

Dr inż. Stanisław Marek Samborski
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Wydział Rolnictwa i Biologii
Katedra Agronomii

AUTOREFERAT¹

Warszawa, 2016

1 – autoreferat przygotowano zgodnie z wzorem zamieszczonym na stronie internetowej Centralnej Komisji do Spraw Stopni i Tytułów: http://www.ck.gov.pl/images/PDF/komunikaty/wzor_autoreferat.pdf

1. Imię i nazwisko: Stanisław Marek Samborski

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej:

19.03.2003 – uzyskanie stopnia naukowego doktora nauk rolniczych w zakresie agronomii, Wydział Rolniczy (obecnie Wydział Rolnictwa i Biologii), Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Rozprawa doktorska pt.: „Wykorzystanie pomiaru zawartości chlorofilu do diagnozowania stanu odżywienia azotem roślin pszenżyta ozimego”, przygotowana pod kierunkiem Prof. dr hab. Jana Rozbickiego, w ówczesnej Katedrze Szczegółowej Uprawy Roślin.

1999 – 2003 – uczestnik dziennych studiów doktoranckich w specjalności: "Biologiczne podstawy rolnictwa i ochrony środowiska" na Wydziale Rolniczym, w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

1997 – 1998 – roczne studium pedagogiczne realizowane na Wydziale Ekonomiczno-Rolniczym w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Świadectwo uprawniające do nauczania w szkołach wszystkich typów.

1993 – 1998 – 5-letnie jednolite studia magisterskie, realizowane na Wydziale Rolniczym, w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Uzyskanie tytułu zawodowego magistra inżyniera rolnictwa w zakresie agrotechniki.

1988 – 1993 – 5-letnie Technikum Rolnicze w Bujnach, k. Piotrkowa Trybunalskiego. Świadectwo ukończenia szkoły uprawniające do wykonywania zawodu technik rolnik o specjalności uprawa roślin i hodowla zwierząt.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:

01.11.2004r. – obecnie – adiunkt, Katedra Agronomii, Wydział Rolnictwa i Biologii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

01.07.2003r. – 31.10.2004r. – asystent, Katedra Agronomii, Wydział Rolnictwa i Biologii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

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

a) Tytuł osiągnięcia naukowego:

„Optymalizacja nawożenia zmienną dawką azotu pszenicy ozimej, z wykorzystaniem aktywnych czujników optycznych”

b) Publikacje stanowiące osiągnięcie naukowe:

1. Samborski S., Tremblay N., Fallon E., 2009. Strategies to make use of plant sensors-based diagnostic information for nitrogen recommendations. *Agronomy Journal*. 101:800-816. (IF₂₀₀₉=1,416, MNiSW₂₀₀₉=24 pkt, udział 65%).
2. Samborski S., Gozdowski D., Walsh O. S., Lamb D., Stępień M., Gacek E.S., Drzazga T., 2015. Winter wheat genotype effect on canopy reflectance: implications for using the NDVI for in-season nitrogen topdressing recommendations. *Agronomy Journal*. 107, 2097-2106. (IF₂₀₁₅=1,464, MNiSW₂₀₁₅=35 pkt, udział 65%).
3. Stępień M., Samborski S., Gozdowski D., Dobers E.S., Chormański J., Szatyłowicz J., 2015. Assessment of soil texture class on agricultural fields using ECa, NDVI and topographic properties. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 178, 523-536. (IF₂₀₁₅=1,816, MNiSW₂₀₁₅=25 pkt, udział 30%).
4. Samborski S., Gozdowski D., Stępień M., Walsh O. S., Leszczyńska E., 2016. On-farm evaluation of an active optical sensor performance for variable nitrogen application in winter wheat. *European Journal of Agronomy*. 74, 56-67. (IF₂₀₁₅=3,186, MNiSW₂₀₁₅=40 pkt, udział 65%).

Łączna wartość naukomeryczna publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe, według wykazów MNiSW, zgodnie z rokiem opublikowania artykułów, wynosi 124 punkty. Sumaryczny współczynnik wpływu (ang. *Impact Factor*), ww. publikacji, według Journal Citations Reports, zgodnie z rokiem opublikowania artykułów, wynosi 7,882.

Oświadczenia współautorów ww. artykułów naukowych, wraz z określeniem ich indywidualnego wkładu w ich powstanie, stanowi załącznik 5.

c) Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich wykorzystania

Wstęp

W roku 2014 pszenica ozima stanowiła 44,8% produkcji zbóż (150 mln ton) w Unii Europejskiej (UE) i była uprawiana na łącznej powierzchni 26,8 mln hektarów (Eurostat 2014), zużywając około 25% całej ilości nawozów azotowych stosowanych w UE (Sutton i in. 2011). Nawozy te są czynnikiem bardzo plonotwórczym, a do ich produkcji w UE zużywa się około 50% paliw kopalnych wykorzystywanych w rolnictwie. Natomiast efektywność wykorzystania składników pokarmowych z nawozów, w tym azotu, jest bardzo niska (European Parliament 2015/2225(INI)). Dlatego też poprawa stopnia wykorzystania azotu z nawozów staje się coraz ważniejszym elementem polityki UE związanej z ochroną

środowiska (Sutton i in. 2011). Podstawowe założenia dotyczące ochrony wód przed zanieczyszczenia azotanami ze źródeł rolniczych, zostały opracowane już w dyrektywie azotanowej z 1991 roku (Dyrektywa Rady 91/676/EWG). Aktualne regulacje prawne UE dotyczące Wspólnej Polityki Rolnej (Regulacja Nr 1305/2013) kładą nacisk na działania, które pozwolą na bardziej zrównoważone wykorzystanie środków produkcji w rolnictwie (Zarco-Tejada i in. 2014). Jako jedno z rozwiązań technologicznych na rzecz rozwoju rolnictwa zrównoważonego w raporcie Parlamentu Europejskiego z 7 czerwca 2016r., wymienia się wdrażanie narzędzi rolnictwa precyzyjnego (European Parliament 2015/2225(INI)). Ten system rolnictwa, jak podaje pierwsza jego definicja (US House of Representatives 1997), *to produkcja opierająca się na łączeniu różnych źródeł informacji tak, aby w długim przedziale czasu zwiększyć efektywność wykorzystania środków produkcji, wydajność i dochodowość w obrębie poszczególnych pól i całego gospodarstwa. Przy jednoczesnym ograniczeniu niezamierzonego wpływu na dziką zwierzynę i środowisko.* W poradniku dotyczącym wykorzystania wybranych narzędzi rolnictwa precyzyjnego w uprawie pszenicy ozimej, rolnictwo precyzyjne definiujemy jako: *system rolnictwa w którym poszczególne obszary – „strefy produkcyjne” – pola uprawnego traktowane są z różnym nakładem środków produkcji: dawki nawozów i środków ochrony roślin, wielkość dawki polewowej przy nawadnianiu, gęstość siewu czy sadzenia* (Samborski i in. 2016). Taki sposób stosowania środków produkcji ma zapewnić lepsze dostosowanie ich dawki do aktualnych potrzeb roślin i zasobności gleby w składniki pokarmowe na danym obszarze pola, a zatem zwiększyć efektywność ich wykorzystania.

W Europie pszenica ozima zazwyczaj nawożona jest pogłównie dwoma lub trzema dawkami azotu w ciągu całego sezonu wegetacyjnego. Nawożenie to przypada najczęściej na stadia rozwojowe od krzewienia do widocznego liścia flagowego, znacznie rzadziej do stadium dojrzałości mleczonej ziarna, gdy stosowane jest dolistne nawożenie roztworem mocznika. Optymalna dawka azotu może znacznie różnić się pomiędzy polami, jak i w obrębie jednego pola, co w przypadku tego drugiego, daje duże możliwości stosowania tzw. zmiennej dawki azotu z wykorzystaniem narzędzi rolnictwa precyzyjnego (Kitchen i in. 2010).

Stosowanie zmiennej dawki azotu to dostosowanie dawki tego składnika do aktualnego, zróżnicowanego w obrębie pola uprawnego, zapotrzebowania roślin na azot. Taki sposób nawożenia azotem uznaje się za uzasadniony, gdy niepewność odnośnie ilości azotu dostępnego dla roślin z gleby jest duża (Schepers i Shanahan, 2009; Kitchen i in. 2010), co jest wynikiem zróżnicowanego stopnia mineralizacji glebowej materii organicznej i strat azotu w obrębie pól (Schepers i Shanahan 2009). Stosując stałą, jednolitą dawkę azotu na całej powierzchni pola nie bierzemy pod uwagę zróżnicowanej przestrzennie: ilości mineralnego azotu glebowego dostępnego dla roślin, pobrania azotu przez rośliny i reakcji roślin na zastosowany nawóz azotowy (Inman i in. 2005), ani zróżnicowanego potencjału plonowania w obrębie pola, który wynika głównie ze stosunków powietrzno-wodnych gleby. Dlatego też stosowanie stałej dawki azotu może prowadzić do strat tego składnika, a następnie negatywnego wpływu azotu na środowisko. Jednak świadomość zróżnicowanej w obrębie pola dostępności azotu dla roślin, objawiająca się w postaci różnego zagęszczenia i koloru łanu roślin, jeśli założyć, że azot jest głównym czynnikiem ograniczającym plony na danym polu, jest wśród rolników dość powszechna.

Roślina, jej kolor i gęstość łanu, jest często rozpatrywana, jako najlepszy naturalny wskaźnik dostępności i pobrania azotu, ponieważ aktualna zawartość azotu w roślinie jest wynikiem współdziałania pomiędzy różnymi czynnikami. Zaliczyć do nich można

w szczególności: ilość azotu mineralnego w glebie, mineralizację glebowej materii organicznej, ilość wody dostępnej dla roślin, szybkość wzrostu korzeni, efektywność pobierania azotu przez rośliny i przebieg warunków pogodowych (Samborski i in. 2009).

Czujniki optyczne umożliwiają bliską (ang. *proximal*), bez bezpośredniego kontaktu z rośliną, ocenę zróżnicowania wigoru, zieloności i gęstości łanu roślin, czyli ilości aktywnej fotosyntetycznie biomasy (ang. *photosynthetically active biomass* – PAB, Fitzgerald i in. 2010). PAB jest miernikiem tempa wzrostu roślin, ilości azotu w roślinie oraz pośrednio wskaźnikiem zapotrzebowania roślin na ten składnik. Czujniki optyczne mierzą ilość światła odbitego od łanu w zakresie określonej długości fal. Na podstawie tej informacji w czasie rzeczywistym wyliczane są tzw. wskaźniki wegetacyjne (ang. *vegetation indices* – VI), charakteryzujące stan łanu roślin, czyli PAB.

Przydatność tych czujników, do zdalnej oceny stanu roślin, zależy od tego jak dobrze wynik wyjściowy z czujnika koreluje z ocenianą właściwością roślin (Pena-Yewtukhiw i in. 2015). Zatem do praktycznego wykorzystania czujników optycznych konieczna jest ich kalibracja, czyli odniesienie wartości wskaźnika wegetacyjnego do określonej właściwości roślin. W przypadku wykorzystania czujników optycznych do nawożenia zmienną dawką azotu, jest to najczęściej kalibracja wskaźnika wegetacyjnego w odniesieniu do pobrania azotu przez rośliny, wykorzystując równania regresji (Erdle i in. 2011, Winterhalter i in. 2012, Gnyp i in. 2015). Taki sposób kalibracji pozwala na wyliczenie ilości azotu jaką rośliny pobrały przy określonej wartości wskaźnika wegetacyjnego. Podczas oceny stanu łanu roślin i jednoczesnego wysiewu nawozów azotowych, wartość wskaźnika wegetacyjnego jest, przy użyciu algorytmu, na bieżąco przeliczana przez oprogramowanie na dawkę azotu (Samborski i in. 2009). Do najczęściej stosowanych wskaźników wegetacyjnych przy wysiewie zmiennej dawki azotu należy znormalizowany różnicowy wskaźnik wegetacji (ang. NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*, Rouse i in. 1973). W stadium początku strzelania w źdźbło pszenicy, przy niższych wartościach NDVI (rzadszy i mniej zielony łan) stosowana jest zazwyczaj wyższa dawka azotu, co ma na celu ograniczenie redukcji liczby pędów roślin i uzyskanie wysokiej liczby ziaren w kłosie. Przy nawożeniu azotem w stadium widocznego liścia flagowego, zazwyczaj stosowany jest odwrotny trend nawożenia zmienną dawką azotu. Przy wysokich wartościach NDVI (gęstszy i bardziej zielony łan) dawka azotu jest zwiększana, co ma wpływać korzystnie na wypełnienie ziarna i zawartość białka (Heege i in. 2008). Zastosowanie czujników optycznych umożliwia wysiew zmiennej dawki azotu na dowolnie dużych polach uprawnych, w czasie rzeczywistym, tzn. ocena stanu roślin odbywa się w tym samym czasie, co wysiew nawozu. Jest to możliwe, jeśli posiadamy rozsiewacz dostosowany do wysiewu zmiennej dawki azotu, komputer z oprogramowaniem rejestrującym wartości wskaźnika wegetacyjnego i przeliczającym je na zmienną dawkę azotu oraz komputer sterujący ilością wysiewu nawozu. Obecnie najczęściej stosowane są aktywne czujniki optyczne posiadające detektory światła odbitego oraz własne źródło promieniowania emitowanego przez diody, które w odróżnieniu od czujników biernych, oświetlają powierzchnię łanu roślin. Zaletą tych czujników jest możliwość ich użycia do wysiewu zmiennej dawki azotu, przy bardzo różnych warunkach oświetlenia (np. bezchmurne niebo, zmierzch, mgła), z jednakowo dobrą skutecznością (Barker i Sawyer 2013; Kipp i in. 2014).

Właściwości spektralne światła odbitego od łanu roślin pszenicy, mierzone przy użyciu czujników optycznych, jak podają Raper i in. (2013), mają potencjał dostarczania informacji o stanie odżywienia roślin azotem w czasie rzeczywistym. Jednak aktywne czujniki optyczne nie są powszechnie wykorzystywane w praktyce rolniczej do nawożenia zbóż zmienną dawką

azotu. Wynika to z jednej strony z wciąż dość wysokiej ceny, z drugiej zaś z ograniczeń, jakie wiążą się z ich wykorzystaniem oraz z braku wyników badań, które wyraźnie udowodniałyby zalety zastosowania czujników optycznych w praktyce rolniczej.

Cel badań

Celem badań cyklu publikacji powiązanych tematycznie, stanowiących moje osiągnięcie naukowe było określenie:

w I etapie:

- I. Możliwości i ograniczeń związanych z wykorzystaniem czujników optycznych do oceny stopnia odżywienia roślin azotem i nawożenia zmienną dawką azotu pszenicy ozimej. Jak również wyznaczenie przyszłościowych kierunków badań, które pozwoliłyby na usprawnienia w tym zakresie (**praca nr I**).

w II etapie, w oparciu o obszerne badania polowe uzyskanie odpowiedzi na następujące zagadnienia:

- II. Wpływ odmiany pszenicy ozimej na wartość wskaźników wegetacyjnych określających zieloność, wigor i gęstość łanu roślin (**praca nr II**),
- III. Wykorzystanie informacji o wartości wskaźnika wegetacyjnego – bursztynowego NDVI, do oceny zróżnicowania uziarnienia gleby w obrębie pól uprawnych pszenicy ozimej (**praca nr III**),
- IV. Efektywność stosowania zmiennej dawki azotu, z użyciem aktywnych czujników optycznych, w obrębie dużych pól uprawnych pszenicy ozimej (**praca nr IV**).

I. Możliwości i ograniczenia związane z wykorzystaniem czujników optycznych do oceny stopnia odżywienia roślin azotem i nawożenia zmienną dawką azotu pszenicy ozimej. Jak również wyznaczenie przyszłościowych kierunków badań w tym zakresie

Ta część mojej pracy naukowej miała charakter poznawczy i obejmowała napisanie bardzo obszernego przeglądu literatury naukowej oraz określenie zakresu badań polowych wykonanych w ramach etapu II. Inspiracją do napisania artykułu przeglądowego było:

- ✓ dobre rozpoznanie zagadnień związanych z wykorzystaniem chlorofilometru SPAD-502 (Konica Minolta, Tokio, Japonia), do oceny stanu odżywienia azotem, przedstawione w dwóch pracach przeglądowych, których jestem głównym autorem: Samborski i Rozbicki (2002 oraz 2004),
- ✓ potrzeba wykonania kompleksowego przeglądu literatury naukowej z zakresu wykorzystania urządzeń, które mogą dokonywać zdalnej oceny stanu odżywienia roślin azotem, z dużą wydajnością, rozdzielczością przestrzenną (liczba pomiarów na jednostce powierzchni) i czasową (kilkakrotnie w jednym sezonie wegetacyjnym) na dużych obszarach pól, czego nie umożliwia chlorofilometr SPAD-502.

Główne wnioski wynikające z wykonanego przeglądu literatury:

Bardzo ważnym założeniem, przy stosowaniu czujników optycznych do wysiewu zmiennej dawki azotu, jest pewność, że to azot w zdecydowanie największym stopniu, a nie żadne inne czynniki (np. dostępność wody, podtopienia, odczyn gleby, uszkodzenia powodowane przez mróz, herbicydy, choroby i szkodniki czy zachwaszczenie), decyduje o zieloności i gęstości ładu roślin. Występowanie tych czynników w obrębie pola, może uniemożliwić uzyskanie jakichkolwiek korzyści ze stosowania zmiennej dawki azotu, gdyż zarejestrowane wartości wskaźników wegetacyjnych nie będą odzwierciedlały faktycznego stanu odżywienia roślin azotem, a raczej zróżnicowany stan ładu roślin (kolor, zagęszczenie) wynikający z oddziaływania ww. czynników (Franzen i in., 2016).

Większość badań, jakie przeprowadzono na świecie z użyciem chlorofilometru SPAD-502 do oceny stanu odżywienia roślin azotem dotyczyło zagadnień związanych z samym wykonaniem pomiarów. Tylko w kilku przypadkach opracowano algorytmy nawożenia azotem zbóż z wykorzystaniem chlorofilometru SPAD-502, ale ich zastosowanie było ograniczone do warunków podobnych, w jakich wykonano badania.

Chlorofilometr SPAD-502 i jego wersja komercyjna HNT – „Hydro N Tester” (Yara International ASA, Oslo, Norwegia), jest zalecany do wykorzystania w gospodarstwach, jako narzędzie pomocnicze przy ustalaniu dawki azotu. Jednak ewentualne korzyści wynikające z jego stosowania, tj. oszczędność na ilości zastosowanych nawozów azotowych, wzrost plonów ziarna, ograniczenie strat azotu, nie były zazwyczaj badane w doświadczeniach wykonywanych w gospodarstwach.

