

**AUTOREFERAT**

**załącznik 2A**

**dr inż. Przemysław Artur Tkaczyk**

**adiunkt**

**Katedra Chemii Rolnej i Środowiskowej**

**Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie**

**ul. Akademicka 15**

**20-950 Lublin**

**e-mail: [przemyslaw.tkaczyk@up.lublin.pl](mailto:przemyslaw.tkaczyk@up.lublin.pl)**

**Lublin 2019**

|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| <b>1.</b>   | <b>Dane personalne</b>  | <b>3</b>  |
| <b>2.</b>   | <b>Wykształcenie, posiadane dyplomy i stopnie naukowe</b>   | <b>3</b>  |
| <b>3.</b>   | <b>Zatrudnienie</b>   | <b>3</b>  |
| <b>4.</b>   | <b>Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311)</b> | <b>4</b>  |
| <b>4.1.</b> | <b>Tytuł osiągnięcia naukowego</b>  | <b>4</b>  |
| <b>4.2.</b> | <b>Publikacje składające się na osiągnięcie naukowe</b>   | <b>4</b>  |
| <b>4.3.</b> | <b>Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników</b>   | <b>6</b>  |
| <b>5.</b>   | <b>Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych</b>   | <b>28</b> |
| <b>6.</b>   | <b>Podsumowanie dorobku naukowego</b>   | <b>39</b> |

## 1. Dane personalne:

**Przemysław Artur Tkaczyk**

Data urodzenia: **22.10.1972 r.**

## 2. Wykształcenie, posiadane dyplomy i stopnie naukowe

- 1992-1997 Akademia Rolnicza w Lublinie, Wydział Rolniczy – uzyskanie tytułu zawodowego **magistra inżyniera** rolnictwa na podstawie pracy *Wpływ wody pościekowej na elementy bilansu azotu i fosforu w warunkach gleb o zróżnicowanej zawartości kationów wymiennych*  
Promotor: prof. dr hab. Ignacy Dechnik  
Recenzent: prof. dr hab. Elżbieta Podstawka-Chmielewska
- 1997-2001 Akademia Rolnicza w Lublinie, Wydział Rolniczy – stopień **doktora nauk rolniczych** – rozprawa doktorska *Wpływ wapnowania i nawożenia azotem na przemiany fosforu w glebie oraz pobranie tego składnika przez jęczmień jary*  
Promotor: prof. dr hab. Wiesław Bednarek  
Recenzenci: prof. dr hab. Roman Czuba, prof. dr hab. Stanisław Zygmunt Łabuda

Studia podyplomowe:

- 1995-1997 Akademia Rolnicza w Lublinie, Międzywydziałowe Studium Pedagogiczne – nauczyciel przedmiotów: biologia, chemia, przedmioty zawodowe

## 3. Zatrudnienie

- 2001-2001 starszy technik w Katedrze Chemii Rolnej i Środowiskowej Akademii Rolniczej w Lublinie
- 2001-2003 adiunkt w Katedrze Chemii Rolnej i Środowiskowej na Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie
- 2001-2004 nauczyciel akademicki w Wyższej Szkole Społeczno-Przyrodniczej w Lublinie
- 2003-2004 dyrektor Stacji Chemiczno-Rolniczej Oddział w Lublinie
- 2004-2016 dyrektor Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Lublinie
- 2016- obecnie adiunkt w Katedrze Chemii Rolnej i Środowiskowej na Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie

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

**4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego**

Osiągnięcie będące podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego stanowi cykl publikacji naukowych ujętych pod wspólnym tytułem:

***Potencjał agrochemiczny gleb gruntów ornych  
w kształtowaniu plonu roślin uprawnych***

**4.2. Publikacje składające się na osiągnięcie naukowe:**

1. Bednarek W., **Tkaczyk P.**, Dresler S. (2009): *Plonowanie pszenicy ozimej w zależności od niektórych właściwości gleby i zabiegów agrotechnicznych*. Acta Agrophysica, 14(2), 172, 263-272.  
MNiSW<sup>1</sup> – 4 pkt, MNiSW<sup>2</sup> – 14 pkt, udział 50%.
2. **Tkaczyk P.**, Bednarek W., Dresler S. (2009): *Plonowanie buraka cukrowego w zależności od niektórych właściwości glebowych i nawożenia*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 542(2), 559-568.  
MNiSW<sup>1</sup> – 4 pkt, MNiSW<sup>2</sup> – 13 pkt, udział 90%.
3. Dresler S., Bednarek W., **Tkaczyk P.** (2010): *Plonowanie żyta ozimego w zależności od niektórych właściwości gleby i zabiegów agrotechnicznych*. Acta Agrophysica, 15(1), 177, 83-90.  
MNiSW<sup>1</sup> – 6 pkt, MNiSW<sup>2</sup> – 14 pkt, udział 40%.
4. Dresler S., Bednarek W., **Tkaczyk P.** (2010): *Plonowanie pszenicy jarej w zależności od niektórych właściwości gleby i zabiegów agrotechnicznych*. Acta Agrophysica, 16(2), 15-24.  
MNiSW<sup>1</sup> – 6 pkt, MNiSW<sup>2</sup> – 14 pkt, udział 40%.
5. **Tkaczyk P.**, Bednarek W., Dresler S. (2010): *Plonowanie jęczmienia jarego w zależności od niektórych właściwości gleby i zabiegów agrotechnicznych*. Annales UMCS, sec. E, Agricultura, 65(3), 10-16.  
MNiSW<sup>1</sup> – 6 pkt, MNiSW<sup>2</sup> – 9 pkt, udział 90%.
6. Dresler S., Bednarek W., **Tkaczyk P.** (2011): *Nitrate nitrogen in the soils of Eastern Poland as influenced by type of crop, nitrogen fertilisation and various organic fertilisers*. Journal of Central European Agriculture, 2(2), 367-379.

MNiSW<sup>1</sup> – 8 pkt, MNiSW<sup>2</sup> – 14 pkt, udział 40%.

7. Dresler S., Bednarek W., **Tkaczyk P.** (2011): *Effects of soil properties and nitrogen fertilization on distribution of NO<sub>3</sub>-N in soils of Eastern Poland*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 42, 2100-2111.

MNiSW<sup>1</sup> – 15 pkt, IF – 0,506, MNiSW<sup>2</sup> – 15 pkt, udział 40%.

8. **Tkaczyk P.**, Bednarek W. (2011): *Ocena odczynu gleb Lubelszczyzny*. Acta Agrophysica, 18(1), 173-186.

MNiSW<sup>1</sup> – 5 pkt, MNiSW<sup>2</sup> – 14 pkt, udział 95%.

9. Bednarek W., **Tkaczyk P.**, Dresler S., Jawor E. (2013): *Plonowanie owsa w zależności od niektórych właściwości gleby i nawożenia azotem*. Acta Agrophysica, 20(1), 29-38.

MNiSW<sup>1</sup> – 7 pkt, MNiSW<sup>2</sup> – 14 pkt, udział 60%.

10. **Tkaczyk P.**, Bednarek W., Dresler S., Krzyszczak J. (2016): *Evaluation of soil reaction and content of assimilable nutrients in soils of south-eastern Poland*. Acta Agrophysica, 23(3), 249-260.

MNiSW<sup>1</sup> – 14 pkt, MNiSW<sup>2</sup> – 14 pkt, udział 85%.

11. **Tkaczyk P.**, Bednarek W., Dresler S., Krzyszczak J., Baranowski P. (2017): *Relation of mineral nitrogen and sulphate sulphur content in soil to certain soil properties and applied cultivation treatments*. Acta Agrophysica, 24(3), 523-534.

MNiSW<sup>1</sup> – 14 pkt, MNiSW<sup>2</sup> – 14 pkt, udział 80%.

12. **Tkaczyk P.**, Bednarek W., Dresler S., Krzyszczak J., Baranowski P., Sławiński C. (2017): *Relationship between assimilable-nutrient content and physicochemical properties of top-soil*. International Agrophysics, 31(4), 551-562.

MNiSW<sup>1</sup> – 25 pkt, IF – 1,242, MNiSW<sup>2</sup> – 25 pkt, udział 75%.

13. **Tkaczyk P.**, Bednarek W., Dresler S., Krzyszczak J., (2018): *The effect of some soil physicochemical properties and nitrogen fertilization on winter wheat yield*. Acta Agrophysica, 25(1), 107-116.

MNiSW<sup>1</sup> – 14 pkt, MNiSW<sup>2</sup> – 14 pkt, udział 85%.

<sup>1</sup> Liczba punktów wg wykazu czasopism naukowych MNiSW zgodnie z rokiem opublikowania.

<sup>2</sup> Liczba punktów wg aktualnego wykazu czasopism naukowych MNiSW z dnia 9.12.2016 r.

**Suma punktów** za wymienione wyżej publikacje według wykazu MNiSW zgodnie z rokiem opublikowania wynosi **128**. Sumaryczny **IF** publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego według roku opublikowania wynosi **1,748**.

