-87. DOI: <a href="https://doi.org/10.1515/boku-2017-0008">https://doi.org/10.1515/boku-2017-0008</a>	brak	4*
b.3	Klimek-Kopyra A., Zajac T., Skowera B., Styrc N. 2017. The effect of water shortage on pea ( <i>Pisum sativum</i> L.) productivity in relation to the pod position on the stem. Acta Agrobotanica, 70(3): 1719. DOI: <a href="https://doi.org/10.5586/aa.1719">https://doi.org/10.5586/aa.1719</a>	brak	14
b.4	Klimek-Kopyra A., Zajac T., Oleksy A., Kulig B., Ślizowska A. 2018. Value of different vegetative indices (NDVI, GAI) usage in assessment of productive potential of pea ( <i>Pisum sativum</i> L.) at different growth stages under varying management practices. Acta Agrobotanica, 71: 1733. DOI: <a href="https://doi.org/10.5586/aa.1733">https://doi.org/10.5586/aa.1733</a>	brak	14
b.5	Klimek-Kopyra A., Oleksy A., Zajac T., Głab T., Mazurek R. 2018. Impact of inoculant and foliar fertilization on root system parameters of pea ( <i>Pisum sativum</i> L.). Polish Journal of Soil Science. 51: 23-39. DOI: <a href="https://doi.org/10.17951/pjss/2018.51.1.23">10.17951/pjss/2018.51.1.23</a>	brak	14
b.6	Klimek-Kopyra A., Zajac T., Rębilas K. 2013. A mathematical model for the evaluation of cooperation and competition effects in intercrops. European Journal of Agronomy, 51: 9-17, DOI: <a href="https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.06.002">https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.06.002</a> .	2,918	45
b.7	Zajac T., Oleksy A., Stokłosa A., Klimek-Kopyra A., Kulig B. 2013. The development competition and productivity of linseed and pea – cultivars grown in a pure sowing or in a mixture. European Journal of Agronomy, 44: 22-31. DOI: <a href="https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.08.001">https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.08.001</a>	2,918	45
b.8	Zajac T., Klimek-Kopyra A., Mańkowski J., Oleksy A., Micke P. 2018. A comparison of the chemical composition of the seeds of linseed and pea cultivars grown in pure stand or mixture. Journal of Natural Fibers, 15: 1-9. DOI: <a href="https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1423253">10.1080/15440478.2017.1423253</a>	0,974	25

<sup>1</sup> - Impact Factor zgodnie z rokiem opublikowania; <sup>2</sup> - liczba punktów zgodnie z rokiem opublikowania

\*publikacja nie będąca na liście MNiSW, natomiast obecna w bazie Scopus

Sumaryczny IF prac zgodnie z rokiem opublikowania wynosi **7,150**. Suma punktów według ujednoliconego wykazu czasopism punktowanych MNiSW zgodnie z rokiem opublikowania wynosi **181**. Spośród 8 publikacji wchodzących w zakres osiągnięcia naukowego 4 prace: b1, b2, b4 i b5 są wynikami grantu N N310 151837.

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**

Intensyfikacja produkcji roślinnej, która nastąpiła w Europie od lat 50-tych do 80-tych XX wieku, związana z rozwojem mechanizacji oraz zwiększeniem zużycia nawozów mineralnych i innych agrochemikaliów, przyczyniła się do wprowadzenia wielu uproszczeń w rolnictwie (Voisin i in. 2014). Efektem wprowadzonych uproszczeń w produkcji roślinnej, dotyczących wyboru gatunków najbardziej opłacalnych ekonomicznie, było widoczne zmarginalizowanie niektórych gatunków roślin, głównie z grupy roślin bobowatych (Stagnari i in. 2017). Dopiero w latach 90-tych ubiegłego wieku, narastająca niepewność ludzi dotycząca stanu środowiska naturalnego oraz jakości żywności przyczyniła się do rozwoju nowej koncepcji rozwoju rolnictwa. Asumptem do przyjęcia nowej koncepcji, bazującej na zrównoważonym rozwoju, stała się strategia Zrównoważonego Rozwoju, ogłoszona na konferencji w Rio de Janeiro w 1992 roku. Głównymi filarami nowej koncepcji były efektywność ekologiczna, bezpieczeństwo ekologiczne oraz akceptacja społeczna (Kuś i Stalenga 2006). Dore i in. (2011) oraz Tittonell (2014) donoszą, że wysoce korzystnym rozwiązaniem zachowania równowagi w agrosystemie jest przejście na system produkcji żywności opierający się na koncepcji „intensyfikacji ekologicznej”. Jedną z zasad koncepcji „intensyfikacji ekologicznej” jest podejście holistyczne mówiące o intensyfikacji ekologicznych procesów w agrosystemach rolniczych, definiowanych poprzez zachowanie naturalnej bioróżnorodności, uwzględniającej komplementarność w wykorzystaniu składników pokarmowych, dążeniu do mutualistycznych relacji w międzygatunkowym łąnie oraz wykorzystaniu procesu symbiozy w celu zintensyfikowania produktywności roślin w warunkach stresów biotycznych i abiotycznych (Haines-Young i Potschin 2010; Martin-Guay i in. 2018). Jednym z kluczowych elementów łączących powyższą koncepcję jest przywrócenie do uprawy roślin z rodziny bobowatych, które z jednej strony pełnią ważną rolę żywieniową, stanowiąc źródło białka dla ludzi i zwierząt, a z drugiej pełnią rolę w ochronie środowiska, stanowiąc cenne źródło azotu w glebie, pochodzącego z procesu symbiozy (Bedoussac i Justes 2010; Lupwayi i in. 2012; Stagnari i in. 2017). Potwierdzeniem nowego trendu w światowym rolnictwie było ustanowienie roku 2016 rokiem roślin strączkowych. Rośliny bobowate stanowią 12,5% całej globalnej produkcji roślin uprawnych (FAOstat,

2016; Watson i in. 2017), lecz w UE areał uprawy strączkowych wynosi zaledwie 1,5% powierzchni użytków rolnych, a dominującymi gatunkami są soja, groch i fasola (Eurostat, 2016). Marginalizacja uprawy roślin bobowatych zapoczątkowana w latach 90-tych XX jest wielopłaszczyznowa. Wiąże się ona z brakiem stabilności plonowania tych roślin w poszczególnych latach, w wyniku nasilenia stresów środowiskowych, wywołanych zmianą rozkładu oraz sumy opadów w latach, warunkami uprawy, oraz niewłaściwym doбором odmian do danych warunków siedliska (Grabowska i Banaszekiewicz 2009; Siddique i in. 2012; Preissel i in. 2015).

Groch siewny, jako wiodący pod względem gospodarczym gatunek w grupie roślin bobowatych, odznacza się dużą zmiennością plonowania, wywołaną wieloma czynnikami środowiskowymi w tym przebiegiem pogody w trakcie rozwoju (Poggio i in. 2005; Uzun i in. 2005; Klimek-Kopyra i in. 2016). Susza w trakcie wegetacji grochu, jako niekorzystne zjawisko atmosferyczne, jest przyczyną obumierania zawiązków kwiatów, co w konsekwencji prowadzi do pogorszenia plonowania roślin i łanu, jako kompleksowy skutek zmniejszenia się liczby produktywnych węzłów i strąków w połączeniu ze zmniejszeniem się masy 1000 nasion (Gray i Brady 2016). W warunkach suszy glebowej dochodzi do znaczącego zmniejszenia się indywidualnej masy nasion (Annicchiarico i Iannucci 2008; Gray i Brady 2016), co ma znaczenie przy wykorzystywaniu nasion do bezpośredniego spożycia oraz na cele przetwórcze i paszowe (Micek i in. 2012; Klimek-Kopyra i in. 2016). Znacząca redukcja masy nasion w czasie okresowej posuchy lub suszy jest efektem ograniczonego pobierania przez rośliny wody i składników pokarmowych z gleby. Wydaje się, że nawożenie nalistne, o specyficznej formulacji - dobrze przyswajalnej przez liście, może stanowić efektywną alternatywę dla nawożenia doglebowego w poprawie dostępności składników pokarmowych dla roślin w niekorzystnych warunkach uprawy (Ihsan i in. 2013; Shabbir i in. 2015). W dostępnej literaturze brakuje badań wyjaśniających efekty działania nawożenia mikroelementowego, stosowanego nalistnie, na produktywność i produkcyjność pojedynczej rośliny, aktywność fizjologiczną łanu oraz aktywność systemu korzeniowego. Dlatego istotne jest zweryfikowanie efektywności nawożenia nalistnego oraz nawożenia nalistnego połączonego ze szczepieniem przedsiewnym nasion bakteriami z gatunku *Rhizobium leguminosarum*, jako czynników limitujących stres abiotyczny roślin grochu, na produktywność wybranych lub wszystkich owocujących węzłów, produktywność strąków oraz formowanie pojedynczego nasiona. Ważnym aspektem badań jest zweryfikowanie wpływu nawożenia nalistnego i szczepienia bakteryjnego na kształtowanie parametrów systemu korzeniowego, ponieważ dotychczas w literaturze nie wykazano wpływu tych

czynników na zagęszczenie korzeni (RLD), specyficzną długość korzeni (SRL) lub średnicę korzeni (MRD).

Spośród poznanych predyktorów determinujących produktywność łąnu w warunkach stresu abiotycznego lub biotycznego wyróżnia się kilka wskaźników; m.in.: NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) i GAI (Green Area Index), które są ważnymi prognostykami plonowania kukurydzy i soi w warunkach preriowych Kanady oraz USA w zależności od aplikowanego doglebowego nawożenia mineralnego (Mkhabela i in. 2011). Pomimo coraz większego zainteresowania praktycznym wykorzystaniem wskaźników do predykcji plonów, nadal brakuje w literaturze istotnych wyników badań dotyczących wpływu nawożenia nalistnego lub w kombinacji ze szczepieniem bakteryjnym na kształtowanie parametrów fizjologicznych grochu (m.in. NDVI i GAI), zwłaszcza odmian wąsolistnych, dominujących aktualnie w uprawie.

W świecie obserwuje się ciągły wzrost zainteresowania systemem zrównoważonego rolnictwa, który zakłada zwiększenie dywersyfikacji płodozmianów poprzez poprawę bioróżnorodności pól uprawnych oraz promowanie roślin strączkowych (European Commission 2010; Lüscher i in. 2014). W ramach polityki zrównoważonego rozwoju dużą rolę odgrywa uprawa roślin strączkowych w siewie czystym i mieszanym z innymi gatunkami roślin rolniczych. W Europie dominują jare mieszanki zbożowe i zbożowo-strączkowe (Malézieux i in. 2009; Klimek-Kopyra i in. 2015; Książak i in. 2016), lecz w ostatnich latach obserwuje się zwiększone zainteresowanie nowymi mieszankami dwu- lub wielogatunkowymi (Sobkowicz i in. 2016; Klimek-Kopyra i in. 2017). Oczekiwane trendy w ogólnoswiatowym rolnictwie powinny zmierzać nie tylko do zwiększonej produktywności i produktywności roślin zróżnicowanych biologicznie w formie mieszanek, ale również do wykorzystania ich w innych usługach ekosystemowych, m.in. do poprawy właściwości fizykochemicznych gleb i wód gruntowych oraz ich ochrony (Gaba i in. 2015).