Czujniki optyczne montowane na wysięgnikach przy ciągnikach, czy na ramach opryskiwaczy lub rozsiewaczy pneumatycznych, w przeciwieństwie do urządzeń typu chlorofilometr, mają możliwości rejestrowania właściwości roślin w czasie rzeczywistym z bardzo dużą rozdzielczością przestrzenną. Jednak upowszechnienie wykorzystania czujników optycznych w praktyce rolniczej musi być poprzedzone wyeliminowaniem ich obecnych ograniczeń, takich jak: jednolitość modulowanego promieniowania w obrębie oświetlanej powierzchni roślin, kształt i wielkość tej powierzchni oraz zakłócenia elektroniki czujników.

W owym czasie (2009r.) wykorzystanie pasów nawożonych dużymi dawkami azotu, (ang. *N-rich strip*), nieograniczającymi wzrostu i rozwoju pszenicy, do kalibracji czujników optycznych, na potrzeby nawożenia zmienną dawką azotu było, ze względu na łatwość wykonania, rozwiązaniem najczęściej spotykanym. Aczkolwiek posiada ono swoje ograniczenia, ze względu na trudność właściwego umiejscowienia pasa nawożonego dużą dawką azotu w obrębie pola uprawnego, co wynika ze zmienności przestrzennej pól. Dlatego też, w powyższym artykule zaleciliśmy dwa rozwiązania. Pierwsze to umiejscowienie ww. pasa tak, aby obejmował on rejony pola o możliwie jak najbardziej różnych typach gleb i warunkach uprawy. Takie podejście pozwalałoby na uzyskanie średniej wartości wskaźnika wegetacyjnego dla tego obszaru pola i określenie dla tej wartości wskaźnika, średniej dla całego pola, dawki azotu. Drugi sposób kalibracji czujnika optycznego z wykorzystaniem *N-rich strip* to założenie, odrębnych pasów *N-rich strip* na różnych typach gleb w obrębie tego samego pola. Następnie na podstawie średnich wartości wskaźników wegetacyjnych zmierzonych dla tych obszarów pól, określenie dla każdego obszaru pola, o innym typie gleby, odrębnej zalecanej dawki azotu.

W zakresie dokładniejszej oceny zmienności glebowej pól i przez to ułatwienie wyboru miejsca na polu, gdzie umiejscawiane byłyby pasy do kalibracji czujników, zaproponowano wykorzystanie następujących źródeł informacji przestrzennej: zdjęcia lotnicze, mapy

glebowe, mapy przewodności elektrycznej gleby oraz mapy plonów pozyskane z wielu sezonów wegetacyjnych. Uznano ponadto, że większość dokładność przy formułowaniu zaleceń nawożenia azotem, można by uzyskać łącząc dane dotyczące aktualnego stanu rośliny, gleby i spodziewanych plonów ziarna. Zauważano również, że aby lepiej określić: możliwy przyrost biomasy roślin między kolejnymi terminami nawożenia azotem, pobranie azotu z plonem biomasy i dawki tego składnika, ważnym jest uwzględnienie aktualnych dla danego pola warunków pogodowych. W szczególności sumy temperatur efektywnych i wilgotności gleby, jako czynników, których uwzględnienie może poprawić zdolność przewidywania pobrania azotu z plonem ziarna w oparciu o pomiar wskaźników wegetacyjnych (Bushong i in. 2016).

W podsumowaniu artykułu określono obszary badań jakie uznano za bardzo istotne i przyszłościowe, jeśli chodzi o ocenę stanu odżywienia roślin azotem:

- ✓ łączne wykorzystanie metod, których działanie jest oparte o pomiar fluorescencji i ilości światła odbitego od powierzchni łanu roślin,
- ✓ łączenie informacji o dostępności azotu glebowego dla roślin z oceną w czasie rzeczywistym właściwości roślin, aby dokładniej dostosować dawkę azotu do potrzeb roślin,
- ✓ włączenie do algorytmów wyliczania zmiennej dawki azotu informacji o ilości wody dostępnej dla roślin, gdyż ta w dużym stopniu decyduje o możliwości pobrania azotu przez rośliny,
- ✓ stworzenie systemów nawożenia zmienną dawką azotu, gdzie ilość dawkowanego płynnego nawozu azotowego, przez każdą sekcję opryskiwacza, mogłaby być zróżnicowana. Propozycja takiego rozwiązania wynika z faktu, że na polach obserwujemy zróżnicowanie stanu odżywienia roślin azotem, nie tylko wzdłuż ścieżek technologicznych, ale również wzdłuż szerokości roboczej rozsiewacza czy opryskiwacza,
- ✓ opracowanie metod kalibracji czujników optycznych łatwych do wykonania przez rolników, co mogłoby upowszechnić wykorzystanie systemów nawożenia zmienną dawką azotu w praktyce,
- ✓ upowszechnienie wykonywania badań, z zakresu rolnictwa precyzyjnego w gospodarstwach, ponieważ korzyści ekonomiczne stosowania tego systemu rolnictwa zależą od zmienności przestrzennej pól w danym rejonie,
- ✓ wykonywanie analiz opłacalności wykorzystania czujników optycznych do nawożenia roślin zmienną dawką azotu, gdyż tylko wykazanie wyraźnych korzyści wynikających z ich stosowania, może upowszechnić wdrażanie tych rozwiązań.

Artykuł przeglądowy, którego jestem głównym autorem, bardzo obszernie obejmuje zagadnienia związane z zakresem, możliwościami i ograniczeniami wykorzystania urządzeń optycznych do oceny stopnia odżywienia roślin azotem i nawożenia zmienną dawką azotu. Obszerny i wnikliwy opis ww. zagadnień zaowocował bardzo licznymi cytowaniami mojego artykułu. Obecnie według bazy *Web of Science Core Collection* jest to 88 cytowań, bez uwzględniania autocytowań. Według tej samej bazy artykuł ma miano wysoce cytowanego²

² As of January/February 2016, this highly cited paper received enough citations to place it in the top 1% of its academic field based on a highly cited threshold for the field and publication year. Data from Essential Science IndicatorsSM

II. Wpływ odmiany pszenicy ozimej na wartość wskaźników wegetacyjnych określających zieloność, wigor i gęstość łanu roślin

Aktywne czujniki optyczne wykorzystywane do oceny stanu odżywienia roślin azotem, najczęściej emitują wiązki światła czerwonego (lub bursztynowego) i podczerwieni. W przypadku światła czerwonego czy bursztynowego mała jego ilość jest odbijana od powierzchni bujnego łanu roślin, co związane jest z jego pochłanianiem przez chlorofil, na potrzeby fotosyntezy. Natomiast duża ilość światła podczerwonego odbijana jest przez bujny łan roślin ze względu na jego rozproszenie pomiędzy komórkami roślin, w mezofilowej warstwie liścia. Do ilościowej, łącznej oceny stopnia odbicia światła w ww. zakresach wykorzystuje się, wskaźniki wegetacyjne. Wzrokowa ocena zieloności (pośredni pomiar ilości chlorofilu) i gęstości roślin wskazuje, że wartości tych samych wskaźników wegetacyjnych, roślin pszenicy uprawianej w tych samych warunkach, mogą być zależne od odmiany rolniczej. Do odmianowych właściwości łanu roślin pszenicy zaliczyć można: grubość liści, zawartość chlorofilu (Stone i in. 1996; Hoel 1998; Wollring i in. 1998; Balasubramanian i in. 2000; Fotyma i Fotyma 2002), występowanie nalotu woskowego na liściach (Samborski i in. 2009). Ponadto, ustawienie liści względem padającego światła słonecznego, może wpływać na rozmieszczenie chlorofilu w chloroplastach (Zhao i in. 2010), którego zawartość zmniejsza się od powierzchni do spodu łanu pszenicy (Huang i in. 2011). Obie właściwości związane z rozmieszczeniem chlorofilu w roślinie mogą wpływać na wartości znormalizowanego różnicowego wskaźnika zieleni.

W literaturze naukowej podawane są sprzeczne ze sobą wyniki badań, co do wpływu odmiany pszenicy na wartości wskaźników wegetacyjnych (np. Sembiring i in. 2000; Jasper i in. 2006). Nie ma również systematycznych wyników badań, które pozwalałyby zrozumieć jak uprawa tej samej odmiany pszenicy ozimej w zróżnicowanych warunkach (np. temperatury powietrza, opadów, typów gleb) rzutuje na wartości znormalizowanego różnicowego wskaźnika wegetacji. Ponadto wartości NDVI mierzonego w zakresie światła czerwonego i podczerwieni wysycają się, tj. nie zwiększają się w warunkach bardzo bujnych, o dużej powierzchni liściowej, łanów roślin, co może ograniczać wykorzystanie tak mierzonego wskaźnika NDVI, w późniejszych stadiach rozwojowych pszenicy (Erdle i in. 2011; Shaver i in. 2011).

Rozwiązaniem podawanym w literaturze, które może ograniczać wpływ odmiany niektórych zbóż, w tym pszenicy ozimej, na wartości odczytów z chlorofilometru – „Hydro N Tester” jest opracowanie typowych dla danej odmiany, tzw. współczynników korekcyjnych (Link i in. 2002). Współczynnik ten to stała niemianowana wartość, o którą różnią się odczyty z chlorofilometru dla poszczególnych odmian, w odniesieniu do wartości z chlorofilometru dla odmiany, którą uznano za punkt odniesienia. Współczynniki korekcyjne, opracowane dla odczytów z chlorofilometru – „Hydro N Tester”, są następnie uwzględniane przy kalibracji czujnika optycznego Yara N-sensor (Link i in. 2002). Wykorzystanie tego czujnika do wysiewu zmiennej dawki azotu oparte jest na rejestracji wskaźników wegetacyjnych. Opracowanie współczynników korekcyjnych wymaga wielu lat badań, ale warunki pogodowe, które oddziałują na wzrost i rozwój łanu roślin, czyli morfologię rośliny, w danym sezonie wegetacyjnym, już po wykonaniu oceny stanu odżywienia roślin azotem, z użyciem chlorofilometru, nie są brane pod uwagę (Samborski i in. 2009).

Wyliczenia współczynników korekcyjnych dla odczytów z chlorofilometru SPAD-502 wykonałem dla odmian pszenżyta ozimego, w oparciu o dane pochodzące z mojej pracy doktorskiej (Samborski i in. 2008, strona 39). Wyniki tych badań (*nie włączone do cyklu publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe*) wykazały, że odmiany pszenżyta ozimego

znacząco różnią się morfologią, a wyznaczenie stabilnych współczynników korekcyjnych dla poszczególnych odmian ze względu na fakt, że wartość tych współczynników jest różna w latach, było niemożliwe. Przy planowaniu badań własnych z pszenicą ozimą przyjęto założenie, że łan tej rośliny podobnie jak łan pszenżyta, reaguje na wiele czynników agronomicznych i środowiskowych, takich jak dostępność składników pokarmowych i wody oraz warunki pogodowe panujące w trakcie sezonu wegetacyjnego (Fitzgerald i in. 2010). Odziaływanie tych, czynników na morfologię roślin sprawia, że postawiono następujące pytania: *czy współczynniki korekcyjne opracowywane, aby ograniczać wpływ odmiany na wartości wskaźników wegetacyjnych, są rozwiązaniem praktycznym. Czy są one w ogóle wymagane, jeśli tak to jak stabilne wartości mają one wykazywać. Czy te same, opracowane dla danej odmiany pszenicy współczynniki korekcyjne, mogą być stosowane w różnych rejonach kraju i w różnych sezonach wegetacyjnych, biorąc pod uwagę duże przestrzenne zróżnicowanie warunków uprawowych pszenicy ozimej w Polsce.*

Celem badań było określenie wpływu odmiany pszenicy ozimej i warunków uprawy na wartości NDVI mierzonego trzykrotnie w trakcie sezonu wegetacyjnego (stadia GS 31, 37 i 65, Zadoks i in. 1974), z wykorzystaniem dwóch ręcznych, aktywnych czujników optycznych:

1) GreenSeeker (NTech Industries, Inc., Ukiah, Kalifornia, USA), model 505 – wyliczenie tzw. czerwonego NDVI (Rouse i in. 1973) z równania 1, wykorzystując ilość światła odbitego w zakresie czerwieni 650 nm i podczerwieni – 770 nm. Równanie to ma postać:

$$\text{czerwone NDVI} = \frac{NIR_{770} - VIS_{650}}{NIR_{770} + VIS_{650}} \quad (1)$$

2) Crop Circle ACS-210 (Holland Scientific, Lincoln, Nebraska, USA) – wyliczenie tzw. bursztynowego NDVI (ang. *Amber Normalized Difference Vegetation Index*, Shaver i in., 2011) z równania 2, wykorzystując ilość światła odbitego w zakresie koloru bursztynowego 590 nm i podczerwieni – 880 nm. Równanie to ma postać:

$$\text{bursztynow e NDVI} = \frac{NIR_{880} - VIS_{590}}{NIR_{880} + VIS_{590}} \quad (2)$$

Badania wskaźników NDVI wykonano na trzech odmianach pszenicy ozimej (*Bogatka*, *Figura* i *Muszelka*) – zróżnicowanych pod względem morfologii, uprawianych w dwóch Stacjach Doświadczalnych Oceny Odmian (SDOO), w Kawęczynie i Karżniczce, Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych oraz na poletkach doświadczalnych ówczesnej Hodowli Roślin Rolniczych – Nasiona Kobierzyc Sp. z o.o., w miejscowościach Pustków Żurawski i Kobierzyc, w sezonach wegetacyjnych: 2008/2009; 2009/2010 i 2010/2011.

Zróżnicowanie odmianowe wartości zarówno czerwonego jak i bursztynowego NDVI zmniejszało się w trakcie kolejnych pomiarów, czyli od stadium początku strzelania w źdźbło do stadium pełni kwitnienia. Zmiany wartości odchylenia standardowego obu wskaźników NDVI, w trakcie wegetacji roślin, były następstwem, z jednej strony regeneracji roślin po zimie, z drugiej zaś, stopniowym zamieraniem roślin z powodu przedłużającej się suszy w okresie od pojawienia liścia flagowego do pełni kwitnienia.

Zmiany w czasie wartości bezwzględnych obu wskaźników NDVI miały charakter taki jak oczekiwano. Czyli znacząco zwiększały się w trakcie intensywnego przyrostu biomasy,

począwszy od początku stadium strzelania w źdźbło, aż do stadium wypełniania ziarna (Marti i in. 2007). Natomiast w trakcie kwitnienia, jak podają Hatfield i Prueger (2010), na skutek pojawienia się kłosów, zmniejszało się odbicie światła w zakresie podczerwieni. Dalsze zmniejszenie się wartości obu wskaźników NDVI w trakcie wypełniania ziarna (Labus i in. 2002), było następstwem postępującego żółknięcia roślin, czyli obniżania się w nich zawartości chlorofilu (Guendouz i Maamari 2012; Erdle i in. 2013). W trakcie kwitnienia roślin zaobserwowano zróżnicowany, zależny od lokalizacji badań, stopień obniżania się wartości NDVI, nasilony w czerwcu 2011r., w SDOO Kawęczyn i Karzniczka, gdyż tam stwierdzono większe niedobory wody dla roślin.

Istotne różnice międzyodmianowe w wartościach obu wskaźników NDVI, pomiędzy latami i lokalizacjami badań, obserwowano w stadium początku strzelania w źdźbło pszenicy. Jest to czas, kiedy zazwyczaj zaleca się wykonywanie oceny zmienności wskaźników vegetacyjnych z użyciem czujników optycznych i wysiew zmiennej dawki azotu. W przypadku obu wskaźników NDVI stwierdzono, brak istotności współdziałań pomiędzy odmianą i miejscem jej uprawy. Obserwacja ta wskazuje, że zieloność i gęstość ładu tej samej odmiany pszenicy, mierzona w tym samym stadium rozwojowym, wartościami NDVI, była bardzo podobna w różnych warunkach uprawy. Ponadto stwierdzono istotność współdziałań pomiędzy odmianą pszenicy, a rokiem jej uprawy dla wartości obu wskaźników NDVI, co wskazuje, że wartości NDVI tej samej odmiany mogą być różne w różnych latach uprawy. Można, więc przyjąć, że wartości obu wskaźników NDVI, dla poszczególnych odmian pszenicy ozimej wykazały większą zmienność w latach niż pomiędzy lokalizacjami badań. To wskazywałoby na potrzebę opracowywania współczynników korekcyjnych wartości NDVI, które ograniczyłyby wpływ specyficznych warunków uprawy pszenicy w danym sezonie vegetacyjnym na jej morfologię, wyrażoną wartościami wskaźników NDVI. Rozwiązanie to jest niepraktyczne, ze względu, na coroczne wprowadzanie do uprawy nowych odmian pszenicy, jak również potrzebę posiadania danych NDVI z wielu sezonów vegetacyjnych, aby stworzyć solidne współczynniki korekcyjne. Z tego też względu, aby uniknąć konieczności opracowywania współczynników korekcyjnych i ograniczyć wpływ odmiany, na wartości NDVI zalecono, w oparciu o wyniki moich badań, wykonywanie kalibracji czujników optycznych *in situ*. Otóż przed rozpoczęciem nawożenia pszenicy zmienną dawką azotu, na każdym polu zaleca się wykonanie nowej kalibracji czujników optycznych w oparciu o pas referencyjny (porównawczy), umiejscowiony w obrębie tego samego pola, obsiany tą samą odmianą pszenicy. Takie wykonanie kalibracji czujnika powoduje, iż unikamy wpływu odmiany na wartości NDVI, czy innego wskaźnika vegetacyjnego. Zatem jak wskazują wyniki moich badań odnoszących się do wartości NDVI, analogiczne korzystanie z tabel ze współczynnikami korekcyjnymi dla wartości z chlorofilometru HNT – „Hydro N Tester”, może mieć małą wartość praktyczną. A wynika to faktu, że liście tej samej odmiany pszenicy ozimej mogą wykazywać również nieco inny odcień zieloności, gdy rośliny te uprawiane są w różnych sezonach vegetacyjnych. Uznano, że taka reakcja roślin jest wynikiem dostosowywania się morfologii roślin pszenicy do aktualnych warunków pogodowych (Fitzgerald i in. 2010).

III. Wykorzystanie wskaźnika vegetacyjnego – bursztynowego NDVI, do oceny zróżnicowania uziarnienia gleby w obrębie pól uprawnych pszenicy ozimej

Uziarnienie gleby (skład granulometryczny) ma wpływ na jakość gleby, jej produktywność, sposób użytkowania i jest właściwością gleby względnie stabilną w czasie. Jednak uziarnienie ornej warstwy gleby może podlegać zmianom na skutek erozji gleby,

przemieszczania gleby przy wykonywaniu zabiegów uprawowych (Brevik et al., 2003; Paluszek, 2010) i zbioru roślin okopowych oraz innych procesów glebowych, na przykład przemywania (lesiważu, ilimeryzacji) i wmywania do głębszych warstw gleby części ilastych (Bednarek i Skiba 2015, Buckman i Brady 1971; Musierowicz 1956). Znajomość różnych grup gleb wydzielonych na podstawie uziarnienia gleby (np. kategorie agronomiczne), w wielu krajach jest wykorzystywana do określenia granicznych poziomów zasobności gleby w składniki pokarmowe (Fotyła i Dobers 2008). Informacja o uziarnieniu gleby, jak wynika to również z naszych badań, może być przydatna przy wydzielaniu, w obrębie pól uprawnych, stref produkcyjnych na potrzeby stosowania narzędzi rolnictwa precyzyjnego (Gozdowski i in. 2014). Mapy przestrzennego zróżnicowania uziarnienia gleby w obrębie pól mogą być także cennym, źródłem informacji o ilości wody dostępnej dla roślin. Woda, determinuje ilość pobieranego azotu przez rośliny, a w konsekwencji wielkość produkowanej biomasy i wygląd roślin, które w sposób pośredni mogą być oceniane z użyciem wskaźników wegetacyjnych. Zatem postawiono hipotezę o możliwości wykorzystania wskaźników wegetacyjnych do oceny zróżnicowania uziarnienia gleby w obrębie pól uprawnych. Zaletą tej pośredniej metody oceny uziarnienia gleby, jest możliwość rejestracji wartości NDVI, czy innych wskaźników wegetacyjnych, w trakcie wegetacji roślin, przy okazji wysiewu nawozów azotowych, jak również podczas stosowania pestycydów.