#### 4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników:

##### Cel osiągnięcia naukowego

### *Ocena znaczenia podstawowych właściwości agrochemicznych gleby w kształtowaniu poziomu produkcji roślinnej*

#### Wprowadzenie

Rolnictwo stanowi jeden z najważniejszych działów gospodarki południowo-wschodniej Polski. Świadczą o tym duże zasoby ziemi uprawnej, znaczny udział ludności rolniczej w ogólnej populacji regionu oraz znacząca produkcja rolnicza w skali kraju. Województwo lubelskie zajmuje czołowe lokaty w produkcji zbóż (28,3%), buraka cukrowego (11,6%), chmielu, tytoniu oraz owoców w Polsce (GUS 2018). Wysoka pozycja rolnictwa w omawianym regionie jest wynikiem szeregu uwarunkowań tworzących szansę dalszego rozwoju. Zalicza się do nich ukształtowanie powierzchni oraz korzystne warunki klimatyczne i glebowe. Warunki glebowo-klimatyczne i tradycje w poszczególnych podregionach decydują o specjalizacji produkcji. Tereny północnej i zachodniej części województwa lubelskiego to głównie obszary uprawy ziemniaków i zbóż, w zachodnim i północno-wschodnim obszarze prowadzone są sady i plantacje owoców jagodowych, a w centralnej i południowej części regionu występują uprawy buraka cukrowego. Region odznacza się dość dużym udziałem gruntów rolnych o wysokich klasach bonitacyjnych gleby. Stanowią one około 73% ogólnej powierzchni gruntów rolnych, w tym gleby klas I-IIIb zajmują prawie 37%. Gleby klas I-IIIb wykształcone na lessach występują w centralnej i południowo-wschodniej części województwa lubelskiego, głównie na Wyżynie Lubelskiej i Wyżynie Wołyńskiej. Natomiast najłżejsze gleby (klas V-VIz) występują na terenach nizinnych, tj. w północnej części województwa (Nizina Mazowiecka, Polesie Zachodnie) i w części południowo-zachodniej (Kotlina Sandomierska).

Poważnym problemem współczesnego rolnictwa w Polsce, a w szczególności w regionie objętym prezentowanymi badaniami, jest zakwaszenie gleb, które prowadzi do zmniejszenia efektywności większości stosowanych zabiegów agrotechnicznych, zwłaszcza nawożenia mineralnego, oraz prowadzi do ograniczenia wielkości i obniżenia jakości plonu. Zakwaszenie gleb ma również duży wpływ na dobór poszczególnych gatunków roślin do uprawy i uzyskiwanie zadowalających plonów pod względem jakościowym i ilościowym.

Główne przyczyny takiego stanu to duży udział gleb bardzo lekkich i lekkich, umiarkowany klimat z przewagą opadów nad parowaniem, w wyniku czego następuje przemieszczanie w głąb profilu glebowego kationów zasadowych, wapnia ( $\text{Ca}^{2+}$ ) i magnezu ( $\text{Mg}^{2+}$ ), oraz spadek przyswajalności przez rośliny większości składników pokarmowych. Oprócz tego występują wtórne skutki zakwaszenia gleby, do których należy zaliczyć: zmniejszenie trwałości wiązań pakietów minerałów, rozpad struktury wtórnych minerałów ilastych, zmniejszenie zdolności sorpcyjnej, a przede wszystkim pojawienie się dużych ilości glinu i manganu toksycznego dla roślin (Filipek 1998). W glebach silnie zakwaszonych obserwuje się bardzo niską zawartość

rozpuszczalnych form takich składników pokarmowych, jak: magnez, fosfor, molibden i azot. Inną, nie mniej ważną przyczyną zakwaszenia jest występowanie gleb wytworzonych z kwaśnych skał osadowych, w których następowało intensywne wymywanie kationów zasadowych. Do zakwaszenia w znacznym stopniu przyczyniają się również rośliny, które zubożają glebę, pobierając z niej niezbędne do wzrostu i rozwoju pierwiastki, w tym kationy zasadowe:  $\text{Ca}^{2+}$  i  $\text{Mg}^{2+}$  (Lipiński 1998, 2005a).

Oprócz czynników naturalnych kształtujących właściwości gleby nie mniej ważne są tzw. oddziaływania antropogeniczne, do których należy stosowanie nawozów (szczególnie azotowych typu amonowego i nawozów potasowych typu chlorkowego) oraz zanieczyszczanie powietrza, zwłaszcza związkami siarki i azotu. Ważną przyczyną zakwaszenia gleb jest niedostawianie dawek nawozów fizjologicznie kwaśnych do faktycznych potrzeb nawozowych roślin. Zabiegiem ograniczającym niepożądane skutki zakwaszenia gleb jest wapnowanie. W celu podjęcia właściwych decyzji związanych z określeniem potrzeb nawozowych roślin niezbędna jest znajomość zasobności nawożonych gleb w poszczególne pierwiastki (Czuba i in. 1968, Czuba i Zaniuk 1968, Kaniuczak 1998, Kozłowska-Strawska i Kaczor 2004, Szulc i in. 2004, Fotyma i in. 2006, Domańska 2009), ale równie ważne są właściwości fizykochemiczne nawożonych gleb (Lipiński i Bednarek 1998a,b, Lipiński 2000, Fotyma 2007). Należy też podkreślić, że stosowanie nawozów mineralnych na Lubelszczyźnie jest mniej efektywne w porównaniu z innymi częściami kraju. Powyższa uwaga dotyczy również stosowania nawozów wapniowych, które w ostatnich latach stosuje się w bardzo małych ilościach (Filipek i in. 2006, Filipek i Skowrońska 2013).

Niedostateczna regulacja odczynu oraz mała efektywność stosowanych nawozów mają decydujące znaczenie w oddziaływaniu na produkcję roślinną. W żywieniu składnikami pokarmowymi najważniejsze są ich formy przyswajalne, które mają bezpośredni wpływ na plonowanie i jakość uprawianych roślin. Zasobność w te składniki zależy nie tylko od właściwości gleby, ale również od zabiegów agrotechnicznych, spośród których nawożenie nawozami mineralnymi, naturalnymi i organicznymi jest najważniejsze (Kaniuczak 1998, Lipiński i Bednarek 1998a, Tyler i Olsson 2001, Lipiński 2005b,c,d, Lipiński i Walendziuk 2005, Fotyma i in. 2006). Od stanu zakwaszenia i zasobności gleby w podstawowe składniki mineralne, a także od nawożenia zależy w dużym stopniu poziom plonowania i jakość uprawianych roślin.

Stąd niezwykle istotne wydają się badania zmian podstawowych parametrów gleby nie tylko w obrębie pola, gospodarstwa, ale także w ujęciu regionalnym. Mogą one być wykorzystywane w ocenie zmian zachodzących w agroekosystemie pod wpływem działalności rolniczej człowieka i stanowić źródło informacji o glebie mających znaczenie w kontekście licznych ograniczeń wynikających z regulacji prawnych, zarówno krajowych, jak i międzynarodowych (pH w ONW,  $\text{N}_{\text{min}}$  w kontekście dyrektywy azotanowej). Dlatego podjęto prace mające na względzie realizację

#### **celów szczegółowych:**

1. oceny podstawowych fizykochemicznych i chemicznych parametrów gleby jako potencjalnych wskaźników oddziaływania na poziom produkcji roślinnej,
2. oceny zawartości azotu w glebach i zależności jego zawartości od wybranych czynników naturalnych i antropogenicznych,
3. określenie głównych wskaźników agrochemicznych gleb w różnicowaniu plonów roślin dominujących w strukturze zasiewów.

## Metodyka

Badania gleby oraz materiału roślinnego były prowadzone na użytkach rolnych o powierzchni 1,61 mln ha, na obszarze geograficznym obejmującym od północy Nizinę Południowopodlaską i Polesie Podlaskie, w części środkowej – Wyżynę Lubelską, Roztocze i Polesie Wołyńskie, w części południowej – Wyżynę Zachodnio-Wołyńską, a od południowego zachodu – część Kotliny Sandomierskiej. Pod względem administracyjnym jest to obszar województwa lubelskiego. Grunty orne w badanym regionie stanowią 80%, natomiast użytki zielone 20% gruntów rolnych. Badania prowadzono na podstawie wytypowanych punktów równomiernie pokrywających powierzchnię badanego obszaru. Do badań wykorzystano wyniki analiz chemicznych 250 tys. próbek glebowych, w tym gleb bezwęglanowych (gleby o zawartości węglanów < 1% w całym profilu) stanowiących 88% oraz gleb węglanowych (gleby o zawartości węglanów > 1% w całym profilu) stanowiących 12% badanej liczby próbek.

Punkty do pozyskania materiału glebowego i roślinnego zlokalizowane były w wytypowanych gospodarstwach z każdej kategorii agronomicznej: gleby bardzo lekkie (do 10% frakcji o średnicy < 0,02 mm), lekkie (11-20% frakcji < 0,02 mm), średnie (21-35% frakcji < 0,02 mm) i ciężkie (> 35% frakcji o średnicy < 0,02 mm). Próbkę do oznaczeń pH, P, K, Mg i mikroelementów w glebie pobierano z warstwy ornej 0-20 cm (PN-R-04031:1997. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Pobieranie próbek), natomiast azotu mineralnego z 3 warstw: 0-30, 30-60, 60-90 cm (PN-R-04028:1997. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Metody pobierania próbek i oznaczania zawartości jonów azotanowych i amonowych w glebach mineralnych). Analizy chemiczne wykonane zostały w akredytowanym laboratorium Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Lublinie.