Znaczna większość badań nad mieszankami zbożowo-strączkowymi odnosi się do wykazania zmienności w plonowaniu tych upraw (Neugschwandtner i Kaul 2015; Sobkowicz i in. 2016), natomiast nieliczne prace prezentują ocenę oddziaływań międzygatunkowych w czasie wzrostu i rozwoju roślin (Michalska i in. 2008; Podgórska-Lesiak i in. 2011). Bez szczegółowego prześledzenia procesu konkurencji roślin w czasie wzrostu wegetatywnego gatunków byłoby trudno obiektywnie wytłumaczyć istotę dominacji jednego gatunku nad drugim tylko na podstawie uzyskanych plonów względnych. Dotychczas badany model konkurencji roślin był w przeważającej części kategoryzowany jako fenomenologiczny, zapewniający tylko opis wyników konkurencji lub też przedstawiający fizjologiczny opis

wzrostu roślin. Według Weiner i Freckleton (2010) studiowanie konkurencyjności roślin sprowadza się do rozważania plonu końcowego, jako nieuchronnie limitowanego przez zachodzące wcześniej procesy konkurencyjności międzygatunkowej. Jednak uważa się, że pomiary ilościowe wzrostu biomasy, podjęte w czasie okresu wegetacji, są niezbędne do zrozumienia dynamiki zmian we wzajemnych oddziaływaniach roślin oraz objaśnienia mechanizmów konkurencyjności rośliny przez cały okres rozwoju. Dynamiczna analiza wzrostu, uwzględniająca zmianę w przyroście biomasy, umożliwia szczegółowe określenie rozwoju roślin pod wpływem zmiennych warunków siedliska (Godsoe i in. 2015). Przedstawienie indywidualnych potrzeb rośliny uwzględnia zarówno objętość wolnej przestrzeni, jak i obecność gatunków towarzyszących (Aguilar i in. 2001). Dlatego wydaje się, że znajomość wzajemnych zależności między gatunkami w łanie jest niezbędna dla zestawienia mieszanek bardziej produktywnych niż zasiewy jednogatunkowe. Z tego względu wskazane jest poznanie efektów oddziaływania na siebie poszczególnych roślin dobranych do mieszanki. W mieszankach zbożowo-strączkowych zasadniczym mankamentem jest zmienny udział komponentów w masie plonu, będący stukiem zróżnicowanej reakcji roślin na warunki siedliska (Rudnicki 1999). Jest zatem konieczne rozszerzenie badań poprzez podjęcie alternatywnej i pogłębionej tematyki badawczej, która zweryfikuje produktyjność, kształtowanie wskaźników konkurencyjności, wybranych cech morfologicznych oraz składu chemicznego nasion grochu w siewie czystym lub w siewie mieszanym z lnem oleistym.

## **Cel**

**Głównym celem badań wchodzących w skład przedstawionego osiągnięcia naukowego było określenie wpływu nawożenia nalistnego mikroelementami i przedsiewnego szczepienia nasion bakteriami z gatunku *Rhizobium leguminosarum* na rozwój części nadziemnych i podziemnych roślin, kształtowanie cech ilościowych i jakościowych plonu nasion grochu uprawianego w siewie czystym lub mieszanym z lnem oleistym. Zasięg porównań poszerzono o oszacowanie wskaźników wegetacyjnych łanu i konkurencji.**

## **Wyniki**

Prace **b.1**, **b.2**, **b.3** i **b.4** przedstawiają wyniki badań dotyczących wpływu szczepionek bakteryjnych z gatunkiem *Rhizobium leguminosarum* i nawożenia nalistnego na kształtowanie cech morfologicznych, plonowanie, skład chemiczny nasion, wskaźniki wegetacyjne łanu (GAI - zielona powierzchnia łanu i NDVI- znormalizowany wskaźnik wegetacji różnicowej)

oraz parametry systemu korzeniowego w wybranych odmianach grochu.

W pierwszych podjętych badaniach (**b.1**), określających produktywność roślin grochu odmiany wąsolistnej 'Tarchalska' w zależności od przedsięwziętego szczepienia bakteriami z gatunku *Rhizobium leguminosarum* (Nitragina), nalistnego nawożenia mikroelementami (Photrel) lub łącznego zastosowania preparatów (Nitragina + Photrel), wykazałam, że w warunkach mokrego i zimnego sezonu wegetacyjnego najlepsze efekty produkcyjne uzyskano po łącznym zastosowaniu tych preparatów. Efektem tego było istotne zwiększenie liczby owocujących węzłów (4,3 szt.) oraz liczby strąków z rośliny (7,4 szt.), a w konsekwencji liczby nasion z pojedynczego pędu (27,6 szt.). Ponadto wykazałam, że łączne zastosowanie preparatów (szczepionka + nawożenie nalistne) w warunkach suboptymalnych – mokry i zimny rok, spowodowały znaczący, ale nieistotny statystycznie wzrost plonowania oraz zawartości białka ( $242,9 \text{ g kg}^{-1}$ ), tłuszczu ( $21,2 \text{ g kg}^{-1}$ ) oraz włókna ( $60,2 \text{ g kg}^{-1}$ ) w nasionach grochu, w porównaniu z obiektem kontrolnym (odpowiednio  $236,9 \text{ g kg}^{-1}$ ;  $16,5 \text{ g kg}^{-1}$  i  $57,3 \text{ g kg}^{-1}$ ). Szczegółowa analiza struktury morfologicznej pędu, dotycząca zależności pomiędzy produktywnymi węzłami owocującymi a liczebnością strąków wskazała na nieznaczący wpływ współdziałania szczepionki i nawożenia nalistnego na stabilność produkcyjną trzech pierwszych owocujących węzłów, w porównaniu z obiektem kontrolnym, w którym powyżej drugiego owocującego węzła postępowała redukcja liczby strąków oraz masy pojedynczego nasiona. Największą masę pojedynczego nasiona (300 mg) uzyskano z pierwszego, czyli najniżej osadzonego, owocującego węzła, po zastosowaniu szczepionki bakteryjnej oraz nalistnego nawożenia mikroelementami. Natomiast w przypadku dwóch najwyżej osadzonych na łodydze owocujących węzłów (5 i 6) wykazałam brak reakcji w obiektach z łączną aplikacją preparatów (Nitragina + Photrel), w porównaniu z obiektem kontrolnym. Jednocześnie wykazałam, że samodzielna aplikacja nalistnego nawożenia mikroelementami lub szczepionki bakteryjnej Nitragina obniża masę pojedynczego nasiona w wyżej położonych strąkach.

Efektem powyższych wyników było rozszerzenie analizy statystycznej o regresję porządkową (Ordinal Regression Model) (**b.2**), która miała na celu zweryfikowanie równocześnie dwóch typów zmiennych: ilościowych (masa nasion w strąku, liczba nasion z pędu, liczba strąków oraz liczba nasion z pędu) oraz jakościowych (pogoda, odmiany: 'Tarchalska' i 'Klif', szczepionki: Nitragina i IUNG), mających wpływ na prawdopodobieństwo uzyskania pojedynczego nasiona o większej klasie wagowej (powyżej 240 mg). W badaniach wykazałam, że na masę pojedynczego nasiona grochu mają wpływ zarówno zmienne ilościowe: cechy indywidualne rośliny (liczba nasion na pędzie, liczba



nasion w strąku, liczba strąków wytworzonych na pędzie), jak i zmienne jakościowe (pogoda i typ odmiany). Rozpatrując zmienne ilościowe na podstawie modelu regresji porządkowej wykazałam, że zwiększenie liczby nasion w strąku oraz liczby strąków z pędu skutkowało istotnym zwiększeniem szansy uzyskania nasion należących do większej kategorii wagowej. Natomiast zwiększenie liczby nasion z pędu zmniejszało szansę na uzyskanie dorodnych nasion. Rozpatrując drugą zmienną, jakościową wykazałam, że istotne znaczenie w kształtowaniu masy nasion ma rozkład opadów i dobór odmian. Stwierdziłam natomiast, że mniejsze znaczenie w kształtowaniu masy nasion mają szczepionki bakteryjne z rodzaju *Rhizobium*, ponieważ tylko szczepionka IUNG wykazała istotne prawdopodobieństwo uzyskania dorodnych nasion o większej kategorii wagowej (powyżej 240 mg). Rozkład opadów miał istotne znaczenie w kształtowaniu masy nasion, ponieważ większe nasiona grochu uzyskano w roku odznaczającym się optymalnym rozkładem opadów, a lżejsze w roku mokrym i zimnym. Ponadto wykazałam, że odmiana 'Tarchalska' dawała większe szanse na wykształcanie dużych nasion w porównaniu z odmianą pastewną 'Klif'. Na podstawie modelu porządkowej regresji, wskazującego na istotny wpływ zmiennej ilościowej „liczby strąków na pędzie”, decydującej o zwiększaniu szansy uzyskania dorodnych nasion o większej kategorii wagowej, rozszerzyłam tematykę badawczą o zweryfikowanie wpływu położenia strąków na pędzie na produktywność strąków w zależności od doboru odmian.

W przeprowadzonych badaniach (**b.3**) dotyczących oceny produktywności owocujących węzłów i strąków, w zależności od biosocjalnego położenia na pędzie, wykazałam, że w warunkach zastosowanego obligatoryjnego nawożenia nalistnego mikroelementami (Basfoliar 36 Extra) i szczepionki bakteryjnej Nitragina o produktywności strąków zadecydował dobór odmian oraz warunki hydrotermiczne. Dobór odmian miał istotne znaczenie w kształtowaniu produktywności czterech pierwszych węzłów, podczas gdy o produktywności kolejnych owocujących węzłów (5-10) decydowały warunki pogodowe. Obserwowany deficyt opadów zanotowany w krytycznych fazach rozwoju grochu (pąkowanie, kwitnienie, dojrzałość zielona) obniżył plon nasion o  $0,62 \text{ t ha}^{-1}$ , w porównaniu z rokiem charakteryzującym się lepszym rozkładem opadów. Spośród porównywanych odmian grochu, 'Tarchalska' była najbardziej stabilna pod względem produktywności strąków, niezależnie od przebiegu pogody w kolejnych latach, ponieważ cztery pierwsze, najniższe osadzone węzły, decydowały w 74% o plonie nasion. Najmniej stabilną odmianą w latach była odmiana francuska 'Prophet', która odznaczała się najwyższym udziałem nasion (91,9%) w roku suchym, a najniższym (8,06%) w roku mokrym, co świadczy o małej wrażliwości roślin na posuchę glebową. Odpowiedni dobór odmian w połączeniu z zastosowanym nawożeniem nalistnym, jest w stanie ograniczyć

negatywne skutki występującej posuchy, przez optymalne kształtowanie liczby strąków i masy nasion w strąku. Na podstawie biosocjalnego położenia strąków na pędzie głównym wykazałam, że większe i bardziej produktywne strąki były osadzone na czterech najniższych węzłach. Ponadto oszacowałam, że nasiona z czterech pierwszych owocujących węzłów stanowiły od 45 do 91% plonu pojedynczej rośliny.