Badania wykonano na czterech polach uprawnych, dwóch o znacznym pofałdowaniu powierzchni, zlokalizowanych na Pomorzu Środkowym, o przewadze gleb o uziarnieniu glin piaszczystych i dwóch polach, o prawie płaskiej powierzchni, zlokalizowanych na Mazowszu, o przeważającym uziarnieniu piasków gliniastych. Ocenę uziarnienia gleby wykonano metodą areometryczną (Orzechowski i in. 2014), w próbkach gleby pobranych z warstwy 15-25 cm, w nieregularnej siatce punktów, średnio jeden punkt reprezentował 1 ha. Miejsca pobierania próbek gleby wyznaczono na podstawie map glebowo-rolniczych i historycznych zdjęć lotniczych, w możliwie jednolitych obszarach pola, w miarę możliwości unikając miejsc na pograniczu różnych typów gleby – wyodrębnionych na mapach glebowo-rolniczych. Rejestracji wartości bursztynowego NDVI w obrębie pól, wykonano przy użyciu czujników Crop Circle ACS-210, jednokrotnie w trakcie sezonu wegetacyjnego na 2 polach, na Pomorzu Środkowym w latach 2009-2011 i trzykrotnie w trakcie sezonu wegetacyjnego na 2 polach, na Mazowszu w latach 2010-2011. Łącznie pomiar bursztynowego NDVI wykonano na pięciu polach pszenicy ozimej i jednym polu rzepaku ozimego.

Na wszystkich polach, w każdym terminie pomiaru, wartości bursztynowego NDVI były istotnie skorelowane z uziarnieniem gleby. Najsilniejsze zależności pomiędzy tymi cechami, z największą ich powtarzalnością w trakcie sezonu wegetacyjnego, uzyskano na jednym z pól z przewagą gleb o uziarnieniu piasków gliniastych, zlokalizowanym na Mazowszu. Wysokie wartości bursztynowego NDVI uzyskane na tym polu wskazywały na dużą zawartość łu i pyłu, zaś małą zawartość piasku. Na dwu innych polach (jedno z przewagą gleb o uziarnieniu piasków gliniastych obsiane pszenicą ozimą, drugie z przewagą gleb o uziarnieniu glin piaszczystych, obsiane rzepakiem ozimym), uzyskano odwrotne zależności, tj. wysokie wartości bursztynowego NDVI na obszarach pola o glebie lekkiej. Takie prawidłowości, na polu z przewagą gleb o uziarnieniu piasków gliniastych, gdzie wegetacja roślin była opóźniona chłodną wiosną, można tłumaczyć szybszym nagrzewaniem się obszarów pola z glebą lekką i tym samym lepszymi warunkami do rozwoju pszenicy. Zaś na polu o glebie cięższej, obszary pola o uziarnieniu gleby bardziej gliniastym były bardziej podtopione wczesną wiosną, wolniej obsychały, co skutkowało

wolniejszą regeneracją roślin rzepaku po zimie – niższymi wartościami bursztynowego NDVI.

Stwierdzono ponadto, że na polach bardziej płaskich, z przewagą gleb o uziarnieniu piasków gliniastych, mapy bursztynowego NDVI mogą z podobną lub nawet wyższą skutecznością niż mapy przewodności elektrycznej gleby, obrazować zróżnicowanie uziarnienia gleby. Badania wykazały również, że na polach bardziej płaskich, topografia pola w znacznie mniejszym stopniu niż uziarnienie gleby, oddziałuje na zróżnicowanie wskaźników wegetacyjnych. Jednak dodatkowym czynnikiem, który może wpływać na wartość wskaźników wegetacyjnych będzie przebieg pogody przed wykonaniem ich pomiaru.

Wykazano również, że uziarnienie gleby w sposób pośredni, poprzez dostępność wody dla roślin, wpływa na wartość bursztynowego NDVI. Uzyskanie takiej prawidłowości ma dwojaki wpływ, na jakość oceny stopnia odżywienia roślin azotem przy użyciu wskaźników wegetacyjnych. Z jednej strony wartość wskaźnika wegetacyjnego wyraża już wtedy wielkość pobrania azotu z biomasą roślin, bo ta jest głównie wypadkową dostępności wody i azotu dla roślin. Z drugiej strony, niskie wartości bursztynowego NDVI, zarejestrowane na obszarach pola o glebach lekkich i bardzo lekkich sugerują słabsze odżywienie roślin pszenicy azotem, a zatem zwiększenie dawki tego składnika na tych obszarach. Jednak tam ilość dostępnej wody dla roślin może być zbyt mała, aby rośliny pobrały wyższe dawki azotu. To prowadzi do przenawożenia roślin azotem, jego strat i zanieczyszczenia wód gruntowych. Uzyskane wyniki badań wskazują bardzo wyraźnie na konieczność uwzględnienia przestrzennej zmienności uziarnienia gleby w algorytmie wyliczania zmiennej dawki azotu.

IV. Efektywność stosowania zmiennej dawki azotu, z użyciem aktywnych czujników optycznych, w obrębie dużych pól uprawnych pszenicy ozimej

W Polsce dostępnych jest na rynku kilka systemów do wysiewu zmiennej dawki azotu, które działają w oparciu o użycie aktywnych czujników optycznych. Są to te same rozwiązania, jakie spotkać można w krajach przodujących w zakresie wdrażania najnowszych narzędzi rolnictwa precyzyjnego. Jednak bardzo ważnym czynnikiem ograniczającym te wdrożenia, nie tylko w Polsce, ale i na świecie, jest brak wyników badań odnoszących się do oceny efektywności stosowania zmiennej dawki azotu w gospodarstwach uprawiających pszenicę. Często podawane wyniki badań odnoszą się do doświadczeń poletkowych, których warunki nie odzwierciedlają zmienności przestrzennej dużych pól uprawnych. Dlatego też w latach 2009-2012, łącznie na pięciu dużych polach uprawnych, wykonano doświadczenia gdzie zbadano efektywność stosowania zmiennej dawki azotu. Badania wykonano w układzie tzw. doświadczeń pasowych (ang. *strip-trials*), o pasach równych szerokości ścieżek technologicznych (Bramley i in., 1999; Griffin i in. 2006). Na całej długości dwóch sąsiadujących ścieżek technologicznych wysiewano stałą (pasy referencyjne) bądź zmienną dawkę azotu. Każdy z kilkudziesięciu pasów traktowany był, jako oddzielne powtórzenie. Taki układ doświadczenia umożliwił, nieobciążone systematycznym błędem, porównanie obok siebie dwóch sposobów nawożenia azotem, w podobnych warunkach glebowych. Celem podjętych badań była wszechstronna ocena efektywności stosowania zmiennej dawki azotu, gdzie określono: plon ziarna, zużycie nawozu azotowego, zawartość białka w ziarnie, efektywność wykorzystania ww. nawozu, oraz wykonano bilans azotu osobno dla każdego z pasów.

Do wysiewu zmiennej dawki azotu wykorzystano, pierwszy testowany w Polsce system, który działa w oparciu o użycie aktywnych czujników optycznych Crop Circle ACS-210 (Holland Scientific, Lincoln, Nebraska, USA). Czujniki te były zamontowane na

wysięgnikach, po obu stronach ciągnika. Zmienna dawka azotu wyliczana była w odniesieniu do średniej wartości bursztynowego NDVI (Shaver i in. 2011), zarejestrowanej na pasie kalibracyjnym przez dwa ww. czujniki. Do wyliczania ww. dawki azotu wykorzystano komercyjny algorytm firmy (Holland Scientific, Lincoln, Nebraska, USA), wbudowany w rejestrator danych GeoSCOUT GLS-420 wraz z jego oprogramowaniem.

Wykazano, że zmienność przestrzenna wartości bursztynowego NDVI była zależna od roku badań, pola uprawnego i stadium rozwojowego pszenicy, w którym wykonywano ocenę odżywienia roślin azotem i nawożenie zmienną dawką tego składnika. Na każdym z badanych pól, w czasie stosowania pierwszej (stadium początku strzelania w źdźbło) i drugiej (stadium widocznego liścia flagowego) zmiennej dawki azotu, stwierdzono zależność przestrzenną pomiędzy wartościami bursztynowego NDVI, zarejestrowanymi w odległościach mniejszych niż 50 m i ich brak w odległościach większych niż 50 m. To wynikać może ze zmienności glebowej i ukształtowania pól (znaczne zróżnicowanie wysokości n.p.m. i stopnia nachylenia), która decydowała o różnej dostępności azotu i wody dla roślin i konsekwentnie ich różnego stopnia odżywienia tym składnikiem w odległościach większych niż 50 m. Fakt, że stopień zróżnicowania wartości bursztynowego NDVI, w obrębie pól, zależał również od roku badań i terminu stosowania azotu, wskazuje na współdziałanie zmienności przestrzennej (zależnej od pola) i czasowej (zależnej od warunków pogodowych). Uzyskane wyniki badań wykazały zatem, że siła tegoż współdziałania, a co za tym idzie poziom zmienności bursztynowego NDVI w obrębie pola, jest trudny do przewidzenia. Ponadto, w warunkach gospodarstwa presja wykonania na czas nawożenia azotem, zazwyczaj nie pozwala na rejestrację wartości NDVI i analizę ich zmienności, przed tym zabiegiem. Dlatego też na podstawie uzyskanych wyników badań, zalecono, aby w gospodarstwach już wyposażonych w system nawożenia zmienną dawką azotu, oparty o użycie czujników optycznych, wykonywać nawożenie zmienną dawką azotu. Uzasadnieniem, jest bardziej poprawna (niż w przypadku nawożenia całego pola stałą dawką azotu) redystrybucja dawki azotu w obrębie pola, biorąc pod uwagę przestrzennie zróżnicowane potrzeby nawożenia roślin pszenicy azotem, wynikające także z wykonanych badań. Czego potwierdzeniem jest brak zależności przestrzennych pomiędzy wartościami NDVI, w odległościach większych niż 50 m oraz bardzo różne średnie ilości zastosowanego nawozu azotowego, na poszczególnych pasach nawożonych zmienną dawką tego składnika.

Wykazano ponadto, że w przypadku czterech spośród pięciu badanych pól łączna ilość zużytego nawozu azotowego, gdy stosowano stałą i zmienną dawkę azotu, różniła się istotnie. Jednak wpływ nawożenia zmienną dawką azotu na zużyciu nawozu azotowego był zależny od roku i pola uprawnego. Oszczędności na ilości zastosowanego nawozu azotowego będą nieduże, lub będą w ogóle nie możliwe do uzyskania, gdy nawozimy rośliny pszenicy, w stadium początku strzelania w źdźbło, i gdy znaczna część łanu roślin charakteryzuje się niskimi wartościami bursztynowego NDVI. W takiej sytuacji konieczne będzie zwiększenie dawki azotu ponad, dawkę przeciętną zalecaną przez rolnika, celem ograniczenia redukcji liczby pędów roślin i uzyskanie wysokiej liczby ziaren w kłosie. Podobnie, brak oszczędności na ilości zastosowanego nawozu azotowego lub ich znaczne ograniczenie uzyskamy, gdy będziemy nawozić pszenicę w stadium widocznego liścia flagowego i znaczna część łanu roślin będzie charakteryzowała się wysokimi wartościami bursztynowego NDVI. Wówczas, dawka azotu jest zwiększana, co ma wpływać korzystnie na wypełnienie ziarna i zawartość białka.

Wpływ nawożenia zmienną dawką azotu na plon ziarna pszenicy był również zależny od pola uprawnego i roku. W przypadku dwóch pól uzyskano istotnie niższe plony ziarna,

gdy pszenicę nawożono zmienną dawką azotu. Było to konsekwencją zastosowania istotnie niższych zmiennych dawek azotu niż stałych dawek azotu. Obserwacja ta ma bardzo praktyczne znaczenie. Otóż, ustawienie w oprogramowaniu do wysiewu zmiennej dawki azotu, zbyt niskiej zalecanej dawki tego składnika i zbyt niskiego zakresu dawek azotu, w celu uzyskania oszczędności na ilości zużytego nawozu, na pewno przyniesie zamierzone oszczędności, ale może znacznie obniżyć plony, a w konsekwencji zmniejszyć opłacalność produkcji pszenicy. Dlatego też bardzo ważnym jest dobór średniej zalecanej dawki azotu i zakresu jej zmiany, realnie w odniesieniu do dotychczas stosowanych stałych dawek azotu i zakładanego potencjału plonowania.

Udowodniono, że nawożenie zmienną dawką azotu nie miało jednolitego wpływu na zawartość białka w ziarnie, a w przypadku dwóch pól zwiększyło jej zróżnicowanie w obrębie pól. Wykazano, że w przypadku typowej dla naszego kraju uprawy pszenicy bez nawadniania, gdy wielkość przeciętnej stałej i zmiennej dawki azotu była porównywalna, wpływ stosowania zmiennej dawki azotu na zawartość białka w ziarnie był minimalny. Pozwala to na stwierdzenie, iż stosując zmienną dawkę azotu, z użyciem czujników optycznych, w stopniu niezauważalnym w skali całego pola wpływamy na zawartość białka w ziarnie pszenicy ozimej.

Wyniki badań dotyczące wpływu nawożenia zmienną dawką azotu na efektywność wykorzystania azotu z nawozów i na bilans azotu wykonany w obrębie pola pszenicy ozimej są bardzo ograniczone i rzadko publikowane (Godwin i in. 2003; Zillmann i in. 2006). Uzyskane wyniki badań, dotyczące efektywności wykorzystania azotu z nawozów wykazały, że możliwe było uzyskanie większego plonu ziarna pszenicy przy niższych zmiennych dawkach azotu, jak również zastosowanie wyższych, zmiennych dawek azotu nie zawsze skutkowało uzyskaniem większego plonu. Obserwacja ta wskazuje z jednej strony, że istnieje potencjał dalszego zwiększania efektywność wykorzystania azotu z nawozów, z wykorzystaniem techniki stosowania zmiennej dawki azotu. Z drugiej zaś, że stosowany algorytm przeliczania wartości bursztynowego NDVI na zmienną dawkę azotu, nie w pełni uwzględniał faktyczne, zróżnicowane w obrębie pola, zapotrzebowanie roślin pszenicy ozimej na azot. Aby lepiej dostosowywać zmienną dawkę azotu do potrzeb nawożenia tym składnikiem pszenicy ozimej stwierdzono, iż ulepszony algorytm stosowania zmiennej dawki azotu powinien uwzględniać, poza oceną zróżnicowania odżywienia roślin azotem, wyrażoną wartościami wskaźnika wegetacyjnego, inne informacje o przestrzennej zmienności pola na którym uprawiana jest pszenica. Stwierdzono, że ww. ulepszony algorytm powinien uwzględniać wiedzę o: strefach plonowania pszenicy w obrębie pól uzyskaną z wieloletnich map plonu ziarna, wskaźnikach zróżnicowania glebowego i topograficznego pola oraz informacje o rozkładzie opadów i wilgotności gleby.

Efektywność wykorzystania azotu z nawozów wyliczana, jako ilość zastosowanego nawozu na 1 kg wyprodukowanego ziarna, zmniejsza się wraz ze zwiększaniem dawki azotu. Zależność ta wynika z prawa zmniejszającego się zysku, gdyż każdy kolejny zastosowany kilogram azotu jest mniej produktywny, ponieważ przyrost plonu ziarna jest nieproporcjonalny do wzrostu dawki azotu (Mitscherlich 1922). Dlatego też w przypadku dwóch pól, gdzie zastosowano istotnie niższe zmienne dawki azotu niż stałe dawki azotu, efektywność wykorzystania azotu z nawozów była istotnie wyższa. Podobnie, wyższą efektywność wykorzystania azotu można uzyskiwać przy wysokich plonach ziarna i wysokich dawkach azotu, ale tylko do momentu, gdy wzrost plonów przeważa nad wzrostem dawki azotu. Ponadto, niskie dawki azotu zastosowane w mniej produktywnych obszarach pola mogą również skutkować wysoką wydajnością wykorzystania azotu

z nawozów, ale tylko do czasu, gdy zmniejszenie dawki azotu nie spowoduje obniżki plonu ziarna.

Stwierdzono jednak, że wyliczanie efektywności wykorzystania azotu z nawozów, jako ilość zastosowanego nawozu na 1 kg wyprodukowanego ziarna, na potrzeby badania skuteczności zastosowania czujników optycznych do wysiewu zmiennej dawki azotu, ze względu na opisane powyżej prawo zmniejszającego się zysku, wydaje się nieadekwatne i dające niemiernodajne wyniki. Ponadto takie podejście do wyliczania efektywności wykorzystania azotu z nawozów, uwzględnia tylko ilość azotu zastosowaną w nawozach, a nie bierze pod uwagę ilość azotu glebowego dostępnego dla roślin. Rozwiązaniem tego problemu jest wyliczanie faktycznej (agronomicznej) produktywności 1 kg zastosowanego azotu, w oparciu o informacje o plonach ziarna uzyskanych na poletkach nienawożonych azotem. Utrudnieniem jest jednak wykonanie takich badań na dużych polach o znacznej zmienności przestrzennej, gdzie poletka bez nawożenia azotem najlepiej, aby rozmieszczone były wzdłuż całej długości pasów nawożonych zmienną i stałą dawką azotu.