W badaniach laboratoryjnych określono parametry fizykochemiczne, fizyczne i chemiczne z wykorzystaniem następujących metod analitycznych:

- 1) kategoria agronomiczna gleby – metoda dyfrakcji laserowej (PN-R-04032:1998. Gleba i twory mineralne. Pobieranie próbek i oznaczanie składu granulometrycznego),
- 2) pH w 1 mol KCl – metoda potencjometryczna (PN-ISO 10390:1997. Jakość gleby. Oznaczanie pH),
- 3) zawartość węgla organicznego – metoda Tiurina (PN-ISO 14235:2003. Jakość gleby. Oznaczanie zawartości węgla organicznego przez utlenianie dwuchromianem(IV) w środowisku kwasu siarkowego(IV)),
- 4) zawartość fosforu i potasu przyswajalnego – metoda Egnera-Riehma (DL) (PN-R-04023:1996. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego fosforu w glebach mineralnych, PN-R-04022:1996/Az1:2002. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego potasu w glebach mineralnych),
- 5) zawartość magnezu przyswajalnego (po ekstrakcji z gleby 0,0125 mol CaCl<sub>2</sub>) – metoda AAS (PN-R-04020:1994/Az1:2004. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego magnezu),
- 6) zawartość siarki całkowitej w glebie – metoda nefelometryczna (wg Bardsleya-Lancastera w modyfikacji IUNG),



- 7) zawartość siarki siarczanowej – metoda nefelometryczna (wg Bardsleya-Lancastera w modyfikacji IUNG),
- 8) zawartość miedzi, cynku, żelaza, manganu (rozpuszczalne w 1 mol HCl) – metoda AAS (PN-R-04016:1992. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego cynku, PN-R-04017:1992. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnej miedzi, PN-R-04021:1994. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego żelaza),
- 9) zawartość boru – metoda kolorymetryczna (PN-R-04018:1993. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego boru),
- 10) zawartość azotu mineralnego – metoda kolorymetryczna (PN-R-04028:1997. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Metody pobierania próbek i oznaczania zawartości jonów azotanowych i amonowych w glebach mineralnych).

Dobór roślin w eksperymencie uwzględniał potencjał produkcji roślinnej w badanym rejonie i obejmował pszenicę ozimą, pszenicę jary, żyto ozime, jęczmień jary, owies i burak cukrowy. Informacje o wielkości plonu badanych roślin, przedplonie oraz stosowanym nawożeniu ustalano na podstawie badań ankietowych, a uzyskane dane oceniano i weryfikowano, odrzucając wyniki skrajnie odstające. W badaniach wykorzystano rezultaty badań próbek gleby z 817 pól uprawnych użytków rolnych Lubelszczyzny.

Wyniki badań opracowano statystycznie metodą analizy wariancji i regresji wielokrotnej. Do obliczenia równań regresji wielokrotnej wykorzystano moduł programu Statistica 6.

## **PODSUMOWANIE WYNIKÓW BADAŃ**

### **1. Ocena podstawowych fizykochemicznych i chemicznych parametrów gleby jako potencjalnych wskaźników oddziaływania na poziom produkcji roślinnej**

W swojej działalności naukowej, wynikającej z przebiegu pracy zawodowej po uzyskaniu stopnia naukowego doktora, skupiłem się na badaniach o charakterze agrochemicznym i środowiskowym, ze szczególnym uwzględnieniem praktycznych aspektów oceny parametrów fizykochemicznych i chemicznych gleb Lubelszczyzny z transferem teoretycznych rozważań na zalecenia oraz oceny kierowane wprost do produkcji rolnej. Celem tej działalności było stworzenie pomostu między nauką i praktyką rolniczą w wyniku identyfikowania potrzeb producentów rolnych i rozwiązywania ich problemów, z wykorzystaniem najbardziej znaczących osiągnięć naukowych w zakresie chemii rolnej i ochrony środowiska.

U podstaw realizacji praktycznych przesłanek podejmowanej działalności naukowej znalazły się następujące zagadnienia:

- 1.1. wybrane właściwości fizykochemiczne i chemiczne gleby jako podstawowe elementy w kształtowaniu warunków wzrostu i rozwoju roślin uprawnych,
- 1.2. niektóre elementy wpływu działalności rolniczej na kształtowanie wskaźników agrochemicznych gleby.

Podjmując pracę w praktyce agrochemicznej, mogłem dokonać ukierunkowania wcześniejszego zakresu i charakteru badań ścisłych na warunki produkcyjne panujące w realnym środowisku rolniczym. Dzięki temu możliwa była ocena wskaźników potencjału produkcji roślinnej w regionie, przeprowadzona na podstawie licznych wyników badań agrochemicznych i dzięki temu umożliwiająca formułowanie wniosków dla praktyki rolniczej.

Badania agrochemiczne w zakresie podstawowym przyczyniły się nie tylko do oceny stanu zakwaszenia gleby i jej zasobności w składniki mineralne w ujęciu względnym (przydatnym do celów strategicznych – regionalnych, do celów związanych z produkcją i dystrybucją nawozów), lecz także do wyznaczenia konkretnych wartości zarówno odczynu, jak i ilości makro- oraz mikroelementów. Zważywszy na zmienny charakter omawianych parametrów, konieczne stało się ich powiązanie z uziarnieniem gleby, jak również z obecnością węgla organicznego. Nigdy wcześniej nie wykonano na taką skalę oceny ogólnych wskaźników zakwaszenia i zasobności gleby (systematycznie publikowanych w ujęciu regionalnym) z wykazaniem wartości bezwzględnych zawartości P, K, Mg, N, S, B, Cu, Zn, Mn i Fe w formach uznanych za dostępne dla roślin uprawnych.

Podjęte badania wykazały potencjał agrochemiczny gleb kształtujący wielkość i jakość plonów głównych roślin uprawnych. Jednocześnie zróżnicowanie gleb na Lubelszczyźnie pozwoliło na wykorzystanie uzyskanych wyników w szerszej skali. Do osiągnięcia postawionego celu posłużyły prace, których rezultaty opublikowano w 6 artykułach naukowych **[6.B, 7.B, 8.B, 10.B-12.B]**.

Czynnikiem najbardziej determinującym plonowanie roślin na badanym obszarze jest odczyn gleby **[8.B, 10.B, 12.B]**. Z przeprowadzonych wieloletnich badań wynika, iż ponad 52,1% użytków rolnych charakteryzuje się bardzo kwaśnym i kwaśnym odczynem, 22,8% lekko kwaśnym, a 25,1% – obojętnym i zasadowym **[8.B]**. Odczyn badanych gleb jest bardzo mocno związany z kategorią agronomiczną. Wraz ze zwiększeniem się zawartości cząstek <0,02 mm pH gleb istotnie wzrastało. W glebach lekkich pH<sub>KCl</sub> wynosiło 5,30; lekkich – 5,55; średnich – 5,70, a ciężkich – 6,30. Takich zależności natomiast nie stwierdzono w glebach węgłanowych występujących na badanym terenie, gdzie pH<sub>KCl</sub> nie zależało istotnie od kategorii agronomicznej, a odczyn w każdej z nich był zasadowy. Biorąc pod uwagę poszczególne kategorie agronomiczne badanych gleb, wykazano, że gleby bardzo lekkie charakteryzowały się w większości kwaśnym odczynem, lekkie i średnie – lekko kwaśnym, a ciężkie – obojętnym. Stwierdzono również, że pH<sub>KCl</sub> gleb bardzo lekkich było istotnie niższe niż lekkich i średnich oraz ciężkich. Z kolei nie odnotowano udowodnionych w tym względzie statystycznie różnic pomiędzy glebami lekkimi i średnimi **[10.B]**.

Z przeprowadzonych badań wynika, że z końcem XX wieku udział gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych wynosił aż 59%. W latach 1999-2004 nastąpiło zmniejszenie procentowego udziału gleb bardzo kwaśnych, natomiast od 2004 roku obserwowano ponowny wzrost powierzchni gleb charakteryzujących się kwaśnym i bardzo kwaśnym odczynem. W badanym regionie blisko połowa badanych gleb charakteryzowała się bardzo wysokimi potrzebami wapnowania, 47,2% gleb wymaga wapnowania (konieczne i potrzebne), na 13,0% wskazane jest wapnowanie, a na 39,8% ograniczone i zbędne. Znaczne zakwaszenie gleb gruntów ornych wynikało z przebiegu procesów glebotwórczych, oddziaływań antropogenicznych i niedostatecznego zużycia nawozów wapniowych **[8.B]**.

W badaniach poddano ocenie zależności pomiędzy zawartością próchnicy oraz występowaniem przyswajalnych form makro- i mikroelementów z uprawianymi roślinami. W przeprowadzonych badaniach [12.B] wykazano, że zawartość próchnicy w glebach uprawnych, wahała się od 1,46 do 2,41%. W glebach bardzo lekkich, lekkich i średnich nie stwierdzono istotnej różnicy jej ilości, natomiast istotnie więcej próchnicy stwierdzono w glebach ciężkich.

Z przeprowadzonych badań wynika, iż zawartość fosforu przyswajalnego w badanych glebach wynosiła od 67,7 do 109,2 mg P kg<sup>-1</sup>. W glebach bardzo lekkich, lekkich i średnich kształtowała się na wysokim poziomie (wg liczb granicznych) i nie różniła się w sposób udowodniony statystycznie. Z kolei w glebach ciężkich była bardzo wysoka i istotnie wyższa niż w glebach pozostałych kategorii [12.B]. W glebach bezwęglanowych [10.B] zawartość fosforu przyswajalnego nie zależała jednoznacznie od kategorii agronomicznej. W obiektach zaliczanych do kategorii bardzo lekkich, lekkich i średnich (wahała się od 63,1 do 67,4 mg P kg<sup>-1</sup>), ale nie stwierdzono istotnych różnic. W glebach ciężkich ilość P była zdecydowanie większa (80,2 mg P kg<sup>-1</sup>) i różniła się w sposób istotny od zawartości w trzech poprzednich kategoriach. Gleby lekkie i średnie wykazywały najczęściej średnią zasobność w fosfor przyswajalny. Z kolei w glebach bardzo lekkich i ciężkich stwierdzono wysoką zawartość tej formy fosforu. W węglanowych glebach bardzo lekkich zawartość fosforu była najmniejsza, w lekkich, średnich i ciężkich była zdecydowanie wyższa, ale bardzo wyrównana. Gleba bardzo lekka wykazywała najczęściej średnią zasobność w fosfor przyswajalny, a lekka, średnia i ciężka – zasobność bardzo wysoką. Zawartość fosforu w glebach tych kategorii nie różniła się jednak istotnie. Zawartość fosforu przyswajalnego w badanych glebach zależała istotnie od klasy odczynu. Zasobność gleb kwaśnych w ten pierwiastek była niska, kwaśnych i lekko kwaśnych – średnia, obojętnych i zasadowych – bardzo wysoka.