W badaniach polowych (**b.4**), w których porównałam dwie odmiany grochu (pastewna 'Klif' i ogólnoużytkowa 'Tarchalska'), dwie szczepionki bakteryjne (Nitragina, IUNG) oraz nawożenie nalistne (Photrel) wykazałam, że współdziałanie szczepionki bakteryjnej i nawozu nalistnego (Nitragina + Photrel) istotnie zmodyfikowało cechy morfologiczne oraz cechy struktury plonu grochu. Uzyskano istotnie ( $p \leq 0,05$ ) wyższe rośliny, zawiązujące więcej produktywnych węzłów oraz większą liczbę strąków pod wpływem zintegrowanej aplikacji szczepionki bakteryjnej i nawozu dolistnego. Wykazałam, że długość i masa strąków grochu oraz liczba nasion uformowanych w strąku zależy od jego pozycji na pędzie oraz na węźle. Dłuższe strąki, charakteryzujące się większą masą i liczbą nasion, zawiązywały się na niższych węzłach pędu (1-2). Strąki grochu tworzące się na wyższych węzłach, począwszy od trzeciego, miały zmniejszoną liczbę nasion oraz masę pojedynczego nasiona. Ponadto wykazałam, że łączna aplikacja preparatów istotnie poprawiła produktywność 3-ego i kolejnych węzłów (4-5), co miało przełożenie na zwiększenie produktywności pojedynczej rośliny. Ponadto wykazałam, że masa pojedynczego nasiona zawiązanego na wyższych węzłach (4-6) jest istotnie większa w przypadku zintegrowanej aplikacji szczepionki bakteryjnej Nitragina i nawozu dolistnego Photrel. Dodatkowo wykazałam, że szczepionki bakteryjne istotnie ( $p \leq 0,05$ ) zwiększyły wartości wskaźników wegetacyjnych GAI w fazie kwitnienia i dojrzewania łąnu grochu oraz NDVI w fazie dojrzewania. Szczepionka IUNG, niezależnie od fazy rozwojowej roślin, istotnie zwiększała wartość GAI (średnio o 0,24), podczas gdy szczepionka Nitragina zwiększyła wartość wskaźnika (średnio o 0,07) tylko w fazie dojrzewania. Podobne zjawisko stwierdzono po aplikacji nawozu nalistnego Photrel, czego efektem był wzrost wartości GAI w fazie kwitnienia (średnio o 0,12) oraz w fazie dojrzewania (średnio o 0,17). Wartość wskaźnika NDVI oszacowana w fazie dojrzewania, była istotnie ( $p \leq 0,05$ ) większa (średnio o 0,12) po aplikacji nawozu nalistnego Photrel, w porównaniu z zanotowaną w obiekcie kontrolnym. Dodatkowo wykazałam, że nawóz nalistny istotnie zwiększył długość pędów generatywnych i liczbę węzłów owocujących, co z kolei miało negatywny wpływ na wskaźnik plonowania (HI). Plon nasion grochu silnie zależał od interakcji między latami a szczepionkami mikrobiologicznymi i był większy dla odmiany

wąsolistnej 'Tarchalska' ( $4,3 \text{ t ha}^{-1}$ ). Istotnie większy plon nasion grochu ( $5,4 \text{ t ha}^{-1}$ ) uzyskano po aplikacji szczepionki bakteryjnej IUNG, zwłaszcza w warunkach zanotowanej posuchy glebowej. Efektywność nawożenia nalistnego w kształtowaniu struktury plonu stała się asumptem do podjęcia badań dotyczących analizy struktury systemu korzeniowego grochu.

W badaniach mających na celu ocenę wpływu szczepienia i nawożenia nalistnego na kształtowanie parametrów systemu korzeniowego odmian grochu (**b.5**) wykazałam, że stosowanie szczepionek bakteryjnych łącznie z nawozem nalistnym istotnie kształtuje parametry systemu korzeniowego roślin grochu. Wykazałam, że szczepionka bakteryjna IUNG istotnie zwiększyła średnicę korzeni ( $0,44 \text{ mm}$ ) w porównaniu do zanotowanej na obiekcie kontrolnym ( $0,33 \text{ mm}$ ), natomiast łączna aplikacja szczepionki Nitragina z nawożeniem mikroelementowym istotnie zwiększała gęstość korzeni ( $\text{RLD} = 1,05 \text{ cm cm}^{-3}$ ), w porównaniu z zanotowaną w obiekcie kontrolnym ( $0,85 \text{ cm cm}^{-3}$ ). Efektywność szczepionki bakteryjnej w kształtowaniu parametrów systemu korzeniowego zależała od ilości opadów, ponieważ w roku suchym zaobserwowano znaczące zmniejszenie średniej średnicy korzeni, specyficznej długości korzeni i zwiększenia suchej masy korzeni po przedsięwziętym szczepieniu nasion Nitraginą. Na podstawie wyników uzyskanych w trzech latach wykazałam tendencję wzrostową w nagromadzeniu azotu w nasionach po zastosowaniu szczepionki IUNG. Odmiana 'Klif', o normalnym ulistnieniu, zakumulowała więcej N w biomase. Natomiast odmiana ogólnoużytkowa 'Tarchalska' więcej N zakumulowała w nasionach, co miało decydujący wpływ na wartość indeksu żniwnego azotu (NHI) dla tej odmiany (80,0%)

Prace **b.6**, **b.7** i **b.8** przedstawiają wyniki badań dotyczących wpływu sposobu siewu na kształtowanie biomasy w fazie wzrostu wegetatywnego, cech morfologicznych, wskaźników konkurencyjności (CR – wskaźnik konkurencji, A – wskaźnik agresywności, LER – współczynnik ekwiwalentu terenowego), plonowania i składu chemicznego nasion grochu. Analiza oddziaływań wewnątrzgatunkowych oraz międzygatunkowych w łanie mieszanym dotyczyła wzrostu roślin na etapie rozwoju wegetatywnego (**b.6**). Dla pogłębienia badań dodatkowo określono wpływ tych relacji na wielkość plonu końcowego nasion zaproponowanych mieszanek. Inspiracją podjętego badania było przekonanie, że wykorzystywany w wielu pracach wskaźnik plonów względnych (RYT) nie przedstawia w pełni sposobu konkurencji międzygatunkowej roślin, a daje wyłącznie ogólną, końcową informację o zaistniałej konkurencji roślin. Wskaźnik RYT opiera się na danych z ostatniej fazy rozwoju roślin, kiedy to bierze się pod uwagę końcową biomasa rośliny lub ostateczny plon nasion. Zaproponowany model (cooperation-competition model) ujął w sposób nowatorski rozwój biomasy roślin, wskazując w ogólny sposób zależności między roślinami oraz

wprowadził parametry odpowiedzialne za wskazanie typu interakcji; konkurencji vs kooperacji. Zastosowane w modelu wskaźniki B (Strength of the mutual interactions) i ICCF (Interspecific Cooperation-Competition Factor) miały tę zaletę, że ich wartość była pochodną całego rozwoju w czasie wegetacji roślin, a nie jedynie ich stanu końcowego. Wartość parametru B odzwierciedla siłę mutualistycznych relacji pomiędzy roślinami i zależała od ich zagęszczenia w łanie oraz indywidualnych cech pokroju roślin. Wartość parametru B może być dodatnia, wskazując na wzrost produktywności roślin lub ujemna, oznaczająca jej zmniejszenie. Parametr ICCF może mieć wartość dodatnią (interspecific cooperation) lub ujemną (interspecific competition), która jest pochodną wpływu gatunku '2' na rozwój gatunku '1'. W badaniach wykazałam, że siew grochu z lnem skutkowało istotnym ( $p \leq 0,05$ ) wzrostem biomasy grochu, co odzwierciedliła dodatnia wartość parametru B ( $0,0371 \text{ dzień}^{-1}$ ). Jednakże obecność lnu skutkowało istotnym ( $p \leq 0,05$ ) wzrostem międzygatunkowej konkurencji ( $-0,0276 \text{ dzień}^{-1}$ ). Krzywe teoretyczne uzyskane na drodze dopasowania do zmieniającej się w czasie ilości wytworzonej biomasy roślin w pełnijszy sposób oddały wzajemne relacje między roślinami, uwzględniając cały okres ich rozwoju. Negatywne oddziaływanie lnu na rozwój grochu w mieszance uwidocznił stymulujący wpływ tego komponentu gatunkowego na wzrost względnego plonu nasion grochu, dowodząc, że obserwowane zjawisko konkurencji wewnątrzgatunkowej nie zawsze decyduje o wielkości końcowego plonu nasion. W aspekcie rolniczym wykazałam, że groch z lnem charakteryzował się komplementarnością w wykorzystaniu zasobów siedliska w fazie wegetatywnej, czego efektem był wysoki plon względny nasion ( $RY = 1,09$ ).

W kolejnych badaniach (**b.7**), w których oceniałam produktywność wybranych odmian grochu ('Ramrod' i 'Phönix') uprawianych w siewie mieszanym z lnem (odmiany 'Flanders' i 'Barbara') wykazałam, że masa tysiąca nasion była warunkowana przyjętym sposobem siewu, ale równie silnie kształtowana ilością dostępnej wody. W roku optymalnym do rozwoju grochu odmiany 'Ramrod' i 'Phönix' wykształcały większą masę nasion w siewie czystym niż w mieszanym. Natomiast w roku suchym znacząco większą masę nasion odmiana 'Phönix' wykształciła w siewie mieszanym z lnem odmiany 'Barbara'. Groch jadalny odmiany 'Ramrod' uprawiany w mieszance z lnem znacząco zredukował owocującą część pędu (o 37%), liczbę strąków (o 33%) i masę tysiąca nasion (o 6%), w porównaniu z czystym wysiewem. Stwierdziłam większą wzajemną agresję roślin w roku o mniej korzystnym rozkładzie opadów. Znacznie wyższą agresję ( $A = 0,08$ ) w stosunku do towarzyszących roślin łąnu 'Flanders' wykazały rośliny grochu 'Ramrod'. Zwiększona konkurencja ( $CR = 1,38$ ) roślin grochu 'Ramrod' o wodę i składniki pokarmowe w siewie mieszanym z lnem 'Flanders' skutkowało stosunkowo niską wartością współczynnika ekwiwalentu terenowego

(LER = 1,03) oraz zwiększeniem indeksu żniwnego o 15%, w porównaniu z czystym siewem. Groch pastewny 'Phönix' uprawiany w siewie czystym lub mieszanym z lnem odmiany 'Barbara' wykazywał podobną produktywność biomasy w latach z optymalnym rozkładem opadów, a odmiennie plonował w roku suchym, ponieważ zwiększał produktywność głównie w siewie mieszanym. Efektem tak przebiegającego rozwoju była wysoka wartość współczynnika ekwiwalentu terenowego (LER = 1,20).

W badania laboratoryjnych (b.8), w których analizowałam wpływ sposobu siewu grochu ('Ramrod' i 'Phonix') na ogólną zawartość białka, tłuszczu surowego, włókna surowego, kwasów tłuszczowych oraz aminokwasów limitujących, wykazałam dużą stabilność odmiany 'Ramrod' w kształtowaniu składu chemicznego nasion. Jednocześnie zaobserwowałam znaczące zróżnicowanie w zawartości aminokwasów limitujących, głównie cysteiny w nasionach grochu odmiany 'Phonix' uprawianej w siewie mieszanym z lnem odmiany 'Barbara'. Nieznaczna różnica w zawartości aminokwasu cysteina była warunkowana ilością dostępnej wody. W latach bardziej korzystnych do uprawy grochu stwierdziłam nieznacznie zwiększoną zawartość cysteiny w nasionach z siewu mieszanego, natomiast w roku suchym zaobserwowałam odwrotne zjawisko. Zawartość metioniny w nasionach grochu była nieznacznie większa w siewie czystym roślin, niezależnie od doboru odmian i przebiegu pogody.