Prowadzenie badań na dużych polach uprawnych, z wykorzystaniem doświadczeń pasowych skłoniło mnie do poszukiwania innych, nieobarczonych ww. ograniczeniami, metod oceny efektywności zastosowanego nawożenia azotem. Dlatego też, w oparciu o różnicę pomiędzy całkowitą ilością azotu zastosowanego w nawozach i pobranie azotu z plonem ziarna oraz słomy sporządzono bilans azotu dla każdego pasa nawożonego zmienną dawką azotu. Jest to rozwiązanie oryginalne i nie spotkano się z jego zastosowaniem na dużych polach uprawnych, przy ocenie efektywności stosowania zmiennej dawki azotu z użyciem aktywnych czujników optycznych. Stwierdzono brak istotnego wpływu sposobu stosowania azotu na bilans azotu. Jednocześnie wykazano również znaczne różnice w wartościach bilansu azotu, dla dwóch tych samych pól w różnych latach badań, pomimo stosowania zbliżonych łącznych dawek azotu. Co wskazuje, na duży wpływ warunków pogodowych na pobranie azotu przez rośliny z plonem ziarna i słomy. Ponadto analiza wartości bilansu azotu dla poszczególnych pasów (powtórzeń) w obrębie badanych pól, pozwoliła ocenić czy zastosowana zmienna dawka azotu była faktycznie dobrze dopasowana (niższe wartości bilansu azotu) do stanu odżywienia roślin pszenicy azotem. Szczególnie ważnym wydaje się poszukiwanie możliwych przyczyn wysokich wartości bilansu azotu na niektórych obszarach pola, czyli względnie małego pobrania azotu z plonem nadziemnej masy roślin, w porównaniu do ilości zastosowanego azotu. Jednym ze sposobów ograniczenia nadwyżki azotu jest zwiększanie bądź zmniejszenie dawek azotu w danym roku uprawy, jeśli do czasu nawożenia klimatyczny bilans wodny był odpowiednio korzystny (przewaga opadów nad ewapotranspiracją), bądź niekorzystny.

Jednak wynikające z badań własnych, zróżnicowane w obrębie pola wartości bilansu azotu pozwalają wnioskować, że z jakiś względów zastosowany algorytm przeliczania wartości bursztynowego NDVI na zmienną dawkę azotu, w niektórych obszarach pola (tam gdzie zaobserwowano wysokie wartości bilansu azotu), nie wyliczał dawki azotu, możliwie jak najlepiej dostosowanej do potrzeb roślin. Co w konsekwencji, nasuwa pytanie: *jakie inne elementy zmienności przestrzennej pola – poza wartościami bursztynowego NDVI, ulepszonego algorytmu stosowania zmiennej dawki azotu, powinien uwzględnić?*

Na podstawie uzyskanych wyników wykazano, że zastosowanie zmiennej dawki azotu nie przyniosło jednolitych korzyści, w postaci wzrostu plonów ziarna, zawartości białka w ziarnie i efektywności wykorzystania azotu z nawozów oraz zmniejszenia zużycia nawozu azotowego. Jednak analiza zebranych danych i obserwacje poczynione w ciągu 3 sezonów

wegetacyjnych pozwoliły na sformułowanie następujących wyjaśnień braku wyraźnych, jednolitych korzyści wynikających ze stosowania zmiennej dawki azotu:

- ✓ w stadium początku strzelania w źdźbło (w I terminie wykorzystania aktywnych czujników optycznych), zróżnicowanie potencjału plonowania pszenicy w obrębie pola, ze względu na brak widocznych niedoborów wody, zazwyczaj może jeszcze nie być widoczne. Konsekwentnie, jest wielce prawdopodobne, że obszary pola najbardziej podatne na niedobory wody, w dalszej części sezonu wegetacyjnego, nie wykażą proporcjonalnej reakcji na wcześniej zastosowaną zmienną dawkę azotu. Dlatego, że optymalne plony ziarna będą ograniczone przez niedobory wody, a nie przez niedobory azotu (Zillmann i in., 2006). Stąd bardzo ważnym przy tworzeniu ulepszonych algorytmów stosowania zmiennej dawki azotu, wydaje się uwzględnienie znajomości zróżnicowania uziarnienia gleby i potencjału plonowania w obrębie pól, w latach ubiegłych,
- ✓ niższe dawki azotu na obszarach pola mniej produktywnych i tam gdzie rośliny słabiej reagują na zastosowaną dawkę azotu, można z powodzeniem stosować w stadium widocznego liścia flagowego z użyciem aktywnych czujników optycznych. Stosowanie zmiennej dawki azotu w tym terminie będzie miało znacznie większy wpływ na zawartość białka w ziarnie niż na plon ziarna, ale tylko w latach, gdy pobranie azotu przez rośliny nie jest ograniczone dostępnością wody dla roślin. Zastosowanie czujników optycznych do nawożenia zmienną dawką azotu nie poprawi jego pobrania przez rośliny, gdy czynnikiem limitującym jego pobranie są niedobory wody,
- ✓ obszary pól obsianych pszenicą umiejscowione blisko nieregularnych granic, zazwyczaj charakteryzują się większą zmiennością warunków uprawowych, zatem większym zróżnicowaniem NDVI, co wskazywać może na ich dużą przydatność do nawożenia zmienną dawką azotu. Jednak ze względów technicznych (duża szerokość robocza rozsiwaczy do nawozów, kombajnów zbożowych, a wąskie obszary pola) te obszary pola trudno uwzględnić przy zakładaniu doświadczeń pasowych,
- ✓ uzyskanie w doświadczeniach wysokich plonów ziarna pszenicy, na poziomie 70-80% plonów potencjalnych osiąganych w pobliskiej SDOO Karzniczka. Przy tym poziomie plonowania, plony według Cassman'a (1999), zaczynają się stabilizować i dalszy ich wzrost jest trudny do osiągnięcia bez zwiększenia genetycznego potencjału plonowania. Ebertseder i in. (2005) zaobserwował, iż znaczne zwiększenie już wysokiego plonu ziarna, przy zastosowaniu zmiennej dawki azotu jest trudne do osiągnięcia,
- ✓ zmienna dawka azotu wysiewana na badanych polach, była prawdopodobnie zbliżona do dawki optymalnej. Wyliczenie średniej zalecanej dawki azotu dla danego pola oparte było o wielkość plonów ziarna uzyskiwanych w poprzednich latach oraz o pobranie azotu z 1 toną ziarna i adekwatną ilością słomy. Dawka azotu wpisywana w oprogramowaniu aktywnych czujników optycznych, jako tzw. średnia dawka zalecana, była identyczna z dawką azotu wysiewaną na pasach nawożonych stałą dawką azotu. Tylko takie podejście umożliwia miarodajne porównanie systemów nawożenia zmienną i stałą dawką azotu. Dlatego też rozpoczynając te badania nie oczekiwano znaczącej redukcji ilości zużytego nawozu na skutek stosowania zmiennej dawki azotu. Natomiast wdrożenie systemu nawożenia zmienną dawką azotu w takich warunkach będzie często oznaczało lepszą redystrybucję tej samej łącznej ilości azotu w obrębie danego pola, niż gdy stosowano by stałą dawkę azotu. Taki sposób stosowania azotu powinien ograniczyć dawki azotu na obszarach pola o małej produktywności, zwiększyć efektywność wykorzystania azotu z nawozów, gdyż dawka azotu jest lepiej dostosowana do potrzeb roślin, a zatem poprawić stopień zrównoważenia gospodarowania azotem.

Wyniki badań wykazały także duże zróżnicowanie, średniej, zmiennej dawki azotu pomiędzy poszczególnymi pasami (powtórzeniami) o szerokości i długości ścieżek technologicznych. Spostrzeżenie to potwierdza zróżnicowanie odżywienia roślin pszenicy ozimej azotem w obrębie dużych pól i uzasadnia potrzebę stosowania zmiennej dawki azotu.

Do przeprowadzenia badań, których wyniki zawarto w cyklu publikacji stanowiących moje osiągnięcie naukowe zorganizowałem zespół składający się z ośmiu naukowców. Było to dwóch agronomów, specjalista w zakresie analizy danych z doświadczeń rolniczych, gleboznawcy, specjalista od analiz danych przestrzennych, agrohydrolog, chemik rolny oraz hodowca roślin. Osoby te to pracownicy naukowcy z dwóch wydziałów SGGW, jeden absolwent Wydziału Rolniczego SGGW, jak również pracownicy naukowcy spoza naszej uczelni i jeden z zagranicy. W powyższych badaniach wykorzystywano nowoczesną aparaturę, m.in. aktywne czujniki optyczne: GreenSeeker HH 505 (NTech Industries, Inc., Ukiah, Kalifornia, USA) i Crop Circle ACS-210. (Holland Scientific, Lincoln, Nebraska, USA). Ten ostatni, to pierwsze takie urządzenie wykorzystane w badaniach w Polsce. Badania prowadzono w 6 miejscowościach w Polsce (3 na Mazowszu, 2 na Pomorzu i 1 na Dolnym Śląsku) na polach produkcyjnych i w ramach doświadczeń Stacji Doświadczalnych Oceny Odmian, Centralnego Ośrodka Badania Odmian i Roślin Uprawnych. Badania te realizowano w ramach 3-letniego grantu badawczego w latach 2009-2012, finansowanego przez MNiSW (nr N N310 089036), w temacie: „*Optymalizacja nawożenia azotem pszenicy ozimej z wykorzystaniem urządzenia teledetekcyjnego oraz ocena przydatności pomiaru przewodności elektrycznej gleby do wydzielenia stref operacyjnych na polach produkcyjnych*”. Dotychczasowy łączny dorobek punktacyjny wszystkich artykułów naukowych opublikowanych w oparciu o wyniki badań z ww. projektu wynosi 166 – według punktacji MNiSW, zaś sumaryczny Impact Factor wynosi – 9,352.

Propozycja wykorzystania wyników

Wykonanie badań na dużych polach uprawnych oraz tematyka badań, nawiązująca z jednej strony bezpośrednio do zagadnień poruszanych przez rolników, z drugiej zaś do obszernego przeglądu literatury, w zakresie możliwości wykorzystania aktywnych czujników optycznych do oceny stopnia odżywienia roślin azotem i wysiewu zmiennej dawki azotu w uprawie pszenicy ozimej sprawiają, że można wyróżnić kilka obszarów wykorzystania moich wyników badań:

- ✓ zaniechanie wykorzystania w praktyce rolniczej, tabel ze współczynnikami korygującymi różnice w morfologii odmian pszenicy ozimej, gdyż te musiałyby uwzględniać zmienność wyglądu roślin w sezonach wegetacyjnych. Ponadto corocznie wprowadzane są do uprawy nowe, różniące się morfologią odmiany pszenicy. Natomiast nowa odmiana pozostaje w rejestrze odmian najczęściej od kilku do najwyżej około 10 lat,
- ✓ świadomość zmienności przestrzennej pól sprawia, że zdajemy sobie sprawę, iż nie ma dwóch pól takich samych pod względem stanu odżywienia roślin pszenicy ozimej azotem. Dlatego też kalibrację aktywnych czujników optycznych powinniśmy wykonać każdorazowo, gdy zmieniamy pole (różny przedplon, sposób uprawy, sposób, termin i gęstość siewu, dotychczasowe terminy stosowania i wielkości dawki azotu, odmiana oraz stadium rozwojowe roślin), gdzie pszenica będzie nawożona zmienną dawką azotu,
- ✓ w literaturze, jak również praktyce rolniczej spotyka się badania, gdzie odrębne, sąsiadujące pola nawozi się stałą, bądź zmienną dawką azotu. Jednak taki sposób zakładania doświadczeń powoduje, że różne metody nawożenia azotem są porównywane

- w różnych warunkach – na różnych polach. Wartość praktyczna i naukowa takich wyników badań jest bardzo ograniczona. Dlatego też wykonanie badań na pięciu dużych polach uprawnych, gdzie dwa systemy nawożenia azotem były porównywane na sąsiadujących ścieżkach technologicznych, w wielu powtórzeniach, w obrębie tego samego pola, jest rozwiązaniem bardzo praktycznym i zalecanym według aktualnego raportu dotyczącego rolnictwa precyzyjnego, jako systemu wspierającego Wspólną Politykę Rolną UE, w latach 2014-2020 (Zarco-Tejada i in., 2014),
- ✓ obecnie bardzo dużą uwagę zwraca się również na wykonywanie; z jednej strony badań z zakresu opłacalności wdrażania technik rolnictwa precyzyjnego i wpływu ich stosowania na środowisko (Zarco-Tejada i in., 2014). Z drugiej zaś na to, aby badania te wykonywać w gospodarstwach co sprawia, że warunki wykonywania badań i wdrożeń wyników badań z zakresu rolnictwa precyzyjnego są takie same, lub bardzo zbliżone. Wyniki opisanych przeze mnie badań dotyczące oceny skuteczności stosowania zmiennej dawki azotu w uprawie pszenicy ozimej, i przedstawione jako moje osiągnięcie naukowe, są jedynym przykładem takich badań wykonanych w Polsce, na dużych polach uprawnych i opublikowanych w czasopiśmie zagranicznych o wysokim współczynniku wpływu,
 - ✓ wyniki badań wskazują, że w gospodarstwach gdzie już uzyskuje się wysokie plony ziarna pszenicy ozimej (70-80% plonów potencjalnych) i stałe, przeciętne dla całego pola, dawki azotu są zbliżone do potrzeb roślin, uzyskanie dużego wzrostu plonu lub znacznych oszczędności na ilości stosowanych nawozów azotowych, gdy stosuje się zmienną dawkę azotu, jest trudne do osiągnięcia. Natomiast taki sposób stosowania tego składnika może sprawić jego lepszą redystrybucję w obrębie pola – lepsze dostosowanie dawki do potrzeb roślin i zarazem poprawę stopnia zrównoważenia systemu nawożenia azotem. Obecnie na wykorzystanie takich systemów nawożenia roślin kładziony jest nacisk przy wdrażaniu rolnictwa precyzyjnego w ramach Wspólnej Polityce Rolnej w Unii Europejskiej, w latach 2014-2020 (Zarco-Tejada i in., 2014),
 - ✓ wyniki badań, dotyczące dużego zróżnicowania bilansu azotu pomiędzy pasami pola nawożonymi zmienną dawką azotu wskazują, że ulepszony algorytm stosowania zmiennej dawki azotu, powinien uwzględniać również inne, niż tylko ocena stanu zróżnicowania łanu roślin przy użyciu wskaźników wegetacyjnych, właściwości siedliska roślin, oddziałujące na możliwość pobierania azotu przez rośliny,
 - ✓ wykonanie oceny zależności pomiędzy wartościami wskaźnika wegetacyjnego, a uziarnieniem gleby, na polach o zróżnicowanej topografii i typach gleb, pozwala stwierdzić, że uwzględnienie uziarnienia gleby, ze względu na jego bezpośredni wpływ na dostępność wody dla roślin, jest konieczne przy opracowywaniu ulepszonych algorytmów nawożenia roślin zmienną dawką azotu.

Literatura

1. Balasubramanian V., A.C. Morales R.T., Cruz T.M., Thiagarajan R., Nagarajan M., Abdulrachman B., Hai L.H., 2000. Adaptation of the chlorophyll meter (SPAD) technology for real-time N management in rice: A review. *International Rice Research Notes*, 25, 4-8.
2. Barker D.W., Sawyer J. E., 2013. Factors Affecting Active Canopy Sensor Performance and Reflectance Measurements. *Soil Science Society of America Journal*, 77, 1673-1683.
3. Bednarek R., Skiba S., 2015. Czynniki i procesy glebotwórcze. W: Mocek A. (red.), 2015. *Gleboznawstwo*. PWN, Warszawa, 68-98.

4. Bramley R., Cock S., Adams M., Corner R., 1999. Designing your on-farm experiments: how precision agriculture can help. Precision Agriculture Research Group. CSIRO Land and Water.
5. Brevik E. C., Fenton T. E., Jaynes, D. B., 2003. Evaluation of the Accuracy of a Central Iowa Soil Survey and Implications for Precision Soil Management. *Precision Agriculture*, 4, 331-342.
6. Buckman H. C., Brady N. C., 1971. Gleba i jej właściwości. Wydawnictwo PWRiL, Warszawa. ss. 530.
7. Bushong J. T., Mullock J. L., Miller E. C., Raun W. R., Klatt A. R., Arnall D. B., 2016. Development of an in-season estimate of yield potential utilizing optical crop sensors and soil moisture data for winter wheat. *Precision Agriculture*, 17, 451-469.
8. Cassman K.G., 1999. Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proceedings of the National Academy of Science*, 96, 5952-5959.
9. Dyrektywa Rady 91/676/EWG z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego Dz.U. UE L.
10. Ebertseder T., Schmidhalter U., Gutser R., Hege U., Jungert S., 2005. Evaluation of mapping and on-line nitrogen fertilizer application strategies in multi-year and multi-location static field trials for increasing nitrogen use efficiency of cereals. Uppsala, Sweden, Precision Agriculture In: Proceedings of 5th European Conference on Precision Agriculture, 05, 327-335.
11. Erdle K., Mistele B., Schmidhalter, U. 2013. Spectral assessments of phenotypic differences in spike development during grain filling affected by varying N supply in wheat. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 176, 952-963.
12. Erdle K., Mistele B., Schmidhalter U., 2011. Comparison of active and passive spectral sensors in discriminating biomass parameters and nitrogen status in wheat cultivars. *Field Crops Research*, 124, 74-84.
13. Eurostat 2014. <http://ec.europa.eu/eurostat>
14. European Parliament 2015/2225(INI). Technological solutions for sustainable agriculture. ss. 19. <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+REPORT+A8-2016-0174+0+DOC+PDF+V0//EN>
15. Fitzgerald G.J., Rodriguez D., O'Leary G., 2010. Measuring and predicting canopy nitrogen nutrition in wheat using a spectral index: The Canopy Chlorophyll Content Index (CCCI). *Field Crops Research*, 116, 318-324.
16. Fotyma E., Fotyma M., 2002. Calibration of test SPAD for winter wheat. *Nawozy i Nawożenie*, 2, 14-32.
17. Fotyma M., Dobers, E. S. 2008. Soil Testing Methods and Fertilizer Recommendations in Central-Eastern European countries. MOEL working group of agrochemical services in Central-Eastern Europe, Piran, Słowenia.
18. Franzen D., Kitchen N., Holland K., Schepers J., Raun, W., 2016. Algorithms for in-season nutrient management in cereals. *Agronomy Journal*, 108, 1-7.
19. Gnyp M.L., Panitzki M., Reusch S., 2015. Proximal nitrogen sensing by off-nadir and nadir measurements in winter wheat canopy. John V. Stafford, In: Precision agriculture '15: Papers from the 10th European Conference on Precision Agriculture, 12-16 July, 2015 Volcani Centre, Israel. s. 43-50.
20. Godwin R.J., Wood G.A., Taylor J.C., Knight S.M., Welsh J.P., 2003. Precision farming of cereal crops: a review of a six year experiment to develop management guidelines. *Biosystems Engineering*, 84 (4), 375-391.