W przeprowadzonych badaniach wykazano, iż zawartość potasu przyswajalnego w zależała istotnie od udziału cząstek o rozmiarach <0,02 mm. W glebach węglanowych stwierdzono większą zawartość tego pierwiastka niż w bezwęglanowych. Jednak istotnie więcej było go tylko w utworach cięższych, w porównaniu z zawartością w próbkach gleb pozostałych kategorii agronomicznych [10.B, 12.B].

Zawartość magnezu przyswajalnego w glebach bezwęglanowych zależała istotnie od kategorii agronomicznej. Zasobność gleb wszystkich kategorii w ten pierwiastek najczęściej należała do średniej. W glebach węglanowych zawartość tego pierwiastka zwiększała się wraz ze wzrostem zawartości cząstek <0,02 mm, jednak istotnie większa, w porównaniu z glebami bardzo lekkimi, lekkimi i średnimi, była tylko w glebach ciężkich [10.B]. Zawartość magnezu przyswajalnego w glebach zależała istotnie od klasy odczynu i wzrastała do klasy lekko kwaśnej. W klasach gleb kwaśnych i zasadowych nie różniła się istotnie.

Zawartość siarki siarczanowej w badanych glebach wynosiła od 4,81 do 16,92 mg S-SO<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> gleby. W glebach bardzo lekkich była istotnie mniejsza niż w pozostałych kategoriach agronomicznych. Nie stwierdzono udowodnionych statystycznie różnic zawartości tej formy siarki w glebach lekkich, średnich i ciężkich [12.B]. W innych badaniach stwierdzono zależność zawartości siarki siarczanowej w glebach mineralnych od terminu pobierania próbek gleby oraz kategorii agronomicznej. Ponadto wykazano istotnie większą zawartość siarki siarczanowej w glebach organicznych. Zawartość siarki siarczanowej w glebie zależała istotnie i dodatkowo od występowania węgla organicznego, przyswajalnych form P, Mg, N-NO<sub>3</sub>, N-NH<sub>4</sub>, N<sub>min</sub>

i siarki ogółem. Zawartość węgla organicznego, fosforu przyswajalnego oraz azotu amonowego i azotanowego(V) miała istotny wpływ na kształtowanie się zawartości siarki ogółem w badanych glebach. Na koncentrację siarki istotnie i ujemnie wpływało nawożenie azotem pod przedplon i pod roślinę główną [11.B].

W badanych glebach zaobserwowano systematyczny wzrost zawartości fosforu, potasu, magnezu i siarki wraz ze zwiększeniem się zawartości próchnicy, jednak nie odnotowano istotnych różnic [12.B].

W przeprowadzonych badaniach stwierdzono dodatnią zależność zawartości fosforu przyswajalnego od odczynu. Jednak gleby bardzo kwaśne, kwaśne i lekko kwaśne nie różniły się istotnie występowaniem tego pierwiastka. W glebach obojętnych było go istotnie więcej niż w trzech klasach gleb wymienionych wcześniej oraz istotnie mniej niż w glebach zasadowych. Również zawartość potasu przyswajalnego zależała dodatnio od odczynu. W glebach bardzo kwaśnych było istotnie mniej tego pierwiastka niż w pozostałych klasach odczynu. W glebach kwaśnych, lekko kwaśnych, obojętnych i zasadowych zawartość potasu nie różniła się w sposób udowodniony statystycznie. Zależność zawartości magnezu przyswajalnego od klasy odczynu gleby była również dodatnia i wyraźna, ale nie tak jednoznacznie jak w przypadku P i K. Stwierdzono, że zawartość Mg w glebach bardzo kwaśnych i kwaśnych oraz lekko kwaśnych, obojętnych i zasadowych nie różniła się istotnie. Zawartość siarki siarczanowej wzrastała natomiast systematycznie, począwszy od gleb bardzo kwaśnych do zasadowych. Najniższa była w glebach bardzo kwaśnych; w kwaśnych i lekko kwaśnych oraz obojętnych i zasadowych nie różniła się istotnie [12.B].

Zawartość boru rozpuszczalnego w ocenianych glebach wynosiła od 2,92 do 4,97 mg kg<sup>-1</sup>. Najmniej tej formy B występowało w glebach bardzo lekkich, a w kolejnych kategoriach ilość ta wyraźnie wzrastała. Nie stwierdzono jednak istotnych różnic w zawartości boru pomiędzy glebami poszczególnych kategorii agronomicznych. Odnotowano natomiast duże zróżnicowanie w zawartości miedzi rozpuszczalnej w roztworze o stężeniu 1 mol HCl, szczególnie w glebach bardzo lekkich i lekkich. Jednak nie stwierdzono istotnych różnic w zawartości Cu pomiędzy poszczególnymi kategoriami agronomicznymi gleb. W glebach lekkich i średnich, w porównaniu z glebami bardzo lekkimi, zawartość żelaza rozpuszczalnego wzrastała istotnie. Nie stwierdzono jednak różnic udowodnionych statystycznie w zawartości tego pierwiastka w glebach lekkich i ciężkich. Zawartość manganu rozpuszczalnego w glebie wzrastała istotnie, począwszy od gleb bardzo lekkich do ciężkich, a 22% gleb ornych Lubelszczyzny charakteryzowało się małą zasobnością w ten pierwiastek. Z kolei zawartość cynku rozpuszczalnego była najmniejsza w glebach bardzo lekkich i była to ilość istotnie mniejsza niż w pozostałych kategoriach glebowych. W glebach lekkich, średnich i ciężkich nie odnotowano wystąpienia istotnych różnic w zawartości tego pierwiastka.

Spośród oznaczanych mikroelementów na ogół istotnie i dodatnio od kategorii agronomicznej gleby zależała zawartość manganu, żelaza i cynku, natomiast nie odnotowano wpływu udowodnionego statystycznie udziału cząstek o wymiarach poniżej 0,02 mm na zawartość boru i miedzi.

Analizując wpływ zawartości próchnicy w glebie na ilość rozpuszczalnych form mikroelementów, stwierdzono, że był on szczególnie zauważalny i dodatni w przypadku cynku, żelaza i manganu oraz mniej widoczny w przypadku miedzi i boru.

Stwierdzono istotny i dodatni wpływ odczynu gleby na zawartość rozpuszczalnych form manganu, żelaza i boru, jednak takiego wpływu nie odnotowano w stosunku do miedzi i cynku.

W badaniach wykazano zależności potwierdzone analizą statystyczną (współczynniki korelacji) pomiędzy zawartością próchnicy w glebie i  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  a występowaniem oznaczanych form makro- i mikroelementów (z wyjątkiem potasu i miedzi przyswajalnej). Największy współczynnik determinacji wyniósł 18,7% i dotyczył związków próchnicy z zawartością przyswajalnego cynku. Odnotowano również wystąpienie istotnych dodatnich korelacji pomiędzy  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  a pozostałymi oznaczanymi wskaźnikami. Także zawartość fosforu przyswajalnego istotnie i dodatnio zależała od większości oznaczanych właściwości glebowych. Największy współczynnik determinacji obrazujący powyższe zależności dotyczył związków fosforu przyswajalnego z magnezem przyswajalnym i wyniósł 26,6%. Spośród oznaczanych cech obliczono istotne i dodatnie współczynniki korelacji pomiędzy zawartością potasu przyswajalnego a  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  i obecnością w glebie przyswajalnych form fosforu, magnezu i siarki. Z kolei odnotowano wystąpienie udowodnionych statystycznie i dodatnich współczynników korelacji pomiędzy zawartością magnezu przyswajalnego a próchnicą,  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  i przyswajalnych form fosforu, potasu, siarki i żelaza. Odnotowano również, że pomiędzy zawartością siarki siarczanowej a większością oznaczanych właściwości glebowych wystąpiły istotne i dodatnie korelacje. Największy współczynnik determinacji wyznaczono dla zależności pomiędzy zawartością S-SO<sub>4</sub> a zawartością boru przyswajalnego (33,8%) i próchnicą (16,1%).

Współczynniki regresji wielokrotnej i determinacji obliczone dla pięciu badanych mikroelementów wskazują, że w największym stopniu od odczynu gleby zależała zawartość boru i manganu. Należy zauważyć, że właściwości te w 50% decydowały o ilości tych pierwiastków w glebie. Z kolei wyznaczone równania regresji wielokrotnej mogą być wykorzystane do prognozowania zmian zawartości przyswajalnych form mikroelementów w glebie z wyborem najlepszego podzbioru zmiennych niezależnych [12.B].

## **2. Ocena zawartości azotu w glebach i zależności jego zawartości od wybranych czynników naturalnych i antropogenicznych**

Od roku 2003, kierując badaniami związanymi z zawartością azotu mineralnego w glebach Lubelszczyzny, wynikającymi z przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu, jako wypełnienia wymogów dyrektywy azotanowej, ukierunkowałem swoje zainteresowania również na tematykę azotu z punktu widzenia jego roli produkcyjnej, jak i środowiskowej.