Kontynuując temat doskonalenia uprawy grochu w warunkach stresów abiotycznych podjęłam współpracę z Prof. Hansem-Peterem Kaulem z Uniwersytetu Przyrodniczego w Wiedniu (Universität für Bodenkultur Wien – BOKU), z którym wspólnie prowadzimy badania dotyczące „Effect of sulphur nutrition on nitrogen fixation and yield formation of autumn and spring sown legumes as a new approach to sustainable crop production” w ramach programu wykonawczego z Austrią 2017-2019 (załącznik 3). W ramach prowadzonych badań oceniamy aktywność systemu korzeniowego, efektywność wiązania azotu przez bakterie z rodzaju *Rhizobium*, wskaźniki fizjologiczne, zdrowotność łąnu, produktywność i produktyjność oraz skład chemiczny ozimych roślin strączkowych.

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

Przeprowadzone przeze mnie badania mają charakter użyteczny i stanowią punkt wyjścia do kolejnych prac, których celem będzie wykorzystanie szczepionek bakteryjnych oraz nawożenia nalistnego mikroelementami do zwiększenia produktyjności i produktywności wybranych odmian grochu ozimego.

1. W warunkach mniej korzystnych do uprawy grochu za sprawą chłodnego i wilgotnego sezonu wegetacyjnego, przedsięwzięcie szczepienie nasion bakteriami brodawkowymi zawartymi w preparacie Nitragina oraz nalistne stosowanie nawozu mikroelementowego Photrel, skutkowało istotnym zwiększeniem wysokości roślin, co determinowało istotny wzrost liczby węzłów owocujących (średnio do 4,3 szt.) oraz liczby strąków z rośliny (średnio do 7,4 szt.). Dodatkowo nieznacznie zwiększyło plonowanie roślin (o 0,12 t ha<sup>-1</sup>) w porównaniu z uzyskanym z obiektu kontrolnego. W warunkach mokrego roku (w miesiącach III-VII suma opadów wyniosła 588,7 mm) łączne stosowanie przedsięwzięcia szczepienia nasion *Rhizobium leguminosarum* oraz nalistnego nawożenia spowodowało nieznaczny wzrost zawartości białka, tłuszczu i włókna surowego w nasionach grochu.
2. Spośród porównanych odmian grochu najbardziej stabilną w ilości wykształczonych strąków była krajowa odmiana 'Tarchalska', a najmniej francuska odmiana 'Prophet'. Cztery pierwsze węzły determinują od 45 do 91% plonu nasion z pędu. Właściwości botaniczno-rolnicze odmian decydowały o liczbie nasion pochodzących z dolnych węzłów (1-4), ale również istotny wpływ na plonowanie grochu miało zastosowanie szczepionki bakteryjnej. Łączna aplikacja szczepionki bakteryjnej i nawozu nalistnego istotnie zwiększyła masę nasion zawiązanych z pierwszego owocującego węzła, natomiast nie miała istotnego wpływu na kształtowanie masy nasion z wyżej wykształconych węzłów (5-10).
3. Model regresji porządkowej jest przydatnym narzędziem do predykcji determinantów, które mają wpływ na kategoryzowanie masy nasion grochu. Spośród porównywanych zmiennych ilościowych decydujących o zwiększeniu masy nasion (powyżej 240 mg), istotny wpływ miały: liczba nasion w strąku oraz liczba strąków na pędzie. Natomiast spośród zmiennych jakościowych o masie nasion decydowały głównie warunki pogody oraz typ odmiany, a w marginalnym stopniu szczepionki bakteryjne. Optymalne warunki hydrotermiczne oraz właściwa odmiana zwiększają szansę na uzyskanie nasion z większej kategorii wagowej.
4. Wskaźniki wegetacji (GAI, NDVI) były użyteczne w ocenie produktywności łąnu w następstwie zastosowania szczepionek bakteryjnych i nalistnie stosowanego nawozu mikroelementowego (Photrel) w określonych stadiach rozwojowych. Zastosowane preparaty skutkowały uzyskaniem większej wartości GAI w fazie kwitnienia i dojrzewania oraz NDVI w fazie dojrzewania. Wysokie wartości wskaźników GAI i NDVI dały podstawę do prognozowania wysokiej produktywności roślin. W warunkach

niedoboru wody w okresie wzrostu i rozwoju grochu zastosowanie szczepionki bakteryjnej IUNG wpłynęło na istotny wzrost plonowania (około 0,49 t ha<sup>-1</sup>) w porównaniu do kontroli.

5. Dobór szczepionki bakteryjnej oraz nawożenie nalistne mają istotne znaczenie w kształtowaniu wielkości systemu korzeniowego roślin oraz akumulacji azotu w roślinie i w glebie. Zastosowanie szczepionki IUNG istotnie zwiększyło średnicę korzeni (0,44 mm) w porównaniu do kontroli (0,33 mm). Łączne zastosowanie szczepionki Nitragina z nawożeniem mikroelementowym istotnie zwiększyło zagęszczenie korzeni (RLD = 1,05 cm cm<sup>-3</sup>), w porównaniu do kontroli (0,85 cm cm<sup>-3</sup>). Szczepionka bakteryjna IUNG zmniejszyła zagęszczenie korzeni w zakresie 0,2-0,5 mm w najbardziej wilgotnym roku. Zaobserwowano znaczny wzrost zawartości azotu w roślinach i znaczny spadek zawartości azotu w glebie po zastosowaniu szczepionki IUNG. Jadalna odmiana grochu 'Tarchalska' zgromadziła więcej azotu w nasionach i uzyskała większy indeks żniwny azotu (NHI = 80,0%).
6. Opisany model matematyczny (cooperation-competition model) jest użytecznym narzędziem do weryfikacji zależności (konkurencji lub kooperacji) międzygatunkowych oraz zależności wewnątrzgatunkowych łanu w nowej dwuskładnikowej mieszance (lnu z grochem). Optymalne zagęszczenie roślin grochu w siewie czystym skutkowało zminimalizowaniem konkurencji wewnątrzgatunkowej w łanie jednogatunkowym grochu, czego efektem był istotny wzrost biomasy, który w modelu odzwierciedlił parametr B ( $p < 0,05$ ), mający wartość dodatnią (0,0371 dzień<sup>-1</sup>). Obecność lnu w siewie mieszanym z grochem skutkowała istotnym spowolnieniem tempa rozwoju grochu w etapach wegetatywnego wzrostu, w porównaniu do zasiewu czystego. W modelu odzwierciedlił to parametr ICCF ( $p < 0,05$ ), który miał wartość ujemną (-0,0276 dzień<sup>-1</sup>). Negatywne oddziaływanie lnu na rozwój grochu w mieszance uwidocznilił stymulujący wpływ tego komponentu gatunkowego na wzrost plonów względnych ( $RY > 1$ ) dowodząc, że obserwowane zjawisko konkurencji wewnątrzgatunkowej nie zawsze decyduje o wielkości plonu.
7. Dobór odmian grochu do mieszanki z lnem ma decydujący wpływ na produktywność i produktywność roślin. Uprawa grochu 'Ramrod' w siewie mieszanym przyczyniła się do wzrostu konkurencyjności (CR = 1,38) gatunku w stosunku do rośliny towarzyszącej, czego efektem było uzyskanie wysokiego wskaźnika agresywności (A = 0,08) oraz stosunkowo niskiego współczynnika ekwiwalentu terenowego (LER = 1,03). Groch

'Phönix' uprawiany w siewie mieszanym, w warunkach optymalnych, wykazał się niską agresywnością ( $A = 0,02$ ) w stosunku do towarzyszącego w łanie lnu 'Barbara', czego efektem był wzrost współczynnika ekwiwalentu terenowego ( $LER = 1,20$ ).

8. Zaproponowana mieszanka lnu z grochem może być wartościową paszą treściwą dla zwierząt gospodarskich, ponieważ profil kwasów tłuszczowych oraz zawartość aminokwasów limitujących w nasionach grochu były stabilne i nieodróżniane sposobem siewu. Nieznaczne zróżnicowanie w zawartości aminokwasu limitującego cysteiny zaobserwowano w nasionach grochu pastewnego 'Phönix' uprawianej z lnem 'Barbara'. W latach bardziej korzystnych do uprawy grochu stwierdzono nieznaczny wzrost cysteiny w nasionach z siewu mieszanego, natomiast w roku suchym zaobserwowano zjawisko odwrotne.

## Literatura

- Aguiar M., Lauenroth W., Peters D. 2001. Intensity of intra- and interspecific competition in coexisting shortgrass species. *Journal of Ecology*. 89(1): 40-47.
- Annicchiarico P., Iannucci A. 2008. Adaptation strategy, Germplasm type and adaptive traits for field pea improvement in Italy based on variety responses across climatically contrasting environments. *Field Crops Research*. 108: 133-142.
- Bedoussac L., Justes E. 2010. Dynamic analysis of competition and complementarity for light and N use to understand the yield and the protein content of a durum wheat-winter pea intercrop. *Plant and Soil*. 330: 37-54.
- Dore' T., Makowski D., Malézieux E., Munier-Jolain N., Tchamitchian M., Tittone P. 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: revisiting methods, concepts and knowledge. *European Journal of Agronomy*. 34:197-210.
- European Commission. 2010. The CAP towards 2020: meeting the food, natural resources and territorial challenges of the future. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels, 18 November, COM(2010) 672 final.
- EUROstat 2016. <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/7777899/KS-FK-16-001-EN-N.pdf/cae3c56f-53e2-404a-9e9e-fb5f57ab49e3>
- FAOSTAT. [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org)
- FAO. 2011. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW)—Managing Systems at Risk. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan, London.
- Gaba S., Lescourret F., Boudsocq S., Enjalbert J., Hinsinger P., Journet E.P., Navas M.-L., Wery J., Louarn G., Malézieux E., Prudent E.P.M., Ozier-Lafontaine H. 2015. Multiple cropping systems as drivers for providing multiple ecosystem services; from concepts to design. *Agronomy for Sustainable Development*. 35: 607-623.
- Godsoe W., Murray R., Plank M. 2015. The effect of competition on species' distributions depends on coexistence, rather than scale alone. *Ecography*. 38: 1071-1079.
- Grabowska K., Banaszkiwicz B. 2009. Wpływ temperatury i opadów atmosferycznych na plonowanie grochu siewnego w środkowej Polsce. *Acta Agrophysica*. 13(1): 113-120.
- Gray S., Brady S. 2016. Plant Developmental responses to climate change. *Developmental Biology*. 419: 64-77.
- Guilioni L., Wery J., Tardieu F. 1997. Heat stress-induced abortion of buds and flowers in pea, Is sensitivity linked to organ age or to relations between reproductive organs? *Annals of Botany*. 80: 159-168.