21. Gozdowski D., Stepień M., Samborski S., Dober, E. S., Szatyłowicz J., Chormański J., 2014. Determination of the most relevant soil properties for the delineation of management zones in production fields. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45, 2289-2304.
22. Griffin T.W., Florax R.J.G.M., Lowenberg-DeBoer J., 2006. Field-scale experimental designs and spatial econometric methods for precision farming: strip-trial designs for rice production decision making. In: Annual Meeting, 5-8 lutego, 2006, Orlando, Florida, Southern Agricultural Economics Association.
23. Guendouz A., Maamari K., 2012. Grain-filling, chlorophyll content in relation with grain yield component of durum wheat in a Mediterranean environment. *African Crop Science Journal*, 20, 31-37.
24. Hatfield J.L., Prueger J.H., 2010. Value of using different vegetative indices to quantify agricultural crop characteristics at different growth stages under varying management practices. *Remote Sensing*, 2, 562-578.
25. Heege H.J., Reusch S., Thiessen E., 2008. Prospects and results for optical systems for site-specific on-the-go control of nitrogen-top-dressing in Germany. *Precision Agriculture*, 9, 115-131.
26. Hoel B.O., 1998. Use of a hand-held chlorophyll meter in winter wheat: evaluation of different measuring positions on the leaves. *Acta Agriculturae Scandinavica, Sect. B, Soil and Plant Science*, 48, 222-228.
27. Huang W., Wang Z., Huang L., Lamb D.W., Ma Z., Zhang J., Wang J., Zhao Ch., 2011. Estimation of vertical distribution of chlorophyll concentration by bi-directional canopy reflectance spectra in winter wheat. *Precision Agriculture*, 12, 165-178.
28. Inman D., Khosla R., Westfall D.G., Reich R., 2005. Nitrogen uptake across site specific management zones in irrigated corn production systems. *Agronomy Journal*, 97, 169-176.
29. Jasper J., Reusch S., Link A., 2006. N-sensor ALS—Active sensing of crop N status using optimized wavelength combination. In: D.J. Mulla, editor, *Precision Agriculture. Proceedings of the 8th International Conference [CD-ROM]*. University of Minnesota, Minneapolis.
30. Kipp S., Mistele B., Schmidhalter U., 2014. The performance of active spectral reflectance sensors as influenced by measuring distance, device temperature and light intensity. *Computers and Electronics in Agriculture*, 100, 24-33.
31. Kitchen N.R., Sudduth K.A., Drummond S.T., Scharf P.C., Palm H.L., Roberts D.F., Vories E.D., 2010. Ground-Based Canopy Reflectance Sensing for Variable-Rate Nitrogen Corn Fertilization. *Agronomy Journal*, 102, 71-84.
32. Labus M.P., Nielsen G.A., Lawrence R.L., Engel R., Long D.S., 2002. Wheat yield estimates using multi-temporal NDVI satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 4169-4180.
33. Link A., Panitzki M., Reusch S., 2002. Hydro N-sensor: Tractor mounted remote sensing for variable nitrogen fertilization. In: P.C. Robert, editor, *Precision agriculture: Proceedings of the 6th International Conference on Precision Agriculture*, Minneapolis, MN. 14-17 July 2002. [CD-ROM.] ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, 1012-1018.
34. Marti J., Bort J., Slafer G.A., Araus J.L., 2007. Can wheat yield be assessed by early measurements of normalized difference vegetation index? *Annals of Applied Biology*, 150, 253-257.
35. Mitscherlich E.A., 1922. Das Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs. *Z. Pflanzenernähr Dung*. 1(2), 49-84.
36. Musierowicz A., 1956. Gleboznawstwo ogólne. Wydawnictwo PWRiL, Warszawa. ss. 500.

37. Orzechowski M., Smólczyński S., Długosz J., Poźniak P., 2014. Measurements of texture of soils formed from glaciolimnic sediments by areometric method, pipette method and laser diffraction method. *Soil Science Annual*, 65, 72-79.
38. Paluszek J. 2010. Zmiany pokrywy glebowej pod wpływem erozji. *Prace i Studia Geograficzne*, 45, 279-294.
39. Pena-Yewtukhiw E., Grove J.H., Schwab G. J., 2015. Fertilizer Nitrogen Rate Prescription, Interpretational Algorithms, and Individual Sensor Performance in an Array. *Agronomy Journal*, 107, 1691-1700.
40. Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W., 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium. NASA SP-351, 309-317.
41. Raper T.B., Varco J.J., Hubbard K.J., 2013. Canopy-Based Normalized Difference Vegetation Index Sensors for Monitoring Cotton Nitrogen Status. *Agronomy Journal*, 105, 1345-1354.
42. Rozbicki J., Mądry W., 1999. Zależność plonu ziarna pszenżyta ozimego od jego składowych na plantacjach produkcyjnych. *Roczniki Nauk Rolniczych*, A, 114, 109-115.
43. Samborski S., Gozdowski D., Stępień M., Bodecka E., 2016. Wykorzystanie wybranych narzędzi rolnictwa precyzyjnego w uprawie pszenicy ozimej. Wydawnictwo Oficyna Drukarska Jacek Chmielewski. ss. 32.
44. Samborski S.M., Tremblay N., Fallon E., 2009. Strategies to make use of plant sensors-based diagnostic information for nitrogen recommendations. *Agronomy Journal*, 101, 800-816.
45. Samborski S., Gozdowski G., Rozbicki J., Truszkiewicz W., 2008. Classification of Winter Triticale Cultivars based on Nitrogen Status Measurements. *Italian Journal of Agronomy. Rivista di Agronomia*. 3(3), s. 159-160. 10th Congress of the European Society for Agronomy, 15-19 września 2008r. Bolonia, Włochy.
46. Samborski S., Rozbicki J., 2004. Kalibracja chlorofilometru do oceny odżywienia zbóż azotem. *Postępy Nauk Rolniczych*, 5, 27-37.
47. Samborski S., Rozbicki J., 2002. Przegląd badań nad wykorzystaniem chlorofilometru SPAD-502 do oceny stanu odżywienia roślin azotem. *Nawozy i Nawożenie*, 2 (11), 123-136.
48. Samborski, S. 2002. Wykorzystanie pomiaru zawartości chlorofilu do diagnozowania stanu odżywienia azotem roślin pszenżyta ozimego. Praca doktorska. Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. ss. 136.
49. Schepers J.S., Shanahan J.F., 2009. Managing nitrogen with active sensors. 13th Annual Symposium on Precision Agriculture in Australia.
50. Sembiring H., Lees H.L., Raun W.R., Johnson G.V., Solie J.B., Stone M.L., DeLeon M.J., Lukina E.V., Cossey D.A., LaRuffa J.M., Woolfolk C.W., Phillips S.B., Thomason W.E., 2000. Effect of growth stage and variety on spectral radiance in winter wheat. *Journal of Plant Nutrition*. 23, 141-149.
51. Shaver T.M., Khosla R., Westfall D.G., 2011. Evaluation of two crop canopy sensors for nitrogen variability determination in irrigated maize. *Precision Agriculture*, 12, 892-904.
52. Stone M.L., Solie J.B., Raun W.R., Whitney R.W., Taylor S.L., Ringer J.D., 1996. Use of spectral radiance for correcting in-season fertilizer nitrogen deficiencies in winter wheat. *Transactions of ASAE*, 39, 1623-1631.
53. Sutton M. A., Howard C. M., Erisman J.W., Billen G., Bleeker A., Grennfelt P., van Grinsven H., Grizzetti B., 2011. The European Nitrogen Assessment. Sources, Effects and Policy Perspectives. Cambridge University Press, ss. 664.

54. US House of Representatives 1997. Congressional Bills 105th Congress. Precision Agriculture Research, Education, and Information Dissemination Act of 1997. <https://www.govtrack.us/congress/bills/105/s485/text/is>
55. Winterhalter L., Mistele B., Schmidhalter U., 2012. Assessing the vertical footprint of reflectance measurements to characterize nitrogen uptake and biomass distribution in maize canopies. *Field Crops Research*, 129, 14-20.
56. Wollring J., Reusch S., Karlsson C., 1998. Variable nitrogen application based on crop sensing. Proceedings 423. International Fertiliser Society. Colchester, UK.
57. Zadoks J.C., Chang T.T., Konzak G.F., 1974. A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415-421.
58. Zarco-Tejada P.J., Hubbard N., Loudjani P., 2014. Precision agriculture: an opportunity for EU farmers – potential support with the CAP 2014-2020. Joint Research Centre (JRC) of the European Commission; Monitoring Agriculture Resources (MARS) Unit H04. <http://www.europarl.europa.eu/studies>
59. Zhao C., Wang J., Huang W., Zhou Q., 2010. Spectral indices sensitively discriminating wheat genotypes of different canopy architectures. *Precision Agriculture*, 11, 557-567.
60. Zillmann E., Graeff S., Link, J., Batchelor W.D., Claupein W. 2006. Assessment of cereal nitrogen requirements derived by optical on-the-go sensors on heterogeneous soils. *Agronomy Journal*, 98, 682-690.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

Charakterystyka stanu produkcji roślinnej w rejonie Białowieskiego Parku Narodowego

Tą tematyką badawczą zająłem się jesienią 1999r., tuż po powrocie z rocznego stażu produkcyjnego w gospodarstwie, w stanie Wisconsin w USA i rozpoczęciu studiów doktoranckich. Dane do analiz zebrane zostały przy użyciu, ankiety przeprowadzonej wśród rolników powiatu Hajnówka obejmującego gminy przypuszczańskie oraz gminy puszczańskie, w 200 gospodarstwach indywidualnych.

Celem badań była ocena poprawności stosowanej agrotechniki w uprawie pszenicy ozimej i żyta, na plantacjach produkcyjnych w rejonie BPN i określenie ilości stosowanych przez rolników środków produkcji, w aspekcie ochrony środowiska. W trakcie tych badań zajmowałem się zbieraniem i analizą danych oraz interpretacją i opisem uzyskanych wyników badań, które opublikowano w pracach nr 13 i 29.

Uzyskane wyniki badań pozwoliły na stwierdzenie, że stosowana przez rolników ilość środków produkcji w uprawie pszenicy ozimej była mała, co w dużej mierze sprzyja ochronie środowiska, zaś agrotechnika uprawy żyta spełniała wymogi produkcji organicznej w rejonie BPN.

Wykorzystanie chlorofilometru SPAD-502 do oceny stanu odżywienia azotem pszenżyta ozimego (*X Triticosecale* Wittmack) i pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.)

Wyniki badań opublikowane w pracach nr 14, 19, 20, 22, 25, 27, 28, pochodzą z badań wykonanych w trakcie realizacji grantu promotorskiego: „Wykorzystanie pomiaru zawartości chlorofilu do diagnozowania stanu odżywienia azotem roślin pszenżyta ozimego” – KBN nr 6 P06R 028 21, w latach 2001-2003, na potrzeby wykonania mojej pracy doktorskiej. Był to mój pierwszy projekt badawczy, w którym uczestniczyłem po rozpoczęciu studiów doktoranckich. Kierownikiem projektu był Prof. dr hab. Jan Rozbicki. Mój udział polegał na

zaplanowaniu jednego z doświadczeń, wykonaniu trzech doświadczeń zgodnie z koncepcją przygotowaną razem z kierownikiem projektu. Zajmowałem się też analizą danych, ich interpretacją oraz przygotowaniem publikacji naukowych, wystąpień i posterów.

Badania wykonano na trzech doświadczeniach z pszenżytem ozimym na polu doświadczalnym Katedry Agronomii SGGW w Chylicach. Dwa wieloczynnikowe doświadczenia wykonano w układzie typu 2^5 (po 32 poletka każde). Jeden eksperyment dwuczynnikowy wykonano w układzie ang. split-plot (rozczepionych poletek), gdzie pierwszym czynnikiem było 16 odmian pszenżyta ozimego wyhodowanych w Polsce w latach 1982-2000, zaś drugim czynnikiem – 3 poziomy nawożenia azotem.

Celem badań przedstawionych w pracy nr 14, było oszacowanie zależności pomiędzy wartościami SPAD, a wskaźnikiem odżywienia roślin azotem (ang. *Nitrogen Nutrition Index* – NNI), pszenżyta ozimego, uprawianego na glebie lekkiej. Najsilniejsze, istotne zależności pomiędzy wartościami SPAD, a wskaźnikiem odżywienia roślin azotem uzyskano w stadium pojawiania się pierwszych ości (GS 49, Zadoks i in. 1974). Wykazano ponadto, że aby można było uznać rośliny pszenżyta za optymalnie odżywione azotem (wartości NNI zbliżone do jedności), wartości SPAD powinny wynosić od 46 do 47.

W pracy nr 27 przedstawiono wyniki badań z doświadczenia typu split-plot. Celem tych badań było określenie wpływu odmiany pszenżyta ozimego oraz nawożenia azotem na wielkość specyficznej powierzchni liściowej (stosunek powierzchni liścia do jego suchej masy), ang. *Specific Leaf Area* – SLA. Stwierdzono, że odmiana pszenżyta miała istotny wpływ na wielkość SLA w każdym z 3 stadiów rozwojowych (GS 31, GS 49 i GS 65). Nawożenie azotem istotnie wpływało na wielkość SLA w stadium początku strzelania w źdźbło i w pełni kwitnienia. Uzyskane wyniki pokazały jak bardzo zróżnicowany jest wpływ odmiany i nawożenia azotem na wielkość SLA, która ponadto ulega zwiększeniu – liście stają się cieńsze, mają mniejszą gęstość – wraz z rozwojem roślin. Te obserwacje przyczyniły się do wykonania dalszych analiz danych (praca nr 25), których celem było określenie możliwości wykorzystania informacji o ciężarze blaszki liściowej (ang. *Specific Leaf Weight* – SLW), która jest odwrotnością SLA, do eliminacji wpływu odmiany pszenżyta ozimego na wartości SPAD. Możliwości ograniczenia zróżnicowania odmianowego wartości SPAD, na skutek uwzględnienia wartości SLW, stwierdzili wcześniej dla kukurydzy Chapman i Barreto (1997). Stwierdzono brak istotnych zależności pomiędzy wartościami SPAD i SLW, co oznacza, że zieloność liścia rejestrowana przez chlorofilometr SPAD-502 nie ma związku z gęstością liścia. Uznano jednocześnie, że prawdopodobnie inne odmianowe właściwości liścia, jak ustawienie liści względem padającego promieniowania słonecznego, mogą decydować o przestrzennym rozmieszczeniu chlorofilu w chloroplastach i mieć tym samym wpływ na wartości SPAD. W pracy nr 19, z której wyniki badań zaprezentowałem na X Kongresie European Society for Agronomy w Bolonii, wykazano duże zróżnicowanie wartości współczynnika korekcyjnego wartości SPAD dla tej samej odmiany pszenżyta, w trzech kolejnych sezonach wegetacyjnych w jednej lokalizacji badań. Takie wyniki badań pozwoliły na wnioskowanie o małej przydatności współczynników korekcyjnych wartości SPAD, opracowywanych dla odmian, do eliminacji wpływu odmiany na wartości SPAD. Ponadto w roku 2008, (wyniki niepublikowane), w warunkach gospodarstwa, przetestowano użyteczność współczynników korekcyjnych, opracowanych komercyjnie, na potrzeby wykorzystania chlorofilometru N-tester HNT, przy nawożeniu pszenicy ozimej azotem. Tabele zestawiały ww. współczynniki i podawały zalecane dawki azotu oraz poziom wartości odczytów z chlorofilometru, przy którym zaleca się stosować kolejną dawkę azotu. Stwierdzono, iż pomimo już zastosowanych wysokich dawek azotu, nadal zalecano

stosowanie, wykorzystując ww. tabele, kolejnych, ekonomicznie nieuzasadnionych, wysokich dawek azotu. Dlatego też uznano, że wykorzystanie współczynników korekcyjnych opracowanych dla tych samych odmian pszenicy ozimej, ale w innych warunkach niż nasze krajowe, może prowadzić do błędnych zaleceń w zakresie nawożenia azotem w warunkach polskich.

Ze względu na małą przydatność ww. współczynników korekcyjnych, zaproponowano kalibrację chlorofilometru SPAD-502, w oparciu o tzw. wskaźnik wystarczającego odżywienia roślin azotem (ang. *Nitrogen Sufficiency Index* – NSI). Wówczas wyniki pomiaru z chlorofilometru SPAD-502, uzyskany na polu gdzie oceniano stan odżywienia roślin pszenżyta azotem, porównywany był z wartością SPAD zmierzoną dla roślin na pasie pola, obsianego tą samą odmianą pszenżyta, uprawianego w tych samych warunkach, ale nawożonego wysoką dawką azotu, nieograniczającą wzrostu i rozwoju roślin. Była to oryginalna i niepodawana wcześniej w literaturze z wyjątkiem kukurydzy (Blackmer i Schepers 1994), propozycja kalibracji chlorofilometru SPAD-502, na potrzeby oceny odżywienia azotem różnych odmian pszenżyta ozimego. Rozwinięciem tej metody kalibracji chlorofilometru SPAD-502 były wyniki badań przedstawione w pracy nr 28 i zaprezentowane na VII Kongresie European Society for Agronomy w Kordobie. Wyniki badań Blackmer'a i Schepers'a (1994) wskazywały, że wartość krytyczna NSI, to znaczy taka, przy której stwierdza się niedobory azotu w roślinach kukurydzy i należy zastosować nawożenie tym składnikiem, powinna wynosić 95%. Z uwagi na różne gatunki roślin w badaniach własnych oraz Blackmer'a i Schepers'a (1994), wykonanie kalibracji chlorofilometru SPAD-502 w odniesieniu do wartości NSI, wymagało opracowania odrębnej krytycznej wartości NSI dla pszenżyta ozimego. W badaniach nad pszenżytem, jako metodę odniesienia przyjęto wartość 0,90, wskaźnika odżywienia roślin azotem – NNI. Odczyty z chlorofilometru SPAD-502 uzyskane dla roślin pszenżyta uprawianych na poletkach nawożonych najwyższymi dawkami azotu, z doświadczenia typu 2⁵, w dwu sezonach wegetacyjnych uznano, jako poziom optymalny nieograniczający wzrostu i rozwoju roślin. Dzieląc wartość odczytu SPAD dla każdej obserwacji pochodzącej z ww. doświadczenia, przez wartość SPAD z poletka nawożonego najwyższą dawką azotu uzyskano wartości NSI dla każdej obserwacji. Wykonanie analizy regresji dla zależności pomiędzy wskaźnikami NSI i NNI pozwoliło na wyznaczenie krytycznej wartości wskaźnika NSI, przy założeniu, że optymalna wartość NNI wynosi 0,90. Za wartość krytyczną wskaźnika NSI dla pszenżyta ozimego uznano 98%. Było to rozwiązanie autorskie wskazujące, że uzyskanie w praktyce rolniczej średniej wartości SPAD, na plantacji pszenżyta poddawanej ocenie odżywienia azotem na poziomie poniżej 98% wartości SPAD zmierzonej na pasie pola obsianym wysoką dawką azotu i umiejscowionym w reprezentatywnej części pola, wskazuje na potrzebę nawożenia azotem.