Opracowania z tego zakresu miały na celu dostarczanie informacji o charakterze strategicznym dla decyzji w zakresie wyznaczania obszarów szczególnie narażonych na odpływ azotu ze źródeł rolniczych (OSN) oraz skuteczności działań podejmowanych w kontekście ochrony wód przed zanieczyszczeniami pochodzenia rolniczego. W badaniach zawartości jonów  $\text{NH}_4^+$  i  $\text{NO}_3^-$  oraz ich sumy w glebie, w warstwie 60-90 cm, w zależności od kategorii agronomicznej gleby oraz stosowanego nawożenia wykazano, że dominującą formą azotu w warstwie gleby 60-90 cm były jony  $\text{NO}_3^-$ , których zawartość była od 2 do 4 razy większa w porównaniu z formą  $\text{NH}_4^+$ . Zawartość jonów  $\text{NO}_3^-$  i  $\text{NH}_4^+$  w warstwie 60-90 cm nie zależała od terminu pobierania próbek glebowych do analiz (wiosna – jesień) oraz kategorii agronomicznej gleby (bardzo lekkie – ciężkie). Natomiast stosowanie obornika było czynnikiem istotnie wpływającym na występowanie obu form azotu w glebie. Ilość jonów  $\text{NO}_3^-$  w glebie była

największa w pierwszym roku po zastosowaniu obornika i zmniejszała się w kolejnych latach od jego zastosowania, a zawartość jonów  $\text{NH}_4^+$  w glebie była najmniejsza w pierwszym roku po zastosowaniu obornika i zwiększała się w kolejnych latach. Koncentracja azotu mineralnego w warstwie gleby 60-90 cm była istotnie większa w glebach bardzo lekkich niż w ciężkich. Wykazano tym samym większe niebezpieczeństwo zanieczyszczenia wód gruntowych przez mineralne związki azotu w warunkach gleb bardzo lekkich niż w warunkach gleb ciężkich. Zawartość  $\text{N}_{\text{min}}$  w glebach bardzo lekkich, pobieranych do analiz wiosną, istotnie wzrastała w kolejnych latach od zastosowania obornika. Natomiast w glebach ciężkich obserwowano istotny spadek ilości  $\text{N}_{\text{min}}$  w kolejnych latach po zastosowaniu obornika.

Ostatecznie wykazano [6.B, 7.B, 11.B, 12.B], iż zawartość azotu azotanowego(V) była największa w warstwie wierzchniej (0-30 cm) niezależnie od terminu pobierania próbek: wiosennego lub jesiennego, a w kolejnych dwóch warstwach (30-60 i 60-90 cm) zmniejszała się systematycznie. W próbkach pobieranych wiosną, w warstwie 0-30 cm wynosiła od 9,13 do 12,7, w warstwie 30-60 cm – 5,09-7,93, a w warstwie 60-90 cm – od 4,42 do 6,56  $\text{mg N kg}^{-1}$ ; zawartość azotanów w pierwszej warstwie (0-30 cm) była istotnie większa niż w dwu pozostałych (30-60 i 60-90 cm). W próbkach glebowych pobranych jesienią zawartość azotanów(V) była również największa w warstwie 0-30 cm (10,7-15,6  $\text{mg N kg}^{-1}$ ). W kolejnych warstwach wynosiła 6,61-11,3  $\text{mg N kg}^{-1}$  (30-60 cm) i 4,37-6,68  $\text{mg N kg}^{-1}$  (60-90 cm) [12.B].

Koncentracja azotu amonowego w glebie również była największa w próbkach pobranych z warstwy wierzchniej i zmniejszała się systematycznie w kolejnych warstwach, niezależnie od terminu (wiosenny, jesienny) i roku pobierania próbek. Zmienność tej ilości była bardzo duża, a zależała przede wszystkim od składu granulometrycznego gleby, uprawianej rośliny i jej przedplonu, oddalenia od roku zastosowania nawozów naturalnych i salda bilansu azotu. Istotne były również inne czynniki agrotechniczne i środowiskowe. Jednak nawożenie pozostawało czynnikiem mającym zasadniczy wpływ na występowanie tej formy (mineralnej) azotu w glebie.

Zawartość azotanów(V) w warstwie 0-30 cm gleby ocenianej wiosną zależała istotnie i dodatnio od  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ,  $\text{C}_{\text{org}}$  oraz od nagromadzenia przyswajalnych form oznaczanych makroelementów. Zawartość azotu amonowego w warstwie 0-30 cm gleby pobranej wiosną zależała istotnie i dodatnio od występowania węgla organicznego, przyswajalnych form oznaczanych makroelementów oraz istotnie i ujemnie od  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , frakcji spławialnej i koloidalnej, nawożenia azotem zastosowanym pod przedplon oraz nawożenia organicznego. Największą zależność w próbkach gleby pobranych z warstwy 0-30 cm odnotowano pomiędzy tą formą azotu, N- $\text{NH}_4$ , i azotem mineralnym ( $r_{xy} = 0,739$ ;  $n = 1998$ ). Zawartość azotu mineralnego w próbkach gleby pobranej wiosną z warstwy 0-30 cm ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) zależała istotnie i dodatnio od obecności węgla organicznego i przyswajalnych form makroelementów – największa,  $r_{xy} = 0,889$ , dotyczyła zawartości tej formy w warstwach 0-30 i 0-90 cm; w warstwie 0-90 cm gleby pobieranej wiosną. Dodatkowo (oprócz wyżej wymienionych właściwości) od  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , mineralnych form azotu (0-30 cm) i siarki oraz frakcji gleby  $< 0,05$  mm [11.B].

Badając wpływ rodzaju uprawy, nawożenia azotem i zróżnicowanego stosowania nawozów naturalnych na zawartość azotu azotanowego(V) w glebach, odnotowano, iż nawożenie w istotny sposób modyfikowało jego zawartość w glebie. Stosowanie płynnych nawozów naturalnych wpłynęło dodatnio na ilość N- $\text{NO}_3$  w profilu glebowym. Stosując gnojowicę można

zwiększyć nawet 2-krotnie zawartość tej formy azotu ( $18,8 \text{ mg N kg}^{-1}$ ) w stosunku do pól nie-nawożonych ( $7,9 \text{ mg N kg}^{-1}$ ). Stwierdzono również obniżone zawartości  $\text{N-NO}_3^-$  w obiektach, które nawożono słomą ( $5,0 \text{ mg N kg}^{-1}$ ). Stosując wzrastające dawki nawożenia azotem, w istotny sposób zwiększono w badanych glebach zawartość azotanów(V). Rezultaty badań wykazały mniejszą mobilność azotanów(V) z pól nawożonych obornikiem oraz azotem w dawce powyżej  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$  w porównaniu z glebami nawożonymi jedynie azotem. Natomiast jeżeli chodzi o wpływ uprawianych roślin, to w glebach, na których prowadzono uprawę buraka cukrowego ( $14,1 \text{ mg N kg}^{-1}$ ), a także warzyw ( $14,0 \text{ mg N kg}^{-1}$ ), odnotowano istotnie wyższą zawartość  $\text{N-NO}_3^-$  w porównaniu z glebami, na których prowadzono uprawę żyta ( $4,6 \text{ mg N kg}^{-1}$ ) lub które stanowiły użytek zielony ( $5,6 \text{ mg N kg}^{-1}$ ), a także były glebami odłogowanymi ( $1,1 \text{ mg N kg}^{-1}$ ) [6.B].

Obecne badania na dużą skalę wykazują ściśle zależności między rozmieszczeniem azotanów w glebie, właściwościami gleby a nawożeniem azotem. Zawartość  $\text{N-NO}_3^-$  zależała od roku badań, pory roku i głębokości pobierania próbek. W badanych obszarach wykazano większe stężenie  $\text{N-NO}_3^-$  w warstwie wierzchniej niż na głębokości od 31 do 90 cm. Te wyniki sugerują, że opady mają znaczny wpływ na rozmieszczenie nieorganicznych form azotu. Stwierdzono większe stężenie  $\text{N-NO}_3^-$  na niższych głębokościach wiosną niż na jesieni, co wskazuje na możliwość wymywania tej formy N podczas zimy i wczesnej wiosny i wskazuje na ilościowe zmiany w glebach. Obliczone współczynniki korelacji wskazywały na bliskie korelacje między zawartością  $\text{N-NO}_3^-$  i nawożeniem N a zawartością glinu oraz próchnicy. Ponadto badania wykazały znaczące interakcje między zawartością N i zawartością próchnicy. W glebie, która zawierała mniej niż 2% próchnicy nawożenie wysokimi dawkami N wywierało mniejszy wpływ na wzrost ilości  $\text{N-NO}_3^-$  w glebie [7.B].

Gleby Lubelszczyzny charakteryzują się dużą różnorodnością, ale ich znaczna część wykazuje słabe parametry fizykochemiczne i chemiczne (gleby bardzo lekkie i lekkie stanowią ponad 0,5 mln ha GO). To zróżnicowanie stawia region w wyjątkowej sytuacji w zakresie zmiennych cech, takich jak odczyn czy zawartość składników mineralnych.

Dzięki systematycznym badaniom trwającym od roku 2003 ocena stanu agrochemicznego gleb Lubelszczyzny nie tylko zmieniła formę, ale także przyczyniła się do wielofunkcyjnego wykorzystania istniejących danych. Ta ocena jest kierowana przede wszystkim do producentów rolnych, ale również do jednostek administracyjnych, wykorzystujących publikowane informacje do strategii rozwojowych, programów, planów zagospodarowania przestrzennego i innych.