- Haines-Young R., Potschin M. 2010. The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. In: D. Raffaelli, C. Frid (Eds.), *Ecosystem Ecology: A New Synthesis*, BES Ecological Reviews Series. CUP, Cambridge.
- Ihsan M.Z., Shahzad N., Kanwal S., Naeem M., Khaliq A., El-Nakhlawy F.S., Matloob A. 2013. Potassium as foliar supplementation mitigates moisture induced stresses in mung bean (*Vignaradiata* L.) as revealed by growth, photosynthesis, gas exchange capacity and Zn analysis of shoot. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 4(S): 3828-3835.
- Jensen E.S., Bedoussac L., Carlsson G., Journet E.-P., Justes E., Hauggaard-Nielsen H. 2015. Enhancing yields in organic crop production by eco-functional intensification. *Sustainable Agriculture Research*. 4: 42-50.
- Klimek-Kopyra A., Skowera B., Zając T., Grygierzec B. 2016. Development and production response of edible and forage varieties of pea (*Pisum sativum* L.) to temporary soil drought under different levels of phosphorus application. *Acta Agrobotanica*. 69 (2): 1-3.
- Klimek-Kopyra A., Baciór M., Zając T. 2017. Biodiversity as a creator of productivity and interspecific competitiveness of winter cereal species in mixed cropping. *Ecological Modelling*. 343: 123-130.
- Klimek-Kopyra A., Kulig B., Oleksy A., Zając T. 2015. Agronomic performance of naked oat (*Avena nuda* L.) and faba bean intercropping. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 75(2):168-173.
- Księżak J., Bojarszczuk J., Staniak M. 2016. Evaluation of yielding of mixtures of *Pisum sativum* L. with *Triticum aestivum* L. grown in organic farming. *Acta Agrobotanica*. 69(3): 1681.
- Kuś J., Stalenga J. 2006. Perspektywy rozwoju różnych systemów produkcji rolniczej w Polsce. *Biuletyn IHAR. Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*. 242:15-25.
- Lupwayi N.Z., Lafond G.P., May W.E., Holzapfel C.B., Lemke R.L. 2012. Intensification of field pea production: Impact on soil microbiology. *Agronomy Journal - Agronomy, Soils and Environmental Quality*. 104: 1189-1196.
- Lüscher A., Mueller-Harvey I., Soussana J.F., Rees R.M., Peyraud J.L. 2014. Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe; a review. *Grass and Forage Sciences*. 69: 206-228.
- Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier-Lafontaine H., Rapidel B., Tourdonnet B.S., Valantin-Morison M. 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 29:43-62.
- Martin-Guay M.O., Paquette A., Dupras J., Rivest D. 2018. The new green revolution: Sustainable intensification of agriculture by intercropping. *Science of the Total Environment*. 615: 767-772.
- Micek P., Kulig B., Woźnica P., Sajdak A. 2012. The nutritive value for ruminants of faba Bean (*Vicia faba*) seeds and naked oat (*Avena nuda*) grain cultivated in an organic farming system. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 21: 773-786.
- Michalska M., Wanic M., Kostrzevska M. 2008. Konkurencja pomiędzy jęczmieniem jarym a grochem siewnym w zróżnicowanych warunkach glebowych. Cz. I. Akumulacja biomasy i tempo wzrostu roślin. *Acta Scientiarum Poloniarum seria Agricultura*. 7(2): 69-86.
- Mkhabela M.S., Bullock P., Raj S., Wang S., Yang Y. 2011. Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data. *Agricultural and Forest Meteorology*. 3(151): 385-393.
- Neugschwandtner R., Kaul H.P. 2015. Nitrogen uptake, use and utilization efficiency by oat-pea intercrops. *Field Crops Research*. 179: 113-119.
- Podgórska-Lesiak M., Sobkowicz P., Lejman A. 2011. Dynamika pobierania i wykorzystanie azotu w mieszankach jęczmienia jarego z grochem siewnym. *Fragmenta Agronomica*. 28(3): 100-111.
- Poggio S.L., Satore E.H., Dethiou S., Gonzalo G. M. 2005. Pod and seed numbers as a function of photothermal quotient during the seed set period of field pea (*Pisum sativum*) crops. *European Journal of Agronomy*. 22: 55-69.
- Preissel S., Reckling M., Schläfke N., Zander P. 2015. Magnitude and farm- economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: a review. *Field Crops Research*. 175: 64-79.
- Rudnicki F. 1999. Środowiskowe uwarunkowania uprawy mieszanek zbożowych i zbożowo-strączkowych. *Mat. Konf. Nauk. Przyrodnicze i produkcyjne aspekty uprawy roślin w mieszankach*, AR Poznań, 28-38.
- Siddique K.H., Johansen C., Turner N.C., Jeuffroy M.H., Hashem A., Sakar D., Gan Y., Alghamdi S.S. 2012. Innovations in agronomy for food legumes: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 32: 45-64.
- Sobkowicz P., Tendziagolska E., Lejman A. 2016. Wydajność wieloskładnikowych mieszanek zbóż jarych. Część I. Plony i elementy plonowania. *Acta Scientiarum Poloniarum, seria Agricultura*. 15(2): 25-35.
- Stagnari F., Maggio A., Galieni A., Pisante M. 2017. Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 4: 1-13.

- Shabbir R., Ashraf M., Warach E., Ahmad R., Shahbaz M. 2015. Combined effects of drought stress and NPK foliar spray on growth, physiological processes and nutrient uptake in wheat. *Pakistan Journal of Botany*. 47: 1207-1216.
- Tittonell P. 2014. Ecological intensification of agriculture-sustainable by nature. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 8: 53-61.
- Uzun A., Bilgili U., Sincik M., Filya I., Acikgoz E. 2005. Yield and quality of forage type pea lines of contrasting leaf types. *European Journal of Agronomy*. 22, 85-94.
- Watson C., Reckling M., Preissel S., Bachinger J., Bergkvist G., Kuhlman T., Lindstrom K., Nemecek T., Topp C., Vanhatalo A., Zander P. Murphy-Bokern D., Stoddard F. 2017. Grain legume production and use in european agricultural systems. *Advances in Agronomy*. 144: 235-303.
- Weiner J., Freckleton R. 2010. Constant final yield. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 41: 173-92
- Voisin A.-S., Gueguen J., Huyghe C., Jeuffroy M.-H., Magrini M.-B., Meynard J.-M., Mougél C., Pellerin S., Pelzer E. 2014. Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 34: 361-380.

## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

Realizowana przeze mnie tematyka badawcza od początku pracy naukowej jest związana z doskonaleniem technologii uprawy mieszanek dwu i wielogatunkowych (strączkowo-zbożowych, zbożowo-oleistych, zbożowych dwu i trójgatunkowych) oraz prowadzeniem doświadczeń poznawczych – agrotechnicznych i środowiskowych, a oceniających nie tylko produktywność i produktywność roślin, ale również strukturę morfologiczną, analizę systemu korzeniowego, analizę parametrów fizjologicznych i wskaźników konkurencyjności oraz jakości słomy i ziarna. Uzyskane wyniki dostarczyły wiedzy mającej znaczenie poznawcze oraz użytkowe, stanowiącej istotne wskazanie dla praktyki rolniczej w zakresie doboru gatunków lub odmian z grupy roślin bobowatych, zbożowych i oleistych do uprawy w siewie czystym lub mieszanym.

**Bioróżnorodność w uprawie polowej** jest jednym z kluczowych elementów wzrostu intensyfikacji produkcji roślinnej w systemie integrowanym. Celem jednych z pierwszych badań dotyczących oceny produktywności dwugatunkowych mieszanek zbożowo-strączkowych (**II.A.8**) było porównanie plonowania, kształtowania parametrów fizjologicznych (LAI – Leaf Area Index, PAR – Photosynthesis Active Radiation), wzajemnych relacji roślin bobiku tradycyjnej odmiany ‘Olga’, odmiany samokończącej ‘Optimal’ oraz owsa nagiego ‘Polar’ w zależności od proporcji wysiewu (25:75; 50:50; 75:25). Wykazałam, że udział komponentów w mieszance oraz warunki pogodowe w latach badań istotnie modyfikowały plon nasion oraz jego strukturę, a także wielkość wskaźników wegetacyjnych łąnu. Zwiększenie udziału bobiku z 25% do 75% w mieszance z owsem nagoziarnistym zwiększyło plon w odmianie samokończącej ‘Optimal’ o 760 kg ha<sup>-1</sup>. Odmiana tradycyjna ‘Olga’ była istotnie lepszym komponentem do mieszanki z

nagoziarnistym owsem (przy udziale 25%), o czym świadczyło wysokie plonowanie owsa w mieszance ( $2,09 \text{ t ha}^{-1}$ ), na porównywalnym poziomie w stosunku do siewu czystego ( $2,36 \text{ t ha}^{-1}$ ). Lepszym wykorzystaniem PAR we wszystkich latach badań odznaczała się mieszanka z takim samym udziałem bobiku 50% i owsa 50%. Współczynnik ekwiwalentu terenowego (LER) w porównywanych kombinacjach mieszkankowych osiągnął wartość większą od jedności, co świadczy o komplementarnym wykorzystaniu limitowanych zasobów siedliska przez komponenty mieszanki. Wysokie wartości współczynnika konkurencyjności ( $CR > 1$ ) wskazują na dominację bobiku w łanie oraz jego agresywność (A) względem owsa w badanych mieszankach. Owies wykazał większą konkurencyjność względem bobiku wyłącznie przy niskim (25%) udziale w łanie w mieszance z bobikiem odmiany tradycyjnej 'Olga'.

W innych badaniach polowych (**II.D.27**) dotyczących wpływu sposobu siewu lnu oleistego w różnych proporcjach wysiewu z pszenicą jarą (75:25, 50:50, 25:75) na plonowanie, cechy morfologiczne oraz kształtowanie wskaźników konkurencyjności gatunków wykazałam, że sposób siewu lnu nie różnicował istotnie liczby nasion w torebkach, co dowiodło autonomii rozwojowej kwiatostanu lnu oleistego. W warunkach siewu mieszanego masa pojedynczego nasienia lnu oleistego miała tendencję wzrostową. Taki układ wartości uwidacznia, że siew mieszany dostarcza plon nasion o pożądanych parametrach użytkowych. Jednak już liczba nasion z pojedynczego pędu lnu oleistego była najwyższa w siewie czystym. Len w siewie mieszanym z pszenicą istotnie zredukował liczbę nasion z pojedynczego pędu, zwłaszcza w mieszance z małym jego udziałem (25%). Prawidłowości te są wynikiem istotnego zmniejszenia się liczby odgałęzień w kwiatostanie. Zwiastunem tych zmian było zmniejszenie się długości kwiatostanu lnu oleistego. Logiczną konsekwencją tak postępujących zmian rozwojowych było zmniejszenie liczby torebek wykształconych na pojedynczym pędzie lnu oleistego. Zjawisko to pociągnęło za sobą drastyczną redukcję masy nasion z pędu, równoległe przebiegającą ze spadkiem masy całego pędu lnu oleistego. Taki układ wartości spowodował istotne obniżenie wartości harvest index, co było szczególnie widoczne w obiekcie z małym udziałem lnu oleistego (25%) w mieszance z pszenicą jarą, w której udział zboża wyniósł 75%. W mieszance z małym udziałem pszenicy jarej (25%) wartość harvest index dla lnu była największa, jednak różnice w porównaniu z siewem czystym były statystycznie nieudowodnione. Wysiew pszenicy jarej z lnem oleistym skutkował wydłużeniem kłosa, większą liczbą kłosków w kłosie, większą liczbą ziaren niż przy uprawie tego zboża w czystym siewie. Jednakże wykazałam małe zróżnicowanie liczby ziaren w pojedynczym kłosku pszenicy jarej. W siewie mieszanym z lnem oleistym ziarna

pszenicy były drobniejsze, co było wynikiem silniejszego krzewienia się roślin, stąd zwiększona liczba pędów bocznych na roślinie, wykształcających w kłosach ziarniaki o mniejszej masie. Dlatego plon ziarna z pojedynczego kłosa pszenicy jarej nie wykazywał istotnego zróżnicowania. Jedynie przy małym udziale pszenicy (25%) jej kłosy miały tendencję do wyższego plonowania. Masa pędu pszenicy z tej mieszanki była największa. Pszenica z siewu czystego miała istotnie ( $p < 0,05$ ) wyższy harvest index. W mieszankach wartości tego ilorazowego wskaźnika zmniejszyły się, zapewne za sprawą wzrostu masy źdźbła pszenicy jarej. Na podkreślenie zasługuje fakt, że wszystkie cechy pszenicy nie podlegały wpływowi lat wegetacji, a zmiany były wynikiem wyłącznie wywołanym sposobem siewu. Wykazałam, że wartość wskaźnika konkurencyjności (CR) wzrastała wraz ze wzrostem udziału lnu w pszenicy, osiągając największą wartość, gdy jego udział wynosił 75%. Wykazałam to w oparciu o uzyskane dodatnie wartości wskaźnika agresywności (A), który potwierdził silną dominację pszenicy nad lnem oleistym w łanie mieszanym. Wartość wskaźnika A wzrastała linearnie wraz ze wzrostem udziału pszenicy w mieszance. Największą agresywność wykazywały rośliny pszenicy przy udziale 75% w mieszance. Pomimo całkowitego zdominowania lnu przez pszenicę, obserwowano wzrost wartości współczynnika ekwiwalentu terenowego wraz ze zwiększeniem się udziału zboża w mieszance.