Obszerny przegląd literatury, z zakresu sposobów kalibracji chlorofilometru SPAD-502, na potrzeby oceny odżywienia zbóż azotem, jaki opublikowany został w pracy Samborskiego i Rozbickiego (2004) wskazywał, że w literaturze często spotykane jest odnoszenie wartości SPAD do plonów ziarna, celem kalibracji tego chlorofilometru. Jeśli zależności byłyby silne, odczyty SPAD mogłyby być wskaźnikiem spodziewanych plonów ziarna. Dlatego też wykorzystując wyniki badań z doświadczenia odmianowego (split-plot) z pszenżytem ozimym z lat 2001-2003, wykonano analizę zależności plonu ziarna od wartości SPAD, zmierzonych w stadium początku strzelania w źdźbło, pojawiania się ości i pełni kwitnienia. Wyniki tych badań opublikowano w pracy nr 20. Uzyskano słabe zależności plonu ziarna od wartości SPAD, które zmierzono w trakcie wegetacji roślin

pszenżyta. Możliwą przyczyną był dość długi okres, jaki upływał między pomiarami SPAD w stadiach GS 31, GS 49 i GS 65, a zbiorem pszenżyta, było to średnio dla 3 lata badań, odpowiednio 94, 72 i 59 dni. W tym czasie inne czynniki, poza odżywieniem roślin azotem, takie jak: susza, wyleganie, porażenie przez patogeny, mogły w nieprzewidywalny sposób kształtować plony ziarna (Hoel 1998). Stwierdzono tym samym, że kalibracja chlorofilometru SPAD-502 w odniesieniu do plonu ziarna pszenżyta nie jest rozwiązaniem skutecznym i jako bardziej skuteczną metodę zalecono kalibrację ww. chlorofilometru z wykorzystaniem wskaźnika NSI, prezentowaną wcześniej w pracy nr 28.

Powyższe obserwacje, zachęciły mnie do przeprowadzenia badań, których celem była ocena wpływu innych czynników, niż nawożenie azotem na odczyty SPAD pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.). Tym razem badania, które ja wykonałem były częścią większego doświadczenia trwałego zlokalizowanego w Stacji Doświadczalnej WRiB w Skierniewicach, w latach 2004 i 2005 na potrzeby pracy doktorskiej Dr inż. Gienadija Peskovskiego, pod kierownictwem Prof. dr hab. Jana Rozbickiego. Na podstawie danych pochodzących z ww. doświadczenia dokonałem oceny wpływu nawożenia azotem, fosforem, potasem i wapnowania na odczyty SPAD. Wyniki tych badań opublikowano w pracy nr 22. Czynnikiem doświadczenia były cztery odmiany pszenicy i sześć kombinacji nawożenia: Ca, CaNPK, NPK, CaPK, CaNP, CaNK. Różne sposoby nawożenia pszenicy wykazały słaby, ale w niektórych terminach pomiarów istotny wpływ na wartości SPAD. Jedyną zaobserwowaną prawidłowością, zarówno w trakcie wykonywania każdego z trzech pomiarów SPAD w stadiach GS 31, 32-33 i 49 (Zadoks i in. 1974), jak i w dwu latach badań, było uzyskanie istotnie wyższych odczytów SPAD dla roślin nawożonych NPK. Stwierdzono też, że uzyskiwanie wyższych wartości SPAD na poletkach niewapnowanych może dawać mylne wrażenie dobrego odżywienia azotem i prowadzić do niedoborów tego makroelementu w roślinach pszenicy. Zatem uznano, że wykorzystanie chlorofilometru SPAD-502 do oceny odżywienia pszenicy ozimej azotem, powinno być ograniczone do pól systematycznie wapnowanych.

Przegląd badań nad wykorzystaniem chlorofilometru SPAD-502 do oceny stanu odżywienia roślin azotem i sposoby jego kalibracji

Prowadzenie badań z zakresu wykorzystania chlorofilometru SPAD-502 do oceny stanu odżywienia pszenżyta ozimego azotem w ramach grantu promotorskiego „Wykorzystanie pomiaru zawartości chlorofilu do diagnozowania stanu odżywienia azotem roślin pszenżyta ozimego” sprawiło, że zainteresowałem się tą tematyką szerzej, tj. możliwościami wykorzystania ww. urządzenia także w innych gatunkach roślin. Jednocześnie stwierdziłem brak obszernych opracowań na ten temat w języku polskim, co skłoniło mnie do napisania dwóch prac przeglądowych nr 23 i 26. Pierwsza z tych prac opublikowana w roku 2002, obejmuje szeroki przegląd badań nad wykorzystaniem chlorofilometru SPAD-502 do oceny stanu odżywienia roślin azotem. W pracy tej przedstawiono, aktualny w owym czasie, stan wiedzy w literaturze światowej z zakresu:

- ✓ zależności pomiędzy zawartością azotu i chlorofilu w roślinie, a odczytami SPAD,
- ✓ zastosowania chlorofilometru do oceny stanu odżywienia azotem różnych gatunków roślin,
- ✓ wpływu różnych czynników na wartości SPAD,
- ✓ próby eliminacji wpływu odmiany na odczyty SPAD,
- ✓ metodyki wykorzystania chlorofilometru,
- ✓ terminu wykonywania pomiarów.

Druga praca przeglądowa opublikowana w roku 2004, obejmuje zagadnienia wykorzystania różnych metod kalibracji chlorofilometru do oceny stanu odżywienia zbóż azotem. W artykule tym, uwzględniając dostępną literaturę światową opisano następujące metody kalibracji chlorofilometru SPAD-502, w odniesieniu do: plonu ziarna, zawartości azotu w liściu i wskaźnika odżywienia roślin azotem. Uznano ponadto, iż brak ujednoczonego sposobu kalibracji chlorofilometru SPAD-502 wskazuje na potrzebę prowadzenia badań, które doprowadzą do opracowania prostych metod kalibracji tego urządzenia, przydatnych w warunkach praktyki rolniczej.

Ocena wartości żywieniowej ziarna tradycyjnych i krótkosłomych odmian pszenżyta ozimego

Badania wykonane na doświadczeniu typu split-plot w ramach projektu KBN – „Wykorzystanie pomiaru zawartości chlorofilu do diagnozowania stanu odżywienia azotem roślin pszenżyta ozimego” obejmowały także ocenę wpływu odmiany pszenżyta, na jakość ziarna. Mój udział w tych badaniach polegał na zaplanowaniu i wykonaniu doświadczeń polowych oraz badań laboratoryjnych, interpretacji części wyników badań i redagowaniu publikacji.

Celem badań, których wyniki zostały opublikowane w pracy nr 1, była ocena przydatności ziarna pszenżyta ozimego na cele chlebowe, w zależności od nawożenia azotem. Analizowano następujące wyróżniki, jakości ziarna: gęstość ziarna, liczbę opadania Hagberg’a, zawartość białka i wskaźnik sedymentacji Zeleny’ego.

Na podstawie wyników z dwóch lat badań stwierdzono, że odmiany pszenżyta *Lasko*, *Alzo* oraz *Pronto* wykazywały najwyższą przydatność na cele chlebowe. Nawożenie azotem istotnie zwiększyło zawartość białka w ziarnie i poprawiało, jakość białka wyrażoną wskaźnikiem sedymentacji Zeleny’ego. Najwyższe dawki azotu ($170 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) przyczyniły się do istotnego obniżenia gęstości ziarna w stanie zsympnym.

W pracy nr 17 przedstawiono wyniki badań 3-letnich wykonanych w ramach ww. projektu. Celem tych badań, poza określeniem wpływu nawożenia azotem, na jakość ziarna odmian pszenżyta ozimego, było zbadanie istotności współdziałań czynników doświadczenia (odmiana x nawożenie azotem), na jakość ziarna oraz analiza zależności zachodzących pomiędzy wyróżnikami jakości ziarna. Stwierdzono, iż kolejne dawki nawożenia azotem istotnie zwiększały zawartość białka w ziarnie, natomiast gęstość ziarna oraz masa tysiąca ziaren (MTZ) uległy zwiększeniu wraz ze wzrostem dawki azotu z 0 do $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Dalsze zwiększanie dawki azotu do $170 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, powodowało obniżenie wartości tych cech jakości ziarna. Stwierdzono ponadto, że liczba opadania, gęstość ziarna w stanie zsympnym i MTZ są cechami dodatnio skorelowanymi między sobą (słabiej liczba opadania i MTZ), natomiast zawartość białka w ziarnie jest ujemnie skorelowana z pozostałymi cechami jakości ziarna. Oznacza to, że np. zwiększenie nawożenia azotem może pozytywnie wpływać na zawartość białka w ziarnie, ale jednocześnie może powodować zmniejszenie liczby opadania, gęstości ziarna w stanie zsympnym i MTZ.

W pracy nr 24 rozszerzono zakres wyników badań opisanych powyżej, o ocenę właściwości przemiałowych ziarna i wypiekowych mąki pszenżyta ozimego. Badania te wykonano we współpracy z Katedrą Technologii Zbóż, Nasion Oleistych i Koncentratów Spożywczych, SGGW w Warszawie. Wykazano, iż nawożenie azotem pogarszało właściwości przemiałowe ziarna, ale wpływało pozytywnie na właściwości wypiekowe mąki.

Ocena plonowania pszenżyta ozimego oraz zależności pomiędzy składowymi plonu

Badania dotyczące tego zagadnienia prowadzono w oparciu o doświadczenia już wcześniej wymienione typu 2⁵ i typu split-plot, opisane w pracach nr 6, 7, 8, 9, 10 i 21. Mój udział w tych badaniach polegał na wykonaniu znacznej części doświadczeń polowych, zebraniu danych do analiz statystycznych, dyskusji uzyskanych wyników z literaturą, oraz interpretacji wyników od strony agronomicznej. Interesowała mnie głównie powtarzalność uzyskiwanych zależności pomiędzy składowymi plonu, a plonem ziarna oraz określenie przydatności tych wyników badań dla praktyki rolniczej. Składowe plonu roślin uprawnych, w tym pszenżyta ozimego; liczba kłosów na jednostce powierzchni, przeciętna liczba ziaren w kłosie oraz przeciętna masa ziarniaka – standardowo przeliczana na masę tysiąca ziaren – MTZ, podlegają ciągłemu kształtowaniu w trakcie ontogenezy roślin. Wspólne zależności pomiędzy składowymi plonu oraz ich wpływ na plon ziarna można opisać ogólnym sekwencyjnym modelem przyczynowo-skutkowym (Mądry i Kozak 2000). Specyfika tego modelu polega na tym, że kolejne cechy w trakcie procesu ontogenezy mogą (choć nie muszą) kształtować cechy następujące po nich, nie będąc przy tym przez te cechy warunkowane. Zasadniczy wpływ na formowanie plonu i jego składowych mają warunki siedliska, w praktyce niezależne od producenta, oraz niektóre czynniki agrotechniczne. W przypadku pszenżyta ozimego są to przede wszystkim termin stosowania i wielkość dawki azotu oraz termin siewu (Rozbicki 1997). Przełom w hodowli pszenżyta ozimego stanowią odmiany krótkosłome. Postawiono, więc pytanie, czy znaczne skrócenie źdźbła rośliny, z jakim mamy do czynienia w przypadku odmian krótkosłomych, ma wpływ na kształtowanie się plonu ziarna? Jak również czy odmiany krótkosłome mają odmienny sposób kształtowania składowych plonu?

Celem badań, których wyniki opublikowano w pracy nr 21, była ocena możliwości wykorzystania metody analizy składowych plonu przy użyciu pierwotnych cech rozwojowych, oraz określenie i porównanie uwarunkowania plonu przez jego składowe dla dwu morfologicznie różnych odmian pszenżyta ozimego, tj. *Bogo* (odmiana tradycyjna) i *Fidelio* (odmiana krótkosłoma).

Analiza składowych plonu ziarna z wykorzystaniem pierwotnych cech rozwojowych wykazała, że uwarunkowanie plonu przez jego składowe różniło się w zauważalnym, lecz niewielkim stopniu u badanych odmian pszenżyta ozimego. U obu odmian najmniej istotną składową w kształtowaniu plonu była liczba kłosów na 1m²; w przypadku odmiany *Bogo* wpływ tej składowej był niewielki, zaś plon ziarna odmiany *Fidelio* w ogóle nie zależał od tej składowej. Oznaczać może to, że dążenie do uzyskania bardzo dużej obsady kłosów, które często jest obserwowane w praktyce rolniczej, przez stosowanie nadmiernej ilości wysiewu (Rozbicki i Mądry 1999), nie jest konieczne. Znaczenie w tworzeniu plonu ziarna mogą mieć także pozostałe składowe plonu, które mogą kompensować, np. obniżoną obsadę kłosów. Najbardziej niespodziewanym wynikiem było duże znaczenie MTZ w kształtowaniu plonu ziarna. Co może być uzasadnione w latach, gdy wystąpią niesprzyjające warunki pogodowe w trakcie tworzenia się ziarniaków (dojrzałość ziarna przedwcześnie zakończona), czyli kształtowania się MTZ. W przypadku obu odmian zwiększenie liczby kłosów na jednostce powierzchni pociągało za sobą redukcję pozostałych składowych plonu. Występowanie kompensacji składowych plonu wydaje się bardziej prawdopodobne w rzadszych łańcach pszenżyta i przy dobrej dostępności składników pokarmowych oraz wody w późniejszych etapach rozwoju roślin, które nie zostały wykorzystane, po rozpoczęciu wegetacji wiosennej, do wytworzenia dużej liczby kłosów na jednostce powierzchni. W sytuacji przeciwnej, wystąpienia suszy w okresie końca krzewienia, kiedy liczba potencjalnych pędów

kłosonośnych jest największa, roślina dążąc do utrzymania przy życiu przynajmniej części z nich, ogranicza rozwój składowych plonu powstających później w trakcie jej ontogenezy.

W pracy nr 6, przedstawiono zastosowanie nowej metody analizy kształtowania plonu ziarna przez jego składowe, wykorzystując cechy roślin, które kształtują się niesekwencyjnie i mają wpływ na inne właściwości roślin. Posłużono się dwoma przykładami: 1) kształtowanie plonu ziarna pszenżyta ozimego odmiany tradycyjnej (*Bogo*) i krótkosłomej (*Fidelio*), przez współczynnik plonowania rolniczego i całkowity plon biomasy nadziemnej; 2) zależność pobrania azotu z plonem roślin, ww. odmian pszenżyta, od efektywności pobrania azotu przez rośliny i całkowitej dostępności azotu dla roślin z nawozów i gleby. Dane przeanalizowano trzema metodami: analizą ścieżek, metodą Piepho (1995) i niesekwencyjnej analizy składowych plonu. Ostatnia metoda była nowym autorskim rozwiązaniem. W przypadku pierwszego zestawu danych, dla obu odmian uzyskano zbliżone wyniki dla każdej z trzech metod. Dla drugiego zestawu danych, w przypadku obu odmian, analiza ścieżek i metoda Piepho wykazały znacznie silniejszy wpływ całkowitej dostępności azotu dla roślin na pobranie azotu przez rośliny niż efektywności pobrania azotu przez rośliny. Uznano, że nowa metoda niesekwencyjnej analizy składowych plonu, może mieć także zastosowanie do analizy innych cech roślin tutaj nieanalizowanych, które kształtują się w tym samym czasie, w trakcie rozwoju roślin.

Wyniki analiz dotyczące wpływu efektywności pobrania azotu przez rośliny i całkowitej dostępności azotu dla roślin z nawozów i gleby na pobranie azotu przez rośliny, opisane powyżej, stały się inspiracją do napisania artykułu dyskusyjnego. Celem tej pracy (nr 18), było poddanie dyskusji tematu, który jest tytułem tego artykułu. A mianowicie: *Czy pobranie azotu przez rośliny wpływa na efektywność pobrania azotu przez rośliny, czy może jest odwrotnie?* Gdy przeanalizować sposób wyliczania efektywności pobrania azotu przez rośliny, czyli iloraz ilości azotu pobranego z plonem roślin i całkowitej ilości azotu dostępnej dla roślin z nawozów i gleby, odpowiedź wydaje się bardzo prosta: ilość azotu pobranego przez rośliny decyduje o efektywności jego pobrania. Jednak wyniki rozważań doprowadziły nas do odmiennego wniosku. Za cel rozważań przyjęliśmy grupę odmian pszenicy, z których każda charakteryzuje się swoistymi cechami, np. potencjał plonowania, współczynnik plonowania rolniczego, odporność na choroby i szkodniki, efektywność pobrania azotu, itd. Uznaliśmy, że ta ostatnia cecha decyduje o tym, z jaką wydajnością rośliny pszenicy danej odmiany pobierają azot dostępny z nawozów i gleby. Otóż, rośliny jednej odmiany pszenicy powinny mieć bardzo zbliżoną efektywność pobrania azotu, ale zazwyczaj różną od roślin pszenicy innej odmiany, jeśli założyć taką samą dostępność azotu dla roślin, obu odmian. Tak, więc najbardziej właściwą odpowiedzią na pytanie postawione w tytule naszego artykułu wydawała się następująca: pobranie azotu przez rośliny zależy od swoistej dla danej odmiany efektywności pobrania azotu i od całkowitej ilości azotu dostępnej dla roślin z nawozów i gleby. Gdy z jakiś względów azot jest trudniej dostępny dla roślin, odmiany o wyższej efektywności pobrania azotu będą go pobierać z większą wydajnością.

Wyniki badań przedstawione w pracy nr 21, i opisane wcześniej, były dość niespodziewane, bo wskazywały, że liczba kłosów na jednostce powierzchni może nie być składową plonu ziarna pszenżyta ozimego, która kształtuje go w największym stopniu. Dlatego też wykonano analizę, znacznie szerszego zbioru danych dotyczących składowych plonu ziarna, dla 15 (w tym 4 krótkosłomych) odmian pszenżyta ozimego, uzyskanych w trzech kolejnych sezonach wegetacyjnych, pochodzących z ww. doświadczeń typu split-plot. Wyniki tych analiz przedstawiono w pracy nr 7. Celem tych badań było określenie różnicowania odmianowego w zakresie kształtowania plonu ziarna przez jego składowe.

Wyniki badań wykazały, że nie jest możliwe podanie dla wielu odmian jednego sposobu kształtowania plonu ziarna pszenżyta ozimego przez jego składowe. Stwierdzono, że nawet w przypadku odmian o tej samej strukturze danych plonu (zbliżone średnie oraz zróżnicowanie plonu ziarna i jego składowych), udział poszczególnych składowych w kształtowaniu plonu był odmienny. Liczba kłosów na jednostce powierzchni, często uznawana za najważniejszą w kształtowaniu plonu ziarna, okazała się jednak dla większości badanych odmian składową nie najistotniejszą. Uznano, że nie można jednoznacznie określić, która składowa plonu w największym stopniu decyduje o plonie ziarna pszenżyta ozimego. Niewątpliwie, jak najwięcej starań należy poczynić, uwzględniając czynniki agrotechniczne, aby rośliny wytworzyły dorodny łan już na etapie krzewienia i początku strzelania w źdźbło, kiedy kształtują się dwie pierwsze składowe plonu: liczba kłosów na jednostce powierzchni i liczba ziaren w kłosie. Wzrost roślin na tym etapie rozwoju roślin, zazwyczaj nie jest jeszcze ograniczany przez niedobory wody w warunkach środkowej Polski, dlatego też nawożenie azotem, ochrona fungicydowa, herbicydowa oraz stosowanie regulatorów wzrostu może być skuteczne w kształtowaniu plonu ziarna.

Zagadnieniem opisanym w kolejnej pracy nr 8, była ocena stabilności plonowania i składowych plonu tych samych 15, jak w pracy nr 7, odmian pszenżyta ozimego. W analizie współdziałania odmiany ze środowiskiem, jako to ostatnie potraktowano kombinację rok uprawy \times nawożenie azotem.