Zrealizowane przeze mnie prace dotyczyły występowania w glebach regionu przyswajalnych form makro- (P, K, Mg, S) oraz mikroelementów (B, Cu, Zn, Fe, Mn). Badania te stanowią indywidualny wkład w upowszechnianie wiedzy na temat zachodzących zmian właściwości agrochemicznych gleb badanego obszaru na tle kraju, jak też i pozostałych regionów. Dzięki tym badaniom dokonywana jest systematyczna analiza stanu agrochemicznego gleb użytków rolnych Lubelszczyzny, której funkcja wykracza poza ramy regionalne z uwagi na różnorodność jednostek systematycznych gleby. W wyniku tej analizy wykazano, że od początku prowadzenia tego typu badań zasobność gleb Lubelszczyzny uległa korzystnym zmianom. Jednocześnie wyniki dowodzą, że zawartość przyswajalnych form makroelementów w glebie warunkowana jest zarówno działalnością rolniczą (P, K, Mg), jak i pozarolniczą (S).

Dlatego prowadzenie takich badań ma kluczowe znaczenie dla praktyki rolniczej oraz rozwoju przemysłu nawozowego.

W pracach nad zasobnością gleb Lubelszczyzny w mikroelementy wskazano ich zróżnicowanie, skłaniające do promowania tematyki nawożenia tymi pierwiastkami, szczególnie w nawożeniu B (burak cukrowy) i Cu (zboża) z uwagi na dominację tych gatunków w uprawach w regionie. Konieczne wydaje się również poszukiwanie innych metod diagnostyki zasobności gleby w mikroelementy.

Ocena zasobności gleb Lubelszczyzny w przyswajalne formy makro- i mikroelementów ma zatem znaczenie poznawcze i utylitarne. Jednak funkcja praktyczna jest w tym przypadku kluczowa. Z punktu widzenia gospodarki racjonalne zarządzanie składnikami mineralnymi w rolnictwie, w tym na poziomie pola, a także regionu i kraju, ma znaczenie ekonomiczne, jak też ekologiczne. Badania gleb dla potrzeb doradztwa nawozowego wykorzystywane są przez producentów rolnych. W skali regionu taka informacja jest przydatna dla przemysłu nawozowego, zwłaszcza mniejszych firm w regionie, urzędów regionalnych (wojewódzki, marszałkowski) oraz innych instytucji (np. inspekcje, instytuty resortowe).

### **3. Określenie głównych wskaźników agrochemicznych gleb w różnicowaniu plonów roślin dominujących w strukturze zasiewów**

Przeprowadzone z tego zakresu badania pozwoliły na kompleksową ocenę zawartości podstawowych makro- i mikroelementów w glebach użytków rolnych Lubelszczyzny. Na podstawie unikalnych wyników badań próbek pochodzących z ponad 800 pól produkcyjnych wykazano zależności jakościowe i ilościowe pomiędzy niektórymi właściwościami gleby kształtowanymi w wyniku oddziaływań antropogenicznych na agroekosystem i cechami ilościowymi głównych roślin uprawnych w regionie.

Uzyskane wyniki badań pozwoliły na wyznaczenie zależności pomiędzy niektórymi wskaźnikami agrochemicznymi modyfikowanymi w wyniku zabiegów agrotechnicznych, identyfikowanych na podstawie analizy gleby pod kątem odczynu, zasobności w makro- oraz mikroelementy. Uzyskane w ten sposób informacje mogą być wykorzystywane w produkcji roślinnej w zależności od zmieniających się warunków na poziomie pola do przewidywania rozmiarów produkcji, jak również mogą być wykorzystywane do planowania strategii oraz polityk regionalnych i ogólnokrajowych.

Podstawowymi elementami kształtującymi wielkość plonu są właściwie ocenione współzależności siedliskowe oraz odpowiednia kultura rolna. W celu osiągnięcia zamierzonych efektów ekonomicznych niezbędne jest określenie znaczenia poszczególnych czynników plonotwórczych (Noworolnik 2008a,b, Montemurro 2009, Andruszczak i in. 2011, Gozdowski i in. 2011, Jaskulska i in. 2015). Większość badań związana z plonowaniem roślin uprawnych skupia się głównie na dwu-, trzyczynnikowych doświadczeniach polowych lub wazonowych. Dlatego za szczególnie wartościowe można uznać badania środowiskowe wykonane w warunkach gospodarstw rolnych [**1.B, 2.B, 3.B, 4.B, 5.B, 9.B, 13.B**], gdyż wyniki tych prac mają znaczenie praktyczne i mogą być bezpośrednio wykorzystane w produkcji roślinnej.

W przeprowadzonych badaniach stwierdzono istotny wpływ uziarnienia gleby na plonowanie pszenicy ozimej. Plon tej rośliny zależał przede wszystkim od udziału cząstek pylastych i ilastych, ale nie zawsze istotnie. Zebrany z gliny piaszczystej był o 28,5% większy niż



z piasku gliniastego. Plon pochodzący z pyłu piaszczystego przewyższał o 33,6% plon zebrany na piasku gliniastym. Największy plon ziarna stwierdzono wówczas, gdy rośliny były uprawiane na glebie pyłowej. Był on wówczas większy o prawie 70% od pochodzącego z piasku gliniastego. Odnotowano, że plon ziarna roślin uprawianych na piasku gliniastym, glinie piaszczystej i pyłe piaszczystym nie różnił się w sposób udowodniony statystycznie, natomiast istotny był wpływ frakcji pyłu **[3.B]**.

Pszenica ozima jest rośliną, która najlepiej rozwija się i plonuje na glebach strukturalnych, ciepłych i przepuszczalnych, o dużej pojemności sorpcyjnej oraz odczynie lekko kwaśnym i obojętnym. Nie toleruje natomiast gleb zakwaszonych ( $\text{pH}_{\text{KCl}} < 5,5$ ). W badaniach nie stwierdzono istotnego wpływu klasy odczynu gleby na plonowanie pszenicy ozimej. Odnotowano jednak, że plon ziarna zebrany z gleb o odczynie obojętnym był o około 5,5% większy, a pochodzący z gleb zasadowych przewyższał o 16,4% plon ziarna zebrany z gleb kwaśnych. Nie stwierdzono istotnego wpływu zasobności gleby w fosfor przyswajalny na plonowanie pszenicy ozimej. Natomiast odnotowano, że wzrost zawartości fosforu przyswajalnego powodował nieregularny przyrost plonu ziarna. Plon uzyskany na glebach o zasobności bardzo wysokiej był o 28% większy niż plon otrzymany na glebach o zasobności bardzo niskiej **[1.B]**.

W przeprowadzonych badaniach nie stwierdzono istotnego oddziaływania zasobności gleby w potas przyswajalny na plonowanie pszenicy ozimej. Odnotowano jednak, że plon ten systematycznie przyrastał od klasy zasobności bardzo niskiej do średniej, w klasie zasobności bardzo wysokiej również utrzymywał się na wysokim poziomie. W klasie zasobności średniej w ten pierwiastek plon był wyższy o około 19%, a w klasie zasobności bardzo wysokiej o 17% w porównaniu z bardzo niską zasobnością gleby w potas przyswajalny. Pozytywną rolę zasobności gleby w potas przyswajalny na plonowanie pszenicy ozimej potwierdzono w przeprowadzonych wcześniej badaniach **[1.B, 13.B]**.

Badając zasobność gleb w magnez przyswajalny, nie stwierdzono jego istotnego wpływu na plonowanie pszenicy ozimej. Odnotowano jednak systematyczny przyrost plonu ziarna w zależności od klasy zasobności w magnez przyswajalny, bardzo niskiej do średniej i stosunkowo wysoki plon w klasie zasobności wysokiej i bardzo wysokiej. Plon zebrany z gleby o średniej zasobności w magnez przyswajalny był o 15%, a z gleby o bardzo wysokiej zasobności o 4,8% wyższy niż pochodzący z gleby o bardzo niskiej zasobności w ten pierwiastek **[13.B]**. W badaniach **[1.B]** odnotowano, że zasobność gleby w przyswajalny magnez pozytywnie oddziaływała na plon ziarna pszenicy ozimej.

Nawożenie pszenicy ozimej azotem istotnie zwiększyło plon ziarna w warunkach gleb Lubelszczyzny. Pod wpływem wysokich dawek był istotnie większy niż pod wpływem dawek niskich czy średnich. Zastosowanie dawki podwójnej spowodowało przyrost plonu ziarna o 12,4, a potrójnej – o 82,5% w porównaniu z dawką pojedynczą **[13.B]**.

W badaniach własnych **[1.B]** zaobserwowano istotne zróżnicowanie plonu w zależności od gatunku zboża uprawianego przed pszenicą ozimą. Najniższą masę ziarna otrzymano po mieszkankach zbożowych, owsie oraz jęczmieniu jarym, natomiast wyższy plon (niezróżnicowany statystycznie) uzyskano po pszenicy jarej i ozimej. Dane te, sprzeczne z wynikami uzyskanymi przez Jaskulskiego i Piasecką (2007), mogą świadczyć o złożoności czynników wpływających na produkcję roślinną. Suwara i in. (2007) uważają, że niekorzystny płodozmian wynikający z uprawy tych samych gatunków roślin po sobie może być rekompensowany nawożeniem, uprawą mechaniczną oraz ochroną chemiczną.