Przydatność uprawy lnu w siewie mieszanym z roślinami strączkowymi (grochem lub wyką siewną) została podjęta w ramach pracy doktorskiej, która zaowocowała opublikowaniem trzech prac naukowych dotyczących wpływu sposobu siewu na kształtowanie plonu i składu chemicznego nasion lnu (**II.A.13**) oraz wielkości systemu korzeniowego roślin lnu, grochu lub wyki, w zależności od warunków siedliska (**II.A.6** i **II.D.21**). W badaniach dotyczących wpływu sposobu siewu lnu na skład chemiczny jego nasion (**II.A.13**) wykazałam, że plon nasion oraz zawartość tłuszczu w nasionach zależała istotnie od sposobu siewu i przebiegu pogody w sezonach wegetacyjnych. Uprawa lnu w siewie czystym skutkowałą podwyższoną wielkością plonu nasion ( $2493,7 \text{ kg ha}^{-1}$ ) oraz zwiększoną ich kalorycznością ( $56,3 \text{ GJ ha}^{-1}$ ), a obniżoną zawartością tłuszczu ( $391,9 \text{ g kg}^{-1}$ ), w porównaniu z wysiewem lnu w mieszance z grochem lub wyką. Zróżnicowanie w plonowaniu lnu oraz w ilości gromadzonego tłuszczu w nasionach stało się przyczyną do kontynuowania badań w tym zakresie, uwzględniających analizę parametrów morfologicznych systemu korzeniowego (**II.A.6** i **II.D.21**). W przeprowadzonych badaniach wykazałam, że systemy korzeniowe lnu i roślin strączkowych cechuje różny stopień plastyczności w zależności od lokalnej różnorodności profilu gleby oraz zagęszczenia roślin

w łanie (**II.D.21**). Uprawa lnu na glebie brunatnej właściwej, w regionie charakteryzującym się większą sumą opadów w sezonie wegetacyjnym, skutkowała wykształceniem istotnie większego systemu korzeniowego w siewie mieszanym z grochem ( $RDM = 0,0021 \text{ g cm}^{-3}$ ). Stres abiotyczny, wynikający z okresowego niedoboru wody, występujący na glebie czarnoziemnej, skutkował istotnym zredukowaniem masy korzeni w siewie mieszanym z grochem lub wyką. Efektem tego zjawiska było istotne obniżenie wskaźnika RSR (Root Shoot Ratio). Ponadto wykazałam, że specyficzna długość korzeni (SRL – Specific Root Length) w znaczący sposób określała stopień plastyczności korzeni w zależności od rodzaju gleby i warunków hydrotermicznych (**II.A.6**). Stwierdziłam istotne zwiększenie wartości wskaźnika SRL dla roślin strączkowych (wyki i grochu) uprawianych na glebie brunatnej wraz ze wzrostem ilości opadów (TP – Total Precipitation). Ponadto siła tej zależności była warunkowana sposobem wysiewu roślin. Stwierdziłam istotnie silniejszą korelację SRL z łączną sumą opadów dla grochu uprawianego w siewie mieszanym z lnem ( $r = 0,982$ ;  $p \leq 0,05$ ) niż w siewie czystym.

Badania polowe dotyczące oceny produktywności mieszanek zbóż ozimych zostały podjęte w kierunku doboru odmian w zależności od długości słomy (**II.A.5**) oraz udziału poszczególnych komponentów mieszankowych (**II.A.11**).

W badaniach dotyczących przydatności odmian o różnej długości słomy do uprawy w siewie mieszanym (**II.A.5**) poddałam ocenie cztery gatunki zbóż ozimych (pszenica, żyto, pszenżyto i jęczmień) uprawiane w siewie czystym lub mieszanym. W badaniach wykazałam, że pomimo ewidentnych różnic gatunkowych badanych zbóż ozimych, ich reakcja na sposób siewu – uprawę w mieszankach – była zróżnicowana. Gatunki zbóż o krótszej słomie, czyli jęczmień i pszenica, zwiększyły długość źdźbeł, czemu towarzyszyło zmniejszenie masy tego elementu składowego pędu. Przeciwna sytuacja zarysowała się w odniesieniu do żyta, posiadającego dłuższe źdźbła, które uległy skróceniu w przypadku ich uprawy w mieszankach, czemu towarzyszyło zwiększenie masy źdźbeł. W siewie mieszanym ze zbożami o dłuższej słomie, zarówno jęczmień ozimy jak i pszenica ozima zwiększyły długość źdźbeł. Taka reakcja produkcyjno-rozwojowa świadczy o wystąpieniu adaptacji rozwojowej badanych taksonów do zaistniałych warunków w łanie w czasie wspólnej wegetacji. Wykazałam, że w miarę podwyższania udziału jęczmienia ozimego i pszenicy ozimej w mieszankach, systematycznie zmniejszała się masa źdźbła obydwu elementów składowych pojedynczego pędu. Zgodnie z oczekiwaniem, liczba ziaren w pojedynczym kłosie jęczmienia ozimego, rosnącego w mieszankach z długosłomym żytem zmniejszała się, a czynnikiem sprawczym takiej reakcji było prawdopodobnie ocienienie, jako skutek dominacji wyższej

rośliny towarzyszącej (żyta) w agrofitycenozie. W siewie mieszanym żyta z jęczmieniem ozimym w mieszance (mieszance, w której jęczmień miał udział 67%, a żyto 33%) odnotowano większą liczbę ziaren w kłosie w porównaniu z uprawą tego gatunku w siewie czystym. Żyto i pszenżyto wysiane w dwugatunkowych mieszankach zmniejszyły długość źdźbła. Długość kłosa tych zbóż, zwłaszcza u żyta wykazała tendencje do zwiększania długości kwiatostanu, co zwiększało także plon ziarna. Masa słomy pojedynczego źdźbła żyta, wysianego w mieszance z 33%-owym udziałem tej rośliny, była większa w porównaniu z siewem czystym gatunkowo, pomimo mniejszej długości źdźbła. Źdźbła żyta, rosnącego w mieszance z jęczmieniem ozimym były masywne, grubsze, a więc odporniejsze na wyleganie. Dwugatunkowa mieszanka jęczmienia z żytem okazała się daleko bardziej stabilną w plonowaniu w porównaniu z siewem czystym obydwu gatunków, z których mieszanki zostały zestawione. Uprawa pszenicy i pszenżyta w czystym siewie umożliwiła uzyskanie stabilnego plonu ziarna tych gatunków, reprezentowanych przez wysokopienne odmiany. Jednak dwugatunkowe mieszanki zbożowe, zestawione z pszenicy i pszenżyta plonowały lepiej (ca 11 t ha<sup>-1</sup>) w porównaniu z siewami czystymi tych zbóż. W każdym sezonie wegetacji najwięcej azotu w plonie ziarna gromadziła pszenica, przewyższająca pod tym względem pozostałe gatunki zbóż ozimych, uprawianych w czystym siewie. Mieszanki pobrały z plonem ziarna istotnie więcej azotu (16-32 kg ha<sup>-1</sup>) w porównaniu z siewem czystym. Większy udział jęczmienia, kosztem żyta, stymulował pobieranie azotu z plonem ziarna. Mieszanka pszenicy z pszenżytem wysiana w równej proporcji (50:50) akumulowała najwięcej azotu (192-203 kg N ha<sup>-1</sup>) w plonie. Mieszanki odznaczały się istotnie większą wartością LER obliczoną na podstawie plonu nasion i plonu białka, co wskazuje na bardziej efektywne wykorzystanie przestrzeni, w porównaniu z zasiewami czystymi. Istotnie większe wartości LER (1,17) uzyskała mieszanka jęczmienia z żytem, co wskazuje na większą (17%) produktywność tej mieszanki w porównaniu z zasiewem czystym.

W drugim doświadczeniu polowym (**II.A.11**) dotyczącym produktywności ozimych mieszanek zbożowych, porównałam wpływ różnych udziałów poszczególnych gatunków w wysiewie na kształtowanie parametrów struktury plonu, plonowania oraz wartości wskaźników konkurencyjności. W badaniach porównałam żyto ‘Amber’, pszenżyto ‘Borowik’, i pszenicę ‘Ozon’ przy równych udziałach wysiewu żyta w mieszance z pszenżytem (50:50), żyta w mieszance z pszenicą (50:50) oraz pszenżyta w mieszance z pszenicą (50:50). W siewie mieszanym 3 gatunkowym porównałam trzy warianty zasiewu przy zróżnicowanych udziałach; a) żyto, pszenżyto, pszenica (50:25:25), b) żyto, pszenżyto, pszenica (25:50:25), c) żyto, pszenżyto, pszenica (25:25:50). Wykazałam, że sposób siewu

istotnie modyfikował cechy morfologiczne roślin. Sposób siewu miał istotny wpływ na kształtowanie masy źdźbła i masy kłosów u żyta i pszenicy, jednak nie różnicował parametrów morfologicznych pszenżyta. Siew dwu- i trójgatunkowy żyta z pszenżytem i/lub z pszenicą przyczynił się do istotnego wzrostu masy źdźbła. Największą istotną statystycznie masę źdźbła i masę kłosa uzyskało żyto w mieszance dwugatunkowej z pszenżytem (odpowiednio 2,15 g i 2,80 g). Siew dwugatunkowy pszenicy z pszenżytem skutkowało istotnym wzrostem masy źdźbła i masy kłosa w porównaniu z siewem czystym pszenicy. Pozostałe kombinacje mieszanek skutkowało redukcją masy źdźbła i masy kłosa. Obecność żyta w mieszance dwugatunkowej przy zachowaniu 50% udziałów każdego komponentu, wskazała na dominację tego gatunku w łanie. Natomiast większy udział żyta (50%) w mieszance trójgatunkowej skutkowało zwiększeniem dominacji tego zboża w łanie. Oba te zjawiska potwierdzają cechę atawizmu u tego gatunku. Podobne zjawisko, jednak o mniejszym nasileniu, zaobserwowano w przypadku pszenżyta. Obecność pszenżyta w mieszance dwugatunkowej skutkowało wzrostem konkurencji wewnątrzgatunkowej. W mieszance trzyskładnikowej niski, bo stanowiący 25%, udział pszenżyta zwiększał konkurencję żyta w tej mieszance kosztem pszenicy. Natomiast wzrost udziału pszenżyta do 50%, doprowadził do dominacji tego gatunku w łanie takiej agrofitycenozy. Pszenica nigdy nie wykazała dominacji w łanie mieszanek, pomimo zwiększenia jej udziału do 50%. Zarówno w mieszance dwugatunkowej, jak i trójgatunkowej wykazywała słabą konkurencję.