Stwierdzono, że odmiana *Kitaro* dawała istotnie większe, zaś odmiana *Janko* istotnie mniejsze plony ziarna od średniej środowiskowej. Istotną reakcją odmiany na warunki uprawy stwierdzono dla genotypów: *Fidelio*, *DED798*, *Ugo*, *Alzo* oraz *Janko*. Pozostałe odmiany uznano za plonujące stabilnie, tzn. plony ziarna tych odmian zmieniały się proporcjonalnie do warunków uprawy (Mađry i Rajfura, 2003).

Rozwinięciem tematu wpływu składowych plonu na formowanie się plonu ziarna pszenżyta ozimego oraz oceny zmienności plonu i składowych, były badania wykonane w sezonie 2004/2005 w trzech miejscowościach: Laski (Mazowsze, powiat grójecki), Dębina (Żuławy, powiat malborski), Sobiejuchy (Kujawy, powiat żniński), we współpracy z Hodowlą Roślin Danko Sp. z o.o. Wynik badań przedstawione w pracach nr 9 i 10, obejmowały 40 rodów hodowlanych pszenżyta ozimego (15 krótkosłomych i 25 długosłomych) pochodzących z ww. hodowli.

Stwierdzono, iż w każdym środowisku rody pszenżyta różniły się znacząco pod względem wielkości składowych plonu, natomiast zmienność plonu ziarna była relatywnie niewielka, z powodu kompensacji liczby kłosów na m² i liczby ziaren w kłosie. Sposób formowania się plonu ziarna pszenżyta ozimego przez składowe plonu podlegał współdziałaniu genotypu ze środowiskiem, które może utrudniać wybór kryteriów selekcji, uwzględniających jednocześnie trzy składowe plonu. Największe plony ziarna rodów pszenżyta były zwykle uwarunkowane przez relatywnie wysokie wartości jednocześnie dwóch składowych plonu, przy niezbyt dużej redukcji trzeciej składowej, nie zaś przez zrównoważony udział wszystkich trzech składowych. Dlatego też stwierdzono, że ideotyp wysokoplonującej i stabilnej odmiany pszenżyta ozimego w warunkach Polski powinien odznaczać się umiarkowanie dużymi wartościami, co najmniej dwóch dowolnych składowych plonu, z wykluczeniem bardzo niskiej wartości trzeciej składowej.

W pracy nr 15, opublikowano wyniki badań wykonanych przez Dr inż. Agnieszkę Rutkowską z IUNG-PIB w Puławach. Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współopisie i interpretacji wyników badań z uwagi na fakt, że miałem już pewne doświadczenie wynikające z obszernych badań, jakie wykonaliśmy wcześniej w podobnym

zakresie, dla pszenżyta ozimego. Celem badań wykonanych w IUNG-PIB w Puławach było określenie optymalnego poziomu składowych plonu ziarna pszenicy ozimej, jak również dawek azotu i terminów jego stosowania, które umożliwiają uzyskanie ww. poziomu składowych plonu. Dane do analiz pochodziły z 3-letniego doświadczenia polowego. Pierwszym czynnikiem doświadczenia było pięć dawek azotu, w zakresie od 0 do 160 kg·ha⁻¹, stosowanych podczas ruszenia wegetacji, drugim zaś stosowanie dawki 40 kg N·ha⁻¹, w trakcie kłoszenia lub w trakcie kwitnienia roślin, jak również w obu ww. terminach.

Największy plon ziarna uzyskano przy obsadzie 490 kłosów na 1m², 26 ziarniakach w kłosie i MTZ – 46 gramów. Takie wartości składowych plonu uzyskano stosując łącznie 160 kg N·ha⁻¹, w tym 120 kg·ha⁻¹ podczas ruszenia wegetacji i 40 kg·ha⁻¹ w trakcie kłoszenia bądź kwitnienia lub 80 kg N·ha⁻¹ na początku ruszenia wegetacji i po 40 kg·ha⁻¹ zarówno w trakcie kłoszenia, jaki i kwitnienia roślin.

Ocena efektywności ekonomicznej odkamieniania dużych pól uprawnych pod uprawę ziemniaków (*Solanum tuberosum* L.)

Kolejnym etapem mojego rozwoju naukowego było prowadzenie badań w gospodarstwach rolnych na dużych polach uprawnych. Takie podejście do wykonywania badań, z jednej strony je utrudnia, bo mamy do czynienia z dużą zmiennością przestrzenną pól. Z drugiej zaś daje możliwości badania zagadnień, wynikających bezpośrednio z praktyki rolniczej, z wykorzystaniem maszyn i narzędzi aktualnie wykorzystywanych w gospodarstwach. Ponadto prowadząc badania w takich warunkach, unikamy problemu transferu wyników badań z małych doświadczeń polowych na duże pola. Zainspirowany możliwością prowadzenia takich doświadczeń, w roku 2006 pod moim kierownictwem wykonano badania na 6 dużych polach uprawnych ziemniaka (łącznie około 120 ha), gospodarstwa Farm Frites Poland Dwa Sp. z o.o. Zakamienienie pól jest jednym z czynników, który ma wpływ na jakość bulw ziemniaka dostarczanego do przemysłu (Gruczek 2002). Jak wynikało z obliczeń, wykonanych na podstawie rzeczywistych danych pochodzących z gospodarstwa, koszty odkamieniania były wysokie i mogły przewyższać, korzyści wynikające z ewentualnej poprawy jakości bulw, uzyskanej na skutek stosowania odkamieniania. Celem badań była ocena efektywności ekonomicznej odkamieniania pola pod uprawę ziemniaków przeznaczonych do produkcji frytek, trzech odmian: *Asterix*, *Innovator* i *Russet Burbank*. Na podstawie wykonanych badań, których wyniki opublikowano w pracy nr 16, stwierdzono, że bez względu na odmianę i lokalizację plantacji (pole), partie bulw pochodzące z pól nieodkamienionych charakteryzowały się istotnie gorszą jakością. Zarówno w przypadku uprawy ziemniaka z odkamienianiem i jaki bez odkamieniania, czynnikiem silnie wpływającym na jakość bulw były warunki zbioru, a szczególnie wilgotność gleby. W latach z dużą ilością opadów w trakcie wegetacji ziemniaków, zbiór ze względu na szybsze obsychanie pól, jest zazwyczaj łatwiejszy na glebach nieodkamienionych. Stwierdzono ponadto, że brak odkamieniania gleby pod uprawę ziemniaków przyniósł znaczne oszczędności z tytułu zarówno mniejszych nakładów ciągnikogodzin, ograniczenia parku maszynowego i kosztów jego amortyzacji oraz utrzymania. Zalecono również, aby przed podjęciem decyzji o wdrożeniu kosztochłonnej technologii odkamieniania gleby pod uprawę ziemniaków, wykonywać badanie pola na wielkość zakamienienia. Podkreślić należy ponadto, że były to pierwsze w Polsce tego typu badania wykonane na tak dużym areale uprawy ziemniaka. A wyniki tych badań, w niektórych przypadkach, mogą być podstawą do zaniechania wdrażania, bądź rezygnacji z już stosowanej, kosztochłonnej technologii odkamieniania pól ziemniaków.

Wpływ czynników agrotechnicznych na produktywność pszenicy ozimej w warunkach dużego udziału zbóż w zmianowaniu

Wyniki badań, pochodziły z doświadczeń typu 2⁷ (128 poletek każdy), które wykonano na potrzeby pracy doktorskiej Dr inż. Marcina Pisarka, pod kierownictwem Prof. dr hab. Jana Rozbickiego, w latach 1999-2002. Doświadczenie obejmowało siedem czynników agrotechnicznych (termin siewu, zaprawa *Latitude*, przedplon, program ochrony fungicydowej, dawka azotu podczas ruszenia wegetacji wiosną oraz w stadium 31 i 49), każdy na dwu poziomach. Mój udział w tych doświadczeniach miał charakter pomocniczy, przy pomiarach biometrycznych oraz częściowo przy interpretacji i opisie wyników badań. W Polsce uprawa pszenicy, prowadzona jest od połowy lat 90. ubiegłego wieku w warunkach nadmiernego udziału zbóż w zasiewach, średnio w granicach 73-77%, a w wielu regionach ponad 90% (GUS 2011). Tak duży udział zbóż w zasiewach wiąże się z większym nasileniem występowania niektórych chorób grzybowych, szkodników i zachwaszczenia. Ponadto przy takim systemie uprawy pszenicy, zmniejsza się ilość dostępnych makro i mikroelementów dla roślin, pogarszają się właściwości fizyczne gleby, a z resztek poźniwnych uwalniane są fitotoksyczne substancje.

Celem badań, których wyniki zamieszczono w pracy nr 11, była ocena możliwości ograniczenia 7. ww. czynnikami agrotechnicznymi negatywnych skutków uprawy pszenicy po pszenicy w warunkach nadmiernego udziału zbóż w zasiewach.

Stwierdzono, że opóźnienie termin siewu w największym stopniu ograniczało plon suchej biomasy, średnio o 12,3%, a w roku o warunkach hydrotermicznych od skrajnie suchych do suchych o 32,5%, jak również w niewielkim stopniu (od 1,6 do 3,1%) ograniczało wskaźnik porażenia zgorzelą podstawy źdźbła – TAI (ang. *take-all index*). Zaprawa *Latitude* w podobnym stopniu jak termin siewu zmniejszała wskaźnik TAI. Przedplon z bobiku poprawiał odżywienie roślin pszenicy azotem i w największym stopniu, spośród badanych czynników, ograniczał wskaźnik TAI.

W pracy nr 12, będącej drugą częścią powyżej opisanych badań, zamieszczono wyniki dotyczące wpływu ww. czynników agrotechnicznych, na wielkość plonu ziarna pszenicy ozimej, uprawianej w warunkach nadmiernego udziału zbóż w zasiewach. Stwierdzono, iż istotny wpływ na wielkość plonu ziarna pszenicy ozimej miał: termin siewu, przedplon i ochrona fungicydowa. Opóźnienie terminu siewu do końca pierwszej dekady października spowodowało zmniejszenie plonu ziarna średnio o 15,7%, a w roku o warunkach hydrotermicznych od skrajnie suchych do suchych w maju i czerwcu, o 32,7%. Uprawa pszenicy po pszenicy, powodowała zmniejszenie plonu ziarna średnio o 13,4%. Zastosowanie ograniczonej ochrony fungicydowej w stosunku do pełnej, obniżyło plon ziarna o 5,90%, a w warunkach hydrotermicznych wilgotnych i bardzo wilgotnych w miesiącu czerwcu i lipcu, o 13,6%.

Wykorzystanie informacji o zmienności przestrzennej pól uprawnych (pozorna przewodność elektryczna gleby, zasobność gleby w makroelementy i pH, wskaźnik NDVI, plony roślin, ukształtowanie terenu) w rolnictwie precyzyjnym

Obserwacja, zmienności glebowej pól uprawnych, w czasie wyboru obszarów pól pod doświadczenia ściśle w latach 1999-2002, szczególnie dobrze widocznej w latach suchych sprawiła, że zainteresowałem się nowoczesnymi metodami oceny tej zmienności. Jak również systemem rolnictwa, nazywanego precyzyjnym, gdzie poszczególne obszary – „strefy produkcyjne” – pola uprawnego są traktowane z różnym nakładem środków produkcji (nawozy, środki ochrony roślin, woda, materiał siewny). Aczkolwiek badania w zakresie

zmienności przestrzennej gleb prowadzono zanim zaistniała potrzeba ich praktycznego wykorzystania w rolnictwie precyzyjnym (Campbell 1979; Webster i Burgess 1984).

Pierwsze wyniki badań dotyczące oceny zmienności przestrzennej pól uprawnych opublikowaliśmy w pracy nr 4. Dane do analiz pozyskano w roku 2009 z dwóch pól uprawnych obsianych pszenicą ozimą, odmian: *Fregata* i *Potenzial*, zlokalizowanych na Kujawach. Na podstawie prób roślin i gleby pobranych (z miejsc o znanych współrzędnych geograficznych), oceniono: wielkość plonu ziarna, zawartość białka w ziarnie, zasobność gleby w makroelementy (P, K i Mg) oraz pH gleby. Ocenę zmienności przestrzennej badanych cech wykonano wykorzystując parametry wariogramów teoretycznych (próg, zakres, efekt samorodka i wariancję strukturalną). Na podstawie uzyskanych wyników badań uznano, że znajomość tych parametrów dla pól, może być wykorzystywana, m.in. przy optymalizacji wyznaczania miejsc pobierania próbek gleby i oceny przydatności pól pod doświadczenia ściśle. Najsilniejsze zależności przestrzenne stwierdzono dla zasobności gleby w fosfor (pole nr 1), magnez i plon ziarna (pole nr 2). Natomiast największą zmienność przestrzenną i losowy charakter tej zmienności, w obrębie obu badanych pól, wykazano dla zasobności gleby w potas.

W roku 2008 zainteresowałem się zagadnieniem często poruszonym przez rolników, którzy zaczynają wdrażać techniki rolnictwa precyzyjnego, a mianowicie dokładnością oceny zasobności gleby w P, K, Mg i pH gleby, przy pobieraniu próbek gleby z różną gęstością. Jak również tym, jak różna gęstość pobierania próbek gleby wpływa na uzyskiwane wyniki oceny zasobności gleby, a te na ilość wysiewanych nawozów. Wyniki tych badań opublikowano w pracy nr 30. Badania wykonano na polu 45 ha, gdzie dominowały gleby brunatne właściwe i brunatne kwaśne, o składzie granulometrycznym gliny piaszczystej. Próbkę zbiorczą gleby pobierano w siatce 1, 2 i 4 ha. Dobór takiej wielkości siatki pobierania próbek gleby wynikał z faktu, że Polska Norma (PN-R-04031, 1997) zaleca pobieranie zbiorczej próbki gleby z obszarów pól właśnie w tym zakresie. Wyniki badań wykazały, że pobieranie próbek gleby z różną gęstością, nie zmieniło znacząco średnich, dla całego pola, zasobności gleby w P, K i Mg i odczynu gleby. Mapy rozkładu potrzeb wapnowania i zasobności gleby w P, K i Mg w obrębie pola, wykonane z założeniem uprawy pszenicy ozimej, były podobne dla 1 i 2 ha siatki pobierania próbek gleby i nie znacząco inne dla siatki 4 ha. Dlatego też uznano, że w przypadku tego pola i pól o podobnej historii nawozowej, pobieranie próbek gleby z gęstością większą niż 1 próba zbiorcza na 4 ha jest nieuzasadnione.

Wyniki badań opublikowane w artykułach nr 2, 3 i 5, pochodzą z doświadczeń wykonanych w latach 2009-2012, w ramach projektu nr N N310 089036, finansowanego przez MNiSW, którego byłem kierownikiem.

Jednym z najbardziej znanych narzędzi rolnictwa precyzyjnego, stosowanych od początku lat 90. XX wieku, jest mapowanie plonów. Proces ten polega na ciągłej rejestracji, w trakcie zbioru rośliny, danych dotyczących wielkości plonu np. ziarna z jednoczesnym zapisem współrzędnych geograficznych miejsc, z których ww. dane pochodzą. Mapy plonu mogą być wartościowym źródłem danych tylko wówczas, kiedy odzwierciedlają rzeczywiste zróżnicowanie plonów roślin w obrębie pola (Faber, 1998). Jednak ze względu na dynamikę przemieszczania się ziarna przez różne zespoły robocze kombajnu, np. zmianę prędkości i kierunku jazdy kombajnu, możliwą nieprawidłową kalibrację wielu czujników, które rejestrują różne parametry kombajnu, na potrzeby wyliczenia plonu ziarna, surowe dane plonu mogą zawierać tzw. dane odstające (ang. *data outliers*). Są to dane błędne, zupełnie niepokrywające się z rzeczywistymi wartościami plonu. Ze względu na fakt, że nie jest możliwa walidacja jakości danych zarejestrowanych przez system mapowania plonów,

w odniesieniu do rzeczywistych danych plonu, do wykrywania odstających danych plonu wykorzystuje się metody statystyczne. Celem badań, których wyniki opublikowano w pracy nr 5, była ocena przydatności trzech metod statystycznych do wykrywania błędnych danych na mapach plonu. Jedną z metod, uznana za referencyjną, bazowała na ocenie histogramu plonów ziarna. Mianowicie plony ziarna poniżej 1 i powyżej 10 t·ha⁻¹ uznano za nierealne do osiągnięcia na tym polu, w danym sezonie wegetacyjnym. Dwie pozostałe metody odnosiły się zaś do oceny lokalnego współczynnika autokorelacji przestrzennej *I Morana* (Anselin 1995), dla danych plonu. Analizy wykonano na danych plonu pszenicy ozimej zarejestrowanych w roku 2009, przez dwa kombajny Claas Lexion 560, na polu o powierzchni 21,9 ha, zlokalizowanym na Pomorzu Środkowym.

Stwierdzono, że wykrywanie odstających danych plonu ziarna bazujące na wartości współczynnika autokorelacji *I Morana*, może być szczególnie przydatne przy usuwaniu odstających danych plonu, które znajdują się w sąsiedztwie danych, które można uznać, za realne, wiarygodne dane plonu. Natomiast w pozostałych przypadkach, np. dużej liczby odstających danych plonu, zarejestrowanych przy granicach pól, skuteczność tej metody była niewystarczająca, gdyż dane plonu, w tych obszarach pól, mogą być silnie ze sobą skorelowane, ale zarazem nierealistyczne, np. poniżej 0,5 t·ha⁻¹. Skuteczną metodą wykrywania odstających danych plonu nie była również ujemna wartość *I Morana*, ponieważ wiele takich danych, które wykryto analizując histogram danych plonu, nie zostało uznanych za odstające wykorzystując ujemną wartość *I Morana*. Ponadto stwierdzono, że wskaźnikiem odstających danych plonu, może być zarówno ujemna wartość współczynnika autokorelacji *I Morana*, jak i jego bardzo wysoka wartość.

Zebranie wiarygodnych danych plonu roślin, tj. nie zawierających danych odstających, dla tego samego pola w kolejnych latach, pozwala wydzielać strefy produkcyjne (plonowania). Są to części pola, które charakteryzują się różnym poziomem plonowania w obrębie pola, ale zbliżonym na przestrzeni lat, w których mogą być stosowane różne ilości nawozów, pestycydów czy nasion. Jednak nadal na większości pól, ze względu brak dostępu do systemów mapowania plonu, przestrzenne dane plonu nie są rejestrowane. Dlatego też ważnym wydawało się określenie, które właściwości gleby i roślin byłyby najważniejszymi przy wydzieleniu stref plonowania roślin w obrębie dwóch pól uprawnych (22 i 45 ha), zlokalizowanych na Pomorzu Środkowym, jeśli założyć, że nie mamy dostępu do przestrzennych danych plonu. Wyniki tychże badań opublikowano w pracy nr 3.