Plon istotnie dodatnio zależał od wielkości stosowanego nawożenia azotem, o czym świadczy również wysoka wartość wyliczonych współczynników korelacji. Zaobserwowano korzystne oddziaływanie zwiększania dawek azotu na wielkość plonu. Ten pozytywny efekt zastosowanego nawożenia nie był jednakowy dla poszczególnych dawek N. Największe przyrosty plonu odnotowano na glebach, gdzie zwiększano dawkę N do 120 kg N ha<sup>-1</sup>, ilość nawozu przekraczająca 150 kg N ha<sup>-1</sup> także wpłynęła pozytywnie, ale nie różnicowała istotnie plonu w porównaniu z dawką 120 kg N ha<sup>-1</sup>. Jak wskazują dotychczasowe badania, wielkość nawożenia azotem była jednym z podstawowych czynników determinujących uzyskany plon (Rutkowska 2006, Suwara i in. 2007, Brzozowska i in. 2008). Wyższe nawożenie azotem pozytywnie oddziaływało na krzewienie produkcyjne oraz ograniczało zamieranie pędów bocznych (Podolska 2008). Na plon pszenicy ozimej także korzystnie oddziaływało nawożenie pod przedplon. Plon ponad 6 t ha<sup>-1</sup> uzyskany przy nawożeniu dawką powyżej 150 kg N ha<sup>-1</sup> był większy o około 2 t ha<sup>-1</sup> w porównaniu z obiektami, na których stosowano jedną dawkę azotu pod przedplon. Można przypuszczać, że pozytywna reakcja pszenicy ozimej na nawóz azotowy zastosowany w roku poprzedzającym uprawę oziminy była wynikiem pobrania azotu mineralnego niewykorzystanego przez przedplon oraz pochodzącego z jego wtórnego uwolnienia z substancji organicznej.

Ocena zależności między plonem pszenicy ozimej a właściwościami gleby i niektórymi zabiegami agrotechnicznymi wykazała, że zmienne niezależne determinują łącznie w 50% osiągnięty plon ziarna. Zakładając, że łączne oddziaływanie ocenianych czynników w ustalonym przedziale determinacji wynosi 100%, oszacowano udział poszczególnych zmiennych niezależnych w kształtowaniu plonu ziarna. Z ocenianych zmiennych w największym stopniu (ponad 50%) na plon pszenicy ozimej wpływało nawożenie mineralne azotem, stosowane zarówno bezpośrednio pod pszenicę, jak i jej przedplon. Z właściwości glebowych w najwyższym stopniu na plon oddziaływały zasobność gleby w magnez (11%), zawartość próchnicy (8%), udział frakcji spławialnej (7%) oraz zawartość potasu przyswajalnego (7%). Pszenica ozima pozytywnie reagowała na zawartość składników mineralnych w glebie, zawartość próchnicy, frakcji spławialnej oraz zmniejszenie kwasowości gleby. Właściwości te, szczególnie w przypadku pszenicy ozimej – rośliny o wysokich wymaganiach glebowych i agrotechnicznych, mają duży wpływ na wielkość plonu ziarna.

W uprawie pszenicy jarej [4.B] duże znaczenie mają odpowiedni dobór środków produkcji rolniczej oraz warunki siedliskowe. Jak wskazują doświadczenia, nowe odmiany pszenicy jarej charakteryzują się dużym potencjałem plonotwórczym. Poza cechami odmianowymi wysokość plonu ziarna uwarunkowana jest także poziomem agrotechniki (Wesołowski i in. 2005, Kołodziejczyk i in. 2007), zróżnicowanym nawożeniem mineralnym i organicznym (Ralciewicz i Knapowski 2004), przedplonem (Wilczewski i in. 2007) oraz warunkami glebowo-klimatycznymi (Dmowski i in. 2008). Wysoka plenność pszenicy jarej obserwowana w warunkach eksperymentalnych często nie ma odzwierciedlenia w plonach uzyskiwanych w warunkach produkcji rolniczej (GUS 2009, Radzka i in. 2009). Zmniejszenie nakładów na środki produkcji rolnej ogranicza praktyczne możliwości optymalizacji warunków uprawy. Negatywne praktyki często dostrzegane w gospodarstwach rolnych (niewłaściwy płodozmian, uprawa na glebach słabych, nieprawidłowe nawożenie mineralne) wymagają analizy możliwości uzyskiwania wysokich plonów przy ograniczonych nakładach.

Plon ziarna pszenicy jarej był zróżnicowany w zależności od roku przeprowadzonych badań. Uzyskana masa ziarna wynosiła od 3,26 t ha<sup>-1</sup> do 4,60 t ha<sup>-1</sup>. Zwiększanie dawek azotu stosowanych w roku uprawy pszenicy oraz pod jej przedplon dodatnio wpływało na plon ziarna, jego średnia wielkość przy braku nawożenia pod pszenicę wynosiła 3,54 t ha<sup>-1</sup>, natomiast nawożenie w dawce powyżej 121 kg N ha<sup>-1</sup> skutkowało zwiększeniem biomasy ziarna do ponad 5,6 t ha<sup>-1</sup>. Podobną tendencję zaobserwowano w przypadku nawożenia pod przedplon pszenicy. Dodatnią zależność między nawożeniem azotem a osiągniętym plonem ziarna potwierdziły obliczone współczynniki korelacji. Na podstawie równania regresji wielokrotnej stwierdzono, że zwiększenie nawożenia azotem o 1 kg powodowało wzrost plonu o ponad 0,01 t. Dotychczasowe badania w sposób niejednoznaczny opisują zależność między plonem pszenicy jarej a nawożeniem azotem. Chrzanowska-Drożdż i in. (1999) stwierdzili dodatnią reakcję tej rośliny na zwiększenie dawki nawożenia. O korzystnym wpływie nawożenia azotem na plon donosili wcześniej Ralcewicz i Knapowski (2004) oraz Sulek i Podolska (2008). Natomiast Borkowska i in. (1999) zauważyli, że nawożeniu azotem powyżej 150 kg N ha<sup>-1</sup> towarzyszyło zmniejszenie plonu, a w innych badaniach Borkowskiej i in. (2002) dawka N nie wpływała na wzrost plonowania. Subedi i in. (2007) obserwowali przyrost plonu ziarna spowodowany nawożeniem do 60 kg N ha<sup>-1</sup>, jednocześnie nie odnotowali istotnej zmiany masy plonu po zastosowaniu 100 kg N ha<sup>-1</sup>. Zależność tę badacze łączą z krótkim okresem wegetacyjnym pszenicy jarej oraz ograniczonym czasem pobierania, teoretycznie łatwo dostępnego azotu z nawozów mineralnych. Beznakładowe czynniki produkcji (właściwości fizyczne i chemiczne gleby, klasa bonitacyjna, kompleks rolniczej przydatności) w dużym stopniu wpływały na wielkość uzyskiwanego plonu pszenicy. Jej wysokie wymagania glebowe decydowały o mniejszym plonowaniu na glebach kompleksów 4 i 5, o niskiej klasie bonitacyjnej i po gorszych przedplonach. Istotnie wyższe plony uzyskano na glebach pierwszej i drugiej klasy bonitacyjnej należących do kompleksów pszennych. Obliczone współczynniki korelacji potwierdzają zwiększenie plonowania wraz z polepszaniem się parametrów żyzności gleby. Wzrostowi zawartości makroelementów w glebie, węgla organicznego oraz frakcji części spławialnych towarzyszyło zwiększenie masy uzyskanego ziarna. Dodatkowo ujemny współczynnik korelacji o wartości -0,5 między frakcją piasku a wielkością plonu potwierdza dużą wrażliwość pszenicy na niekorzystne warunki fizyczne panujące w glebie.

W prezentowanych badaniach oceniono plenność 10 najczęściej uprawianych odmian. Największy plon obserwowano u jakościowej odmiany 'Koksa' i był on większy o prawie 3 t ha<sup>-1</sup> od plonu najsłabiej plonującej odmiany chlebowej 'Hena'. Jak wskazują badania, potencjał plonotwórczy poszczególnych odmian jest zróżnicowany. Różnice te są uwarunkowane odpornością na szkodniki, zdolnością konkurencji z chwastami oraz wykorzystaniem składników pokarmowych z gleby.

W badanym rejonie znaczny udział gruntów ornich zajmują gleby lekkie, które charakteryzują się dużym zakwaszeniem, niską zawartością składników pokarmowych oraz małą pojemnością wodną. Na glebach tych najczęściej uprawia się rośliny o niewielkich wymaganiach pokarmowych, do takich roślin bezwzględnie należy żyto [3.B]. Ze względu na dobrze rozwinięty system korzeniowy żyta ozimego i wysoką odporność na niskie pH uzyskuje się zadawalający plon tego zboża na glebach piaszczystych. Znaczne obszary gleb regionu mogą zatem być wykorzystane pod uprawę tej rośliny.