W doświadczeniu, w którym porównywałam stan zdrowotny pszenicy uprawianej w siewie czystym lub mieszanym (**II.D.30**), wykazałam mniejsze porażenie roślin tego gatunku przez patogeny grzybowe. Siew mieszany trójgatunkowy, w którym udział pszenicy był mały (25%) skutkowało istotnym wzrostem jej odporności na septoriozę liści i plew (*Septaria nodorum*) oraz fuzaryjną zgorzel podstawy źdźbła i korzeni (*Fusarium* spp.), natomiast zanotowałam tendencję do zwiększonego występowania rdzy brunatnej (*Puccinia recondita*) na liściach. Suma opadów w danym roku wegetacji determinowała nasilenie chorób grzybowych. W warunkach suszy glebowej wykazałam istotnie niższy indeks porażenia pszenicy przez septoriozę liści i plew (DI = 0,53; DI = 0,29). Natomiast w roku o większej sumie opadów wykazałam silniejsze opanowanie roślin przez grzyby chorobotwórcze *Septaria nodorum*.

### **Dystrybucja biomasy w źdźble oraz wartość kaloryczna w zależności od wysokości cięcia**

W doświadczeniu porównywałam (**II.A.4**) rozkład biomasy w źdźble u wybranych gatunków zbóż jarych i ozimych oraz straty wynikające z ilości słomy pozostającej po

koszeniu i wykazałam, że najwięcej masy gromadzą rośliny w drugim międzywęźlu odpowiednio: pszenica ozima > pszenica jara > pszenżyto ozime > jęczmień ozimy > owies > pszenżyto jare. Dystrybucja masy w źdźbłach: pszenicy, jęczmienia jarego i owsa przebiegała liniowo, ulegając redukcji w górnych partiach źdźbła. Natomiast w przypadku jęczmienia stwierdzono mniejszą akumulację biomasy od drugiego międzywęźla. Straty spowodowane wysokością cięcia (15 cm) były największe w formie jarej jęczmienia (31%), natomiast najmniejsze w formie ozimej (22%) i jarej (24%) pszenicy. W kolejnym doświadczeniu (II.A.12), w którym porównywałam wartość energetyczną słomy jarych i ozimych roślin zbożowych oraz straty wynikające z przyjętych symulowanych wysokości cięcia (co 2,5 cm), wykazałam, że niskie cięcie do 10 cm nie powoduje strat plonu słomy. Przyjęcie wyższego cięcia, powyżej 20 cm, wywołało straty w kaloryczności słomy zbóż. Zwiększanie wysokości cięcia pszenicy ozimej wywołało straty w plonie słomy 0,1 t ha<sup>-1</sup> na każdy 1 cm słomy pozostawionej na polu. W przypadku jęczmienia straty plonu słomy wynikające z wyższej wysokości cięcia były najmniejsze. Ozime rośliny zbożowe (pszenica, pszenżyto) akumulowały więcej energii w czterech pierwszych międzywęźlach. W tych badaniach wykazałam, że pomimo ewidentnych różnic morfologicznych w budowie źdźbła zbóż, wartość energetyczna plonu słomy była podobna.

### **Porównanie potencjału produkcyjnego wybranych odmian kukurydzy**

W przeprowadzonych badaniach polowych (II.A.1) dotyczących porównania zawartości i wydajności oleju, w zależności od sposobu nawożenia oraz klasy wczesności i typu ziarniaka ('flint', 'dent') różnych mieszańców kukurydzy wykazałam, że zwiększenie masy ziarniaka badanych odmian, bez względu na typ ziarniaka, było wysoce istotne i dodatnio skorelowane z masą zarodka. Masa ziarniaka i masa zarodka determinowała wielkość plonu oleju z jednostki powierzchni. Olej z zarodków kukurydzy charakteryzował się wysokim udziałem kwasu linolowego w profilu kwasów tłuszczowych.

Kolejne badania dotyczyły zdrowotności pozyskiwanego ziarna kukurydzy (II.D.13 i II.A.3). Na podstawie badań laboratoryjnych, dotyczących stopnia zasiedlenia przez grzyby pleśniowe ziarna trzech odmian kukurydzy (II.D.13), wykazałam, że najmniejszą częstotliwość kolonizacji ziarniaków kukurydzy przez grzyby pleśniowe zaobserwowano w przypadku odmiany woskowej 'Waxy', należącej do podgatunku spp. *ceratina* (8,9%), a największą w przypadku kukurydzy zwyczajnej odmiany 'Dumka' (16,7%). Najwyższą liczebność grzybów pleśniowych zaobserwowano we wrześniu, a więc w fazie dojrzałości woskowej kukurydzy. Na podstawie przeprowadzonej identyfikacji grzybów porażających



badane odmiany kukurydzy wykazałam, że najczęściej izolowane grzyby należały do rodzajów *Fusarium*, *Cladosporium* i *Alternaria*. Stosunkowo mała częstotliwość zasiedlenia ziarniaków kukurydzy przez grzyby pleśniowe mogła być spowodowana warunkami atmosferycznymi panującymi w sezonie charakteryzującym się wysokimi temperaturami. Niemniej jednak obecność potencjalnie toksynotwórczych grzybów wskazała na konieczność kontroli upraw, a także poszukiwania bardziej efektywnych metod ochrony roślin przed grzybami pleśniowymi.

Na podstawie pogłębionej analizy mikrobiologicznej (II.A.3), z zastosowaniem techniki PCR wykazałam, że zwiększenie ilości opadów w sezonie wegetacyjnym istotnie zwiększyło zasiedlenie kolb kukurydzy grzybami z rodzaju *Fusarium* spp. Z *Fusarium* spp. zostały wyizolowane szczepy grzybów zidentyfikowanych na podstawie cech morfologicznych i specyficznych dla gatunku testów PCR. Łącznie pobrano 200 próbek kukurydzy, uzyskując 71 szczepów, które należały do pięciu gatunków *Fusarium*, wśród których dominującym był gatunek *F. poae* (74,56%). Inne izolaty zostały zidentyfikowane jako *F. graminearum*, *F. oxysporum*, *F. verticillioides* i *F. proliferatum*. Oparte na PCR wykrywanie genów szlaku syntezy mykotoksyn wykorzystano również do określenia potencjału analizowanych szczepów do wytwarzania trichothecenes (DON i NIV) i fumonizyn (FUM). Tylko 14 izolatów wykazało potencjał do produkcji DON (11 szczepów) i FUM (3 szczepy). Analizy HPLC próbek ziarna wykazały obecność tylko DON, a nie wykryto innych mykotoksyn. Ponadto 57,1% potencjalnie produkujących mikotoksyny izolatów wykazało toksyczność w teście biologicznym.

### **Porównanie potencjału produkcyjnego w uprawie soi**

Przewodnym celem badań dotyczących oceny potencjału produkcyjnego soi (II.D.32) było wykazanie możliwości uprawy soi niemodyfikowanej genetycznie jako źródła białka w zróżnicowanych warunkach glebowo-klimatycznych Polski. W badaniach wykazałam, że istotnie zróżnicowany potencjał roślin soi odmiany 'Merlin' zależy od wysokości roślin. Cecha ta determinowała liczbę strąków i nasion na roślinie czyli rola czynnika środowiskowego ujawniła się w istotny sposób. Wykazałam, że deficyt wody istotnie obniżał wysokość osadzenia pierwszego owocującego węzła. Ponadto wykazałam, że stres suszy ograniczał wzrost roślin soi, a w ślad za tym ich produktywność, co udowodniono w odniesieniu do warunków Wielkopolski (Pawłowice woj. wielkopolskie). Wyższe rośliny miały więcej strąków i nasion. Również skład chemiczny nasion zależał od warunków agroklimatycznych, stąd istotnie więcej białka ogółem zgromadziły nasiona soi zebrane w

południowej Polsce (miejscowość Grodziec Śląski, położona w południowej, podgórskiej części woj. Śląskiego). Na podstawie badań stwierdziłam, że konieczne jest rejonizowanie uprawy soi, uwzględniające warunki hydrologiczne kraju.

**Potencjał produkcyjny gatunków roślin przemysłowych** oceniłam na przykładzie maku i rzepaku ozimego oraz gorzycy białej. Analizując skutki beznakładowego czynnika agrotechnicznego jakim jest termin siewu maku (**II.D.9**) wykazałam, że opóźniony termin siewu odmiany 'Mieszko' istotnie obniżył zagęszczenie roślin na jednostce powierzchni. Z uwagi na słabą kompensację elementów składowych plonu, rośliny były mało produktywne. Wsiew maku w terminie optymalnym skutkowało zwiększoną liczbą makówek o większej masie nasion oraz słomy. U roślin maku wytwarzających dwie torebki 70% produktywności determinowały makówki zlokalizowane na pędzie głównym. Z roślin wykształcających trzy makówki około 50% plonu uzyskiwano z torebek pochodzących z pędów bocznych, natomiast z roślin wykształcających cztery makówki plon w znacznej części pochodził z pędów bocznych. Siew optymalny skutkowało wykształceniem roślin o sześciu makówkach, w których o plonie decydowały odgałęzienia boczne w 77%.

Oceniając plonowanie oraz kategorie wielkości łuszczyn rzepaku ozimego i gorzycy białej (**II.A.2**) wykazałam, że rzepak ozimy ma istotnie większy potencjał plonowania łuszczyn wykształconych na pędzie głównym w porównaniu z owocami z odgałęzień bocznych. W pracy eksperymentalnej, której celem było porównanie plonowania i architektury łanu rzepaku ozimego 'NK Petrol' i gorzycy białej 'Nakielska' wykazałam, że całkowita liczba łuszczyn wykształconych na odgałęzieniach bocznych jest znacznie większa niż w przypadku gorzycy białej. W przypadku obydwu gatunków odgałęzienia boczne w dużym stopniu przyczyniły się do zwiększenia produktywności każdej pojedynczej rośliny, ale w przypadku gorzycy białej wkład ten nie był tak oczywisty, jak w przypadku rzepaku. Rośliny rzepaku ozimego miały około 25% więcej łuszczyn na jednostkę łodygi w porównaniu z gorzycą białą. Łuszczyny rzepaku ozimego zawierały średnio 18,5 nasion. Masa nasion rzepaku ozimego była silnie i liniowo skorelowana z biomasą nasion ( $r = 0,974$ ). Jednakże długość łuszczyn u tych gatunków była słabo skorelowana z masą nasion w łuszczynie. Masa nasion z rośliny rzepaku ozimego była kilkakrotnie większa niż gorzycy białej i wyniosła odpowiednio 13,8 g lub 2,0 g. W przypadku pojedynczej rośliny rzepaku większy plon był związany z liczbą łuszczyn na odgałęzieniach bocznych, a następnie z wielkością łuszczyn. Łuszczyny w kategoriach bardzo duże, duże i średnie stanowiły 80,1% plonu nasion z rośliny. W przypadku gorzycy białej przeważały kategorie łuszczyn w

kolejności: małe, średnie i duże, stanowiąc 78,7% ogólnej produktywności.