Traktując, jako metodę referencyjną, w obrębie każdego pola wydzielono strefę niskich i wysokich plonów ziarna. Dla pola mniejszego, wykorzystano średnie standaryzowane dane plonu zarejestrowane przez system mapowania plonu w ciągu trzech, zaś dla większego pola w ciągu pięciu sezonów wegetacyjnych. W obrębie ww. pól pobrano odpowiednio 58 i 60 nienaruszonych próbek gleby, w których oceniono następujące właściwości chemiczne: sumę kationów wymiennych, zasobność w P, K i Mg, pH gleby, zawartość węgla organicznego i azotu oraz fizyczne: zawartość frakcji piasku, ilu i pyłu, gęstość, objętość makroporów, ilość wody dostępnej dla roślin. Ponadto, przy użyciu konduktometru EM-38 (Geonics Limited, Mississauga, Ontario, Kanada) oceniono pozorną przewodność elektryczną gleby (ang. *apparent electrical conductivity*), oraz przy użyciu zestawu 2 czujników Crop Circle ACS-210 (Holland Scientific, Lincoln, Nebraska, USA) bursztynowy NDVI. Na bazie danych zróżnicowania wysokości n.p.m., zarejestrowanych w obrębie pól, przy użyciu odbiornika GPS-RTK, Legacy E (Topcon Positioning Systems, Inc., Livermore, Kalifornia, USA), oceniono zróżnicowanie nachylenia pola i topograficznego wskaźnika wilgotności

(ang. *topographic wetness index*). Zależności pomiędzy plonem roślin, a ww. właściwościami oceniono wykorzystując regresję logistyczną.

Na obu polach, zróżnicowanie plonu roślin w największym stopniu związane było z zawartością frakcji piasku i węgla w glebie. Dlatego też stwierdzono, że w przypadku braku dostępu do danych plonu, dla pól o podobnej historii uprawy jak w przypadku dwóch badanych pól, znajomość zróżnicowania składu granulometryczny gleby, jak i zawartości glebowej materii organicznej w obrębie pól, może być czynnikiem brany pod uwagę przy wydzieleniu stref produkcyjnych na tychże polach. Wykazano ponadto, że wartości bursztynowego NDVI, różniły się istotnie pomiędzy wydzielonymi strefami plonowania, co może wskazywać na przydatność tego wskaźnika przy wydzieleniu tych stref.

Wyniki badań opisane powyżej potwierdzają, że skład granulometryczny (uziarnienie) gleby ma duży wpływ na produktywność gleb, jak i wiele innych jej właściwości, które też decydują o potencjale plonowania roślin. Jednak ocena tej właściwości gleby z dużą rozdzielczością przestrzenną (wiele oznaczeń na małej powierzchni pola), ze względu na pracochłonność tej metody w praktyce rolniczej, nie jest możliwa. Dlatego aby wykonać mapy uziarnienia gleby dla całych pól, uzyskane wyniki oznaczeń tej właściwości gleby dla miejsc pobrania próbek gleby, interpoluje się. Procedura ta polega na wyliczeniu, przy użyciu oprogramowania komputerowego, przybliżonych wartości danej cechy dla miejsc na polu, gdzie tej właściwości gleby nie oznaczano, wykorzystując wartości tej samej właściwości gleby zarejestrowane w sąsiedztwie. Jakość interpolacji danych, czyli na ile wartości interpolowane danej cechy zgadzają się z faktycznie zmierzonymi wartościami, zależy od metody interpolacji. Celem badań, których wyniki opublikowano w pracy nr 2, była ocena dokładności oszacowania frakcji uziarnienia gleby (piasek, il i pył) przy użyciu trzech metod interpolacji danych przestrzennych (ang. *inverse distance weight*, *radial basis function* i *ordinary kriging*) nieuwzględniających dodatkowych danych pomocniczych i jednej metody (ang. *ordinary cokriging*), uwzględniającej zmienną dodatkową, którą była pozorna przewodność elektryczna gleby. Jako główne kryterium oceny dokładności interpolacji przyjęto wyniki walidacji krzyżowej, (ang. *cross-validation*), metody statystycznej, gdzie uzyskaną na podstawie interpolacji, wartość uziarnienia gleby porównuje się z rzeczywistą zmierzoną wartością uziarnienia gleby dla tego samego punktu na polu. Porównanie to jest możliwe do wykonania, gdyż dla tych samych punktów na polu, dla których wykonujemy walidację krzyżową, rzeczywiste dane uziarnienia gleby nie są brane pod uwagę przy wykonywaniu interpolacji. Właściwością gleby, która ma zazwyczaj silny związek z uziarnieniem gleby jest przewodność elektryczna gleby. Dlatego znajomość tej właściwości gleby wykorzystano, jako pośrednią metodę oceny uziarnienia gleby. Badania wykonano dla czterech pól uprawnych, opisanych w pracy nr 3 włączonej do grupy publikacji stanowiących moje osiągnięcie naukowe.

Stwierdzono, że trzy porównywane metody, nieuwzględniające zmiennych dodatkowych, interpolowały, każdą z frakcji uziarnienia gleby, z podobną dokładnością. Wykorzystanie pozornej przewodności elektrycznej gleby, jako zmiennej pomocniczej w interpolacji z użyciem metody cokrigingu, ograniczyło błąd oszacowania frakcji uziarnienia gleby. Dlatego też uznano, że metoda pośrednia oceny składu granulometrycznego może pozwolić na szybsze określanie tej właściwości gleby, ze względu na ograniczenie liczby pobieranych próbek gleby, tylko do miejsc wyraźnie różniących się przewodnością elektryczną gleby.

Inne zagadnienia badawcze, których publikowanie jest na etapie początkowym

W latach 2013-2015 byłem kierownik Zadania 2 – „*Innowacyjne technologie uprawy zbóż, w celu uzyskania surowca wysokiej jakości do produkcji wyrobów zbożowych o obniżonej kaloryczności i wysokiej wartości dodanej*”, realizowanego w ramach projektu badawczego – *BIOPRODUKTY, innowacyjne technologie wytwarzania prozdrowotnych produktów piekarskich i makaronu o obniżonej kaloryczności*” – POIG.01.03.01-14-041/12.

Projekt miał na celu opracowanie innowacyjnych technologii:

- ✓ produkcji prozdrowotnego pieczywa jasnego i makaronu o obniżonej kaloryczności i zwiększonej zawartości błonnika,
- ✓ produkcji standaryzowanego ziarna pszenicy z wykorzystaniem narzędzi rolnictwa precyzyjnego,
- ✓ ograniczenia zanieczyszczenia azotanami wód podziemnych na terenach rolniczych.

Do głównych zagadnień badawczych w Zadaniu 2 należały:

- ✓ ocena efektywności nawożenia pszenicy ozimej zmienną dawką azotu,
- ✓ wykorzystanie informacji o pozornej przewodności elektrycznej gleby, zawartości materii organicznej w glebie do optymalizacji stosowania zmiennej dawki azotu w uprawie pszenicy ozimej,
- ✓ ocena odżywienia roślin pszenicy ozimej azotem i siarką z wykorzystaniem aktywnych czujników optycznych i metod diagnostycznych,
- ✓ ocena plonowania i jakości ziarna pszenicy ozimej w zależności od nawożenia azotem i siarką,
- ✓ określenie uwarunkowania plonu ziarna odmian pszenicy jarej przez składowe plonu i wydzielenie jednorodnych grup odmian w zakresie uwarunkowania plonu,
- ✓ ocena wpływu współdziałania genotypu i środowiska na plon ziarna odmian pszenicy jarej,
- ✓ ocena jakości ziarna odmian pszenicy jarej i ozimej, oraz wydzielenie grup jednorodnych pod względem badanych cech.

Wstępne wyniki badań uzyskane w Zadaniu 2 zaprezentowano w latach 2013-2015, na licznych konferencjach naukowych i w materiałach konferencyjnych, załącznik nr 3, strony 6-8. Ponadto wyniki badań opublikowano w pracy:

- ✓ Samborski S., Gozdowski D., Stępień M., Walsh O. S., Leszczyńska E., 2016. On-farm evaluation of an active optical sensor performance for variable nitrogen application in winter wheat. *European Journal of Agronomy*. 74, 56-67.

Literatura

1. Anselin L., 1995. Local Indicators of spatial association-LISA. *Geographical Analysis*, 27, 93-115.
2. Blackmer T.M., Schepers J.S., 1994. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. *Communications of Soil Science and Plant Analysis*, 25, 1791-1800.
3. Campbell J., 1979. Spatial variability of soils. *Annals of the Association of American Geographers*, 69, 544-556.
4. Chapman S.C, Barreto H.J., 1997. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. *Agronomy Journal*, 89, 557-562.
5. Gruczek T., 2000. Technologia produkcji ziemniaka jadalnego i dla przetwórstwa spożywczego w warunkach gleb zakamienionych. 89-90. [W:] *Ziemniak spożywczy*

- i przemysłowy oraz jego przetwarzanie. Konferencja Naukowa. Polanica Zdrój, 8-11 maja 2000r. AR Wrocław.
6. GUS, 2011. Użytkowanie gruntów i powierzchnia zasiewów w 2011r. www.stat.gov.pl
 7. Faber A., 1998. System rolnictwa precyzyjnego. I. Mapy plonów. *Fragmenta Agronomica*, 1(57), 4-15.
 8. Hoel B.O., 1998. Use of a hand-held chlorophyll meter in winter wheat: evaluation of different measuring positions on the leaves. *Acta Agriculturae Scandinavica, Sect. B, Soil and Plant Science*, 48, 222-228.
 9. Mądry W., Rajfura A., 2003. Analiza statystyczna miar stabilności na podstawie danych w klasyfikacji genotypy × środowiska. Cz. I. Model mieszany Scheffégo-Calińskiego i model regresji łącznej. *Colloquium Biometryczne*, 33, 181-205.
 10. Mądry W., Kozak M., 2000. Analiza ścieżek i sekwencyjna analiza plonu w badaniach zależności plonu od cech łanu. Cz. I. Opis metod. *Roczniki Nauk Rolniczych*, 115, 143-157.
 11. Piepho, H.P., 1995. A simple procedure for yield component analysis. *Euphytica*, 84, 43-48.
 12. PN-R-04031, 1997. Analiza chemiczno-rolnicza gleby – Pobieranie próbek. Polski Komitet Normalizacyjny. Warszawa.
 13. Rozbicki J., 1997. Agrotechniczne uwarunkowania wzrostu, rozwoju i plonowania pszenżyta ozimego. Rozprawa habilitacyjna, Fundacja Rozwój SGGW Warszawa. ss. 94.
 14. Rozbicki J., Mądry W. 1999. Zależność plonu ziarna pszenżyta ozimego od jego składowych na plantacjach produkcyjnych. *Roczniki Nauk Rolniczych*. A, 114, 109-115.
 15. Samborski S., Rozbicki J., 2004. Kalibracja chlorofilometru do oceny odżywienia zbóż azotem. *Postępy Nauk Rolniczych*, 5, 27-37.
 16. Webster R., Burgess T., 1984. Sampling and bulking strategies for estimating soil properties in small regions. *European Journal of Soil Science*, 35, 127-140.
 17. Zadoks J.C., Chang T.T., Konzak G.F., 1974. A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415-421.

Lista publikacji własnych cytowanych w rozdziale: „Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych”

1. Ceglińska A., Samborski S., Rozbicki J., Cacak-Pietrzak G., Haber T., 2003. Ocena wartości żywieniowej ziarna odmian pszenżyta ozimego w zależności od nawożenia azotem. Część II. Wartość przemiałowa i wypiekowa. *Pamiętnik Puławski*, 139, 39-46.
2. Gozdowski D., Stępień M., Samborski S., Dobers E.S., Szatyłowicz J., Chormański J., 2015. Prediction accuracy of selected spatial interpolation methods for soil texture at farm field scale. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 15 (3), 639-650.
3. Gozdowski D., Stępień M., Samborski S., Dobers E.S., Szatyłowicz J., Chormański J. 2014. Determination of the most relevant soil properties for the delineation of management zones in production fields. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45 (17), 2289-2304.
4. Gozdowski D., Sas D., Samborski S., Kapeliński A., 2011. Ocena zmienności przestrzennej zasobności gleby i plonowania pszenicy ozimej z wykorzystaniem pakietu R. *Biuletyn IHAR*, 259, 63-72.
5. Gozdowski D., Samborski S., Dobers S.E., 2010. Evaluation of methods for the detection of spatial outliers in the yield data of winter wheat. *Colloquium Biometricum*, 40, 41-51.
6. Kozak M., Samborski S., Kang M.S., Rozbicki J., 2007. Applying Statistics or nonsequential yield component analysis. *Plant Soil and Environment*, 53 (10), 456-463.
7. Kozak M., Samborski S., Rozbicki J., Mądry W., 2007. Winter triticale grain yield, a comparative study of 15 genotypes. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant and Soil*, 56, 4, 263-270,
8. Laudański Z., Mańkowski D., Rozbicki J., Samborski S., 2006. Próba oceny interakcji ze środowiskiem wybranych odmian pszenżyta ozimego (X Triticosecale Wittmack). *Folia Universitas Agriculturae Stetinensis, Agricultura. Agricultura*, 247 (100), 97-112.
9. Mądry W., Gozdowski D., Rozbicki J., Pojmaj M., Samborski S., 2007. Formowanie się plonu ziarna przez jego składowe u rodów hodowlanych pszenżyta ozimego w różnych warunkach środowiskowych. *Biuletyn IHAR*. 244, 127-143.
10. Mądry W., Gozdowski D., Rozbicki J., Pojmaj M., Samborski S., 2007. Związki między plonem ziarna i jego składowymi w populacji rodów hodowlanych pszenżyta ozimego w trzech stacjach doświadczalnych. *Biuletyn IHAR*, 245, 77-94.
11. Pisarek M., Rozbicki J., Samborski S., Wawryło B., Golba J., 2013. Wpływ siedmiu wybranych czynników agrotechnicznych na produktywność pszenicy ozimej w warunkach dużego udziału zbóż w zmianowaniu. Część I. Plon biomasy nadziemnej, odżywienie roślin azotem oraz porażenie zgorzelą podstawy źdźbła. *Fragmenta Agronomica*, 30 (1), 99-112.
12. Pisarek M., Rozbicki J., Samborski S., Wawryło B., Golba J., 2013. Wpływ wybranych siedmiu czynników agrotechnicznych na produktywność pszenicy ozimej w warunkach dużego udziału zbóż w zmianowaniu. Część II. Plon ziarna i składowe plonu. *Fragmenta Agronomica*, 30 (1), 113-120.
13. Rozbicki J., Pisarek M., Samborski S., 2001. Produkcja roślinna w rejonie Białowieskiego Parku Narodowego. *Zeszyty Naukowe AR Kraków*, 76, 375-380.
14. Rozbicki J., Samborski S., 2001. Relationship between SPAD readings and NNI for winter Triticale grown on light soil. Book of Abstracts. s. 519-520. *11th Nitrogen Workshop*, 9-12 września 2001r., Reims, France.
15. Rutkowska A., Samborski S., Gozdowski D., 2008. The effect of nitrogen rate and time of application on winter wheat yield components. *Nawozy i Nawożenie*, 32, 122-132.

- 16.Samborski S., Tabor H., Gozdowski D., 2010. Ocena efektywności ekonomicznej odkamieniania pola pod uprawę ziemniaków. *Ziemniak Polski*, 1, 14-20.
- 17.Samborski S., Gozdowski D., Rozbicki J., 2008. Wpływ nawożenia azotem na jakość ziarna odmian tradycyjnych i krótkosłomych pszenżyta ozimego. *Fragmenta Agronomica*. 1(97), 372-390.
- 18.Samborski S., Kozak M., Azevedo R.A., 2008. Does nitrogen uptake affect nitrogen uptake efficiency, or vice versa? *Acta Physiologiae Plantarum*, 30, 419-420.
- 19.Samborski S., Gozdowski G., Rozbicki J., Truszkiewicz W., 2008. Classification of Winter Triticale Cultivars based on Nitrogen Status Measurements. *Italian Journal of Agronomy. Rivista di Agronomia*. 3(3), s. 159-160. *10th Congress of the European Society for Agronomy*, 15-19 września 2008r. Bolonia, Włochy.
- 20.Samborski S., Kozak M., Rozbicki J., 2006. The usefulness of chlorophyll meter SPAD-502 for winter triticale grain yield estimation. *Folia Universitas Agriculturae Stetinensis, Agricultura*, 247 (100), 157-162.
- 21.Samborski S., Kozak M., Mądry W., Rozbicki J., 2005. Pierwotne cechy rozwojowe w analizie składowych plonu. Część II. Zastosowanie dla plonu ziarna pszenżyta ozimego. *Fragmenta Agronomica*, 4, 84-97.
- 22.Samborski S., Peskovski G., Rozbicki J., Mądry W., 2005. Effect of differences in macronutrient availability on chlorophyll meter readings with winter wheat. s. 48-49. *13th International Fertiliser Society Annual Conference and Dahlia Greidinger Symposium*. "Efficient Crop nutrition: Challenges and Opportunities". 14-16 grudnia 2005r. Cambridge, Wielka Brytania.
- 23.Samborski S., Rozbicki J., 2004. Kalibracja chlorofilometru do oceny odżywienia zbóż azotem. *Postępy Nauk Rolniczych*, 5, 27-37.
- 24.Samborski S., Rozbicki J., Ceglińska A., Cacak-Pietrzak G., Haber T., 2004. Estimation of the grain value in winter Triticale varieties for baking purposes depending on nitrogen fertilization. Book of proceedings. s. 551-552. *8th Congress of the European Society for Agronomy*. 11-15 lipca 2004r. Kopenhaga, Dania.
- 25.Samborski S., Rozbicki J., 2003. Attempts to overcome genotypic variability of SPAD readings in winter triticale. s. 226-228. *12th Nitrogen Workshop*. "Controlling Nitrogen Flows and Losses". 21-24 września 2003r. University of Exeter, Devon, Wielka Brytania.
- 26.Samborski S., Rozbicki J., 2002. Przegląd badań nad wykorzystaniem chlorofilometru SPAD-502 do oceny stanu odżywienia roślin azotem. *Nawozy i Nawożenie*, 2 (11), 123-136.
- 27.Samborski S., Rozbicki J., 2002. Specific leaf area of Polish winter triticale cultivars. s. 399-405. *5th International Triticale Symposium*. 30 czerwca - 5 lipca 2002r. IHAR Radzików.
- 28.Samborski S., Rozbicki J., 2002. Use of nitrogen sufficiency index for calibration of a chlorophyll meter SPAD-502 readings in winter triticale. Book of proceedings. s. 709-710. *7th Congress of the European Society for Agronomy*. 15-18 lipca 2002r. Kordoba, Hiszpania.
- 29.Samborski S., Pisarek M., Rozbicki J., 2001. Poprawność technologii uprawy żyta na plantacjach produkcyjnych w rejonie Białowieskiego Parku Narodowego. *Pamiętnik Puławski*, 128, 227-233.
- 30.Stępień M., Gozdowski D., Samborski S., 2013. A case study on the estimation accuracy of soil properties and fertilizer rates for different soil sampling grids. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 176, 57-68.

Stanisław Samborski