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

1. Zwiększenie udziału bobiku w mieszance z owsem nagoziarnistym z 25% do 75%, w zależności od typu odmiany ('Olga' i 'Optimal'), skutkowało zwiększeniem plonowania bobiku odmiany samokończącej o 760 kg ha<sup>-1</sup> a odmiany tradycyjnej o 940 kg ha<sup>-1</sup>. Spośród porównywanych odmian bobiku lepszym komponentem do mieszanki z nagoziarnistym owsem okazała się odmiana tradycyjna 'Olga', której niski udział (25%) w wysiewie skutkowało wysokim plonem owsa (2,09 t ha<sup>-1</sup>), porównywalnym z uzyskanym w zasiewie czystym (2,36 t ha<sup>-1</sup>). Spośród porównywanych odmian bobiku uprawianych w czystym siewie większą powierzchnią asymilacyjną (LAI) odznaczała się samokończąca odmiana 'Optimal', co przełożyło się na uzyskanie nieco większego plonu nasion (1,82 t ha<sup>-1</sup>), w porównaniu z tradycyjną odmianą 'Olga' (1,76 t ha<sup>-1</sup>). Całkowity plon względny RYT we wszystkich mieszankach osiągnął wartość większą od jedności, co świadczy o komplementarnym wykorzystaniu limitowanych zasobów siedliskowych przez komponenty mieszankowe. Wysokie wartości współczynnika konkurencyjności ( $CR > 1$ ) wskazują na dominację bobiku w badanych mieszankach i jego silne konkurencyjne oddziaływanie względem owsa nagiego, co dowodzi, że o wartości plonotwórczej owsa w mieszance decyduje niski (25%) udział bobiku.
2. Pszenica była bardziej konkurencyjna ( $CR > 1$ ) w łanie mieszanym w porównaniu do lnu oleistego. Wartość CR zwiększała się wraz ze wzrostem udziału pszenicy w mieszance z lnem, a najwyższą wartość konkurencji ( $CR = 4,79$ ) osiągnęła przy udziale pszenicy wynoszącym 75%. Potwierdza to dodatni wskaźnik agresywności ( $A > 1$ ), który dowodzi wysokiej dominacji pszenicy w łanie mieszanym nad lnem oleistym. Wartość wskaźnika agresywności zwiększała się linearnie wraz ze wzrostem udziału pszenicy w mieszance. Największy stopień (3,34) agresywności względem lnu wykazała pszenica przy udziale 75%. Pomimo całkowitego zdominowania lnu przez pszenicę, obserwowano zwiększoną wartość współczynnika ekwiwalentu terenowego LER wraz ze wzrostem udziału zboża w mieszance (z 25% do 75%), który osiągnął wartość maksymalną w roku wilgotnym ( $LER = 3,86$ ). Wartość współczynnika  $LER > 1$  wskazuje, że mieszanka lnu oleistego z pszenicą znacząco lepiej wykorzystuje zasoby siedliska, a przez to areal jest lepiej wykorzystywany pod względem produkcyjnym.
3. Uprawa lnu w siewie mieszanym z wyką siewną lub grochem siewnym jest wartościową

opcją dla rolnictwa integrowanego lub ekologicznego z uwagi na walory jakościowe pozyskiwanego oleju lnianego. Uprawa lnu w siewie czystym jest bardziej opłacalna z uwagi na większe plony ( $2,49 \text{ t ha}^{-1}$ ) warunkowane brakiem negatywnych oddziaływań wewnątrzgatunkowych, jednak pod względem profilu kwasów tłuszczowych w oleju, staje się mniej korzystna.

4. Zasiew mieszany ozimych roślin zbożowych (żyto, pszenżyto, jęczmień, pszenica) w zróżnicowanym udziale (67:33; 50:50) jest efektywną opcją agrotechnologiczną dla rolnictwa integrowanego. Siew mieszany zbóż skutkował istotnie większym plonem ziarna (o  $0,94 \text{ t ha}^{-1}$ ), w porównaniu z zasiewami jednogatunkowymi, zwłaszcza w latach o mniej korzystnym rozkładzie opadów. Zaproponowany równy udział (50:50) wysiewu żyta z jęczmieniem lub różny udział (67:33) wysiewu pszenicy i pszenżyta stanowił istotny czynnik zwiększenia plonu ziarna z jednostki powierzchni.
5. Zaproponowane dla praktyki rolniczej mieszanki zbóż ozimych, mogą dostarczyć wysokie plony ziarna paszowego, stanowiąc alternatywę dla kukurydzy. Jednak dobór gatunków oraz ich udział w wieloskładnikowej mieszance zbożowej ma istotny wpływ nie tylko na wielkość plonu, ale również na kompozycję składu gatunkowego plonu. Obecność żyta w mieszance dwugatunkowej przy zachowaniu 50% udziałów każdego komponentu w mieszance, wskazała na dominację tego gatunku w łanie. Natomiast w mieszance trójgatunkowej większy udział żyta w mieszance (50%) spowodował zwiększenie dominacji tego zboża w łanie nad pozostałymi gatunkami. W mieszance trzyskładnikowej niski, bo stanowiący 25% udział pszenżyta zwiększał konkurencję żyta względem pszenicy. Natomiast zwiększenie udziału pszenżyta do 50% przyczyniło się do dominacji tego gatunku w łanie takiej agrofitycenozy. Pszenica nigdy nie wykazała dominacji w łanie mieszanym, pomimo zwiększenia jej udziału do 50%. Zarówno w mieszance dwugatunkowej jak i trzygatunkowej wykazywała słabą konkurencję, a jej udział w plonie końcowym był niewielki.
6. Siew trzygatunkowy pszenicy łącznie z żytem i pszenżytem zmniejszył istotnie porażenie roślin tego gatunku przez septoriozę liści i plew (*Septoria nodorum*), fuzaryjną zgorzel podstawy źdźbła i korzeni zbóż (*Fusarium* spp.) oraz wykazał tendencję do nasilonego występowania rdzy brunatnej (*Puccinia recondita*) na liściach.
7. Straty plonu słomy spowodowane wysokością cięcia roślin w czasie zbioru żniwnego (15 cm) są większe w przypadku jęczmienia jarego (31%), natomiast najmniejsze w formach

ozimej (22%) i jarej (24%) pszenicy. Wzrost wysokości cięcia pszenicy ozimej wywołał straty w plonie słomy wynoszące  $0,1 \text{ t ha}^{-1}$  na każdy 1cm słomy pozostawionej na polu. Jęczmień ozimy charakteryzował się najmniejszymi stratami plonu słomy wynikającymi ze wzrostu wysokości cięcia. Przyjęcie wysokości cięcia powyżej 20 cm wywołuje straty w kaloryczności słomy zbóż. Ozime rośliny zbożowe (pszenica, pszenżyto) akumulowały więcej energii w czterech pierwszych międzywęźlach. Pomimo ewidentnych różnic morfologicznych w budowie źdźbła porównywanych zbóż wartość energetyczna ich plonu słomy była podobna.

8. Masa ziarniaka kukurydzy, bez względu na typ ziarniaka (*flint* lub *dent*) i sposób nawożenia, jest wysoce skorelowana z masą zarodka. Masa ziarniaka i masa zarodka znacząco determinuje wielkość plonu oleju kukurydzianego z jednostki powierzchni. Olej z zarodków kukurydzy charakteryzuje się wysokim udziałem kwasu linolowego w profilu kwasów tłuszczowych. O zdrowotności ziarniaków kukurydzy decyduje dobór odmian do uprawy. Największe zasiedlenie ziarniaków kukurydzy przez grzyby pleśniowe stwierdza się w kukurydzy zwykłej, odmiany 'Dumka' (16,7%), natomiast najmniejsze w kukurydzy woskowej odmiany 'Waxy' (8,9%).
9. W warunkach Wielkopolski deficyt wody w czasie lata skutkuje istotnym obniżeniem wysokości osadzenia pierwszego owocującego węzła, produktywności i produktywności soi. Skład chemiczny nasion zależy od warunków agroklimatycznych, stąd istotnie więcej białka ogółem gromadzą nasiona soi zebrane w rejonie Polski południowej, charakteryzującej się większymi opadami w czasie wzrostu i rozwoju nasion. Na podstawie badań stwierdziłam, że w kraju konieczne jest rejonizowanie uprawy soi, uwzględniające warunki hydrologiczne i termiczne kraju.
10. Rzepak ozimy ma istotnie większy potencjał plonowania łuszczyń wykształconych na pędzie głównym, w porównaniu z tymi z odgałęzień bocznych. Natomiast analizując produktywność pojedynczej rośliny stwierdza się znacząco większy wkład łuszczyń wykształconych z odgałęzień bocznych na plon nasion z rośliny. Ma również znaczenie wielkość łuszczyzny zależna od zwiększonej liczby nasion. Masa nasion rzepaku ozimego jest silnie i liniowo skorelowana z biomasa łuszczyń ( $r = 0,974$ ). Łuszczyzny w kategoriach bardzo duże, duże i średnie, stanowiły 80,1% plonu nasion z rośliny. Rokowania co do hodowli rzepaku wskazują na konieczność uzyskania roślin o dorodniejszych owocach (bardzo duże, duże i średnie). Wkład łuszczyń małych jest niewielki, aczkolwiek dziś przy omawianiu struktury plonu uwzględnia się wszystkie łuszczyzny.

## Podsumowanie bibliometryczne osiągniętego dorobku publikacyjnego

Mój dotychczasowy dorobek naukowy składa się z **53** oryginalnych publikacji w recenzowanych czasopismach naukowych, z czego **17** prac naukowych mojego dorobku zostało opublikowanych w czasopismach z bazy JCR, a ich łączny IF zgodnie z rokiem opublikowania wynosi **24,792**. Są to czasopisma: European Journal of Agronomy, Field Crop Research, Ecological Modelling, Journal of Natural Fibers, Romanian Agricultural Research, Applied Botany and Food Quality, International Agrophysics, Phytoparasitica. Ponadto jestem współautorem sześciu prac przeglądowych.

Dotychczasowy dorobek naukowy przedstawiłam w tabeli 4.

Tabela 4. Dane bibliometryczne osiągniętego dorobku naukowego przed i po doktoracie

Wyszczególnienie	Przed doktoratem			Po doktoracie			Łącznie		
	liczba	pkt. MNiSW	IF	liczba	pkt. MNiSW	IF	liczba	pkt. MNiSW	IF
<b>Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego</b>				<b>8</b>	<b>181</b>	<b>7,150</b>	<b>8</b>	<b>181</b>	<b>7,150</b>
Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie JRC				13	335	17,642	13	335	17,642
Publikacje naukowe w czasopismach innych niż znajdujące się w bazie JRC				26	213		26	213	
Publikacje naukowe w czasopismach recenzowanych, które nie znalazły się na liście czasopism punktowanych MNiSW.	6						6		
<b>RAZEM</b>	<b>6</b>			<b>47</b>	<b>729</b>	<b>24,792</b>	<b>53</b>	<b>729</b>	<b>24,792</b>

Zgodnie z załącznikami komunikatu MNiSW w sprawie wykazu czasopism naukowych z dnia 31 grudnia 2014 r. łączna punktacja mojego dorobku naukowego wynosi **729** pkt. Po wyłączeniu **8** prac wchodzących w skład przedstawianego osiągnięcia naukowego mój pozostały dorobek naukowy stanowi **45** prac naukowych o łącznym IF **17,642** i punktacji wg MNiSW **548** pkt. Według bazy Web of Science h-indeks prac z mojego dorobku naukowego wynosi obecnie **4**.

Pozostałe osiągnięcia w zakresie pracy naukowej, dydaktycznej, popularyzatorskiej i organizacyjnej zostały przedstawione w załączniku 3 do niniejszego wniosku.

Kraków, 23.05.2018 r.

*Agnieszka Klimul-Kojan*  
Podpis Wnioskodawcy