Średni plon ziarna żyta ozimego był uzależniony od roku uprawy i wynosił od 2,34 t ha<sup>-1</sup> do 3,29 t ha<sup>-1</sup>. Wartości te, zbliżone do średniego plonu w kraju, były ponad 2-krotnie niższe od średniego plonu uzyskiwanego w doświadczeniach rejestrowych COBORU oraz 4-krotnie od plonu w mikroplotkowych badaniach IUNG (Kopiński i in. 2002). Wskazywać to może na duży potencjał plonotwórczy żyta ograniczany praktykami gospodarskimi, m.in. nieprawidłowym płodozmianem czy niskim nawożeniem mineralnym. Nawożenie żyta azotem w dawce powyżej 40 kg N ha<sup>-1</sup> powodowało wzrost plonu o ponad 30%. Zboże to dodatkowo reagowało także na nawożenie pod przedplon. W badaniach wykazano interakcję między wielkością dawki azotu pod żyto a wielkością nawożenia azotowego przedplonu. Największe zbiory uzyskano z pól nawożonych najwyższymi dawkami pod przedplon oraz żyto. Jednocześnie stwierdzono zmniejszenie plonu w kombinacji – niskie nawożenie w roku uprawy żyta i wysokie nawożenie przedplonu. Łączna ocena wpływu czynników glebowych i nawożenia wykazała, że determinują one w 20% plonowanie żyta ozimego. Obliczone współczynniki korelacji potwierdzają dodatni wpływ nawożenia azotem na plon tej rośliny. Zauważono, że masa uzyskanego ziarna była ujemnie skorelowana ze stężeniem jonów wodorowych w roztworze glebowym. Wykazano istotną zależność między zawartością azotanów w glebie jesienią a uzyskaną masą ziarna, natomiast takich zależności nie stwierdzono w odniesieniu do zasobności gleby w potas, fosfor, azot i magnez. Wyniki te potwierdzają najmniejszą wśród zbóż wrażliwość żyta na niedobór makro- i mikroelementów w glebie. Żyto ozime wykazuje silną reakcję na przedplon (Jaskulski i Piasecka 2007a). Deryło i Szymankiewicz (1999) stwierdzili większy plon żyta uprawianego po owsie, natomiast Jaskulski i Piasecka (2007a) uważają, że wpływ przedplonu na plon żyta jest silnie determinowany przebiegiem pogody. W przeprowadzonych badaniach nie odnotowano statystycznie istotnego wpływu przedplonu na plonowanie żyta. Jednak wielkość osiąganego plonu była uwarunkowana płodozmianem. Największy plon obserwowano w płodozmianie, w którym wystąpił rzepak, nieco mniejszy w płodozmianie z okopowymi. Uprawa żyta w monokulturze lub monokulturze zbożowej skutkowałą zmniejszeniem plonu ziarna. Negatywny efekt uprawy żyta w monokulturze mógł być wynikiem małego zróżnicowania resztek poźniwnych, jednorodności składu gatunkowego drobnoustrojów ryzosfery oraz zwiększenia zachwaszczenia.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że średni plon ziarna jęczmienia jarego [5.B] był zróżnicowany w zależności od roku uprawy. Łączna ocena wpływu warunków glebowych oraz nawożenia azotem wykazała, że czynniki glebowe i agrochemiczne determinują w 37% wielkość plonu jęczmienia jarego. Obliczone równanie regresji wielokrotnej metodą krokową wykazało, że obok nawożenia azotem stosowanego pod przedplon i pod jęczmień, plon jęczmienia był determinowany przez skład granulometryczny oraz zawartość przyswajalnego Mg w glebie. Na tę zależność wskazują zarówno obliczone współczynniki korelacji liniowej, jak i łączne oddziaływanie wszystkich ocenianych czynników. Stwierdzono, że na glebach o większej zawartości części spławialnych, zasobnych w magnez przyswajalny, osiągnano większy plon. Zdaniem Noworolnika [2008a] plon jęczmienia jarego w dużym stopniu był uzależniony od gleby, na której go uprawiano. Rezultaty otrzymane przez tego autora [2008a] wskazują na istotną zależność między zawartością Mg i K przyswajalnego, pH, składem granulometrycznym a plonem ziarna jęczmienia jarego. Większa zawartość Mg i K oraz części spławialnych korzystnie oddziałuje na masę ziarna. Otrzymany relatywnie wysoki do-

datni współczynnik korelacji między zawartością Mg a plonem mógł być spowodowany stosowaniem NPK bez uzupełniania nawożenia innymi makroelementami, w tym szczególnie magnezem. Plon jęczmienia jarego zależał także od odmiany. Odmiany pastewne cechowały się istotnie większym średnim plonem w porównaniu z jęczmieniem browarnym. Największy średni plon osiągnięto, uprawiając odmianę jęczmienia pastewnego 'Rodos', natomiast najmniejszy plon spośród odmian jęczmienia browarnego uzyskano w przypadku jęczmienia 'Maresi'. Przedplon jęczmienia jarego miał istotny wpływ na wielkość plonu. Uprawa roślin zbożowych w monokulturze lub monokulturach zbożowych negatywnie wpływała na ich plonowanie [Blecharczyk i in. 2005, Kurowski i in. 2005]. Potwierdziły to badania własne, w których średnie plony ziarna jęczmienia uprawianego po buraku cukrowym były największe w porównaniu z innymi ocenianymi przedplonami. Według Blecharczyka i in. [2005] uprawa jęczmienia jarego w monokulturze skutkowałą zmniejszeniem liczby kłosów, ziaren w kłosie oraz masy ziaren w kłosie. Łączne oddziaływanie ocenianych czynników determinowało w 37% wielkość uzyskanego plonu. Stwierdzono, że jęczmień reagował pozytywnie na nawożenie azotem i plonował najlepiej, gdy przedplonem był burak cukrowy. Większy plon uzyskano na glebach zasobnych w Mg, K oraz N-NO<sub>3</sub> oraz związłych, o uregulowanym odczynie. Rezultaty badań wskazują, że statystycznie istotnie najwyższe plony otrzymano, uprawiając odmiany pastewne, w szczególności odmianę 'Rodos'.

Uzyskany plon ziarna owsa [9.B] charakteryzował się istotnym zróżnicowaniem w kolejnych latach badań. Tłumaczyć to można faktem, iż na plon owsa, podobnie jak w przypadku innych zbóż, istotny wpływ mają warunki atmosferyczne panujące w okresie wegetacji, szczególnie rozkład opadów i temperatury. Uzyskany plon ziarna był także w dużym stopniu determinowany cechami odmianowymi. Największą masą ziarna charakteryzowała się odmiana 'Markus', która plonowała średnio o 1,72 t ha<sup>-1</sup> lepiej niż najsłabiej plonująca odmiana 'Chwat'. Średni plon odmiany nagoziarnistej 'Akt' był o 20-25% mniejszy od masy ziarna odmian najlepiej plonujących – 'Dukat', 'Ramzes' i 'Bartek'. Odmiana nagoziarnista teoretycznie plonuje o 23-25% słabiej niż odmiany oplewione z uwagi na mniejszy udział łuski (Cermak i Moudry 1998, Piech i in. 1999) oraz większą wrażliwość na niedobór opadów (Witkowiec i in. 2009). Cechy odmianowe owsa, podobnie jak większości innych gatunków zbóż, w istotny sposób decydują o wielkości uzyskanego plonu (Pisulewska i in. 2010, Witkowiec i in. 2009, May i in. 2004).

Obok doboru odmian jednym z najważniejszych czynników plonotwórczych w uprawie zbóż jest nawożenie azotem. Uzyskany w badaniach plon owsa zależał istotnie od dawki tego składnika. Średnia jego wielkość bez nawożenia azotem (w roku uprawy) wynosiła 2,29 t·ha<sup>-1</sup>, a przy dawce powyżej 71 kg·ha<sup>-1</sup> – 3,43 t·ha<sup>-1</sup>. Podobna zależność występowała również między plonem i nawożeniem azotem pod przedplon. Jednak w przypadku azotu stosowanego pod przedplon zwiększenie dawki tego składnika powyżej 40 kg·ha<sup>-1</sup> powodowało wprowadzić przyrost plonu, jednak nie był on statystycznie istotny. Największy średni plon uzyskano po kukurydzy, najmniejszy – po gryce. Przedplon jednak nie różnicował istotnie uzyskanych zbiorów. Czynnikiem determinującym wielkość uzyskanego plonu była także klasa bonitacyjna gleby, kompleks przydatności rolniczej oraz kategoria agronomiczna gleby. Największy plon uzyskano na glebach klasy 3a i 3b, a najmniejszy na glebach klasy 5. Różnica ta była statystycznie istotna i wynosiła 0,57 oraz 0,81 t ha<sup>-1</sup>. Na glebach kompleksu pszenno-wadliwego otrzymany plon był największy, natomiast na kompleksie żytnim bardzo słabym – najmniejszy. Najlepszy

plon uzyskano na glebie średniej, natomiast plon uzyskany na glebie lekkiej i bardzo lekkiej nie był istotnie zróżnicowany. Obliczone współczynniki korelacji potwierdzają występującą, udowodnioną statystycznie, zależność między plonem owsa a właściwościami fizykochemicznymi gleby oraz niektórymi zabiegami agrotechnicznymi. Analiza regresji wielokrotnej wykazała, że oceniane czynniki w 33% determinowały uzyskany plon. Stwierdzono, że spośród rozpatrywanych właściwości gleby i zabiegów agrotechnicznych nawożenie azotem w istotny sposób wpływało na plon ziarna owsa, przy czym najwyższy plon uzyskano przy dawce powyżej 71 kg N·ha<sup>-1</sup>. Plon zależał również, w sposób udowodniony statystycznie, od uprawianej odmiany, współczynniki korelacji dowodzą dodatniej zależności między plonem ziarna owsa a nawożeniem azotem, zawartością mineralnych form azotu w glebie, części ilastych, pH gleby oraz zawartością węgla organicznego.

Badania nad związkiem uprawy buraka cukrowego z właściwościami gleby pozwoliły określić plony tej rośliny na obszarze objętym obserwacjami na 47 t z ha [5.B]. W przeprowadzonych badaniach wzrost masy uzyskiwanych plonów z ponad 37 t z ha przy dawce 0-80 kg N ha<sup>-1</sup> do ponad 53 t ha<sup>-1</sup> przy stosowaniu nawożenia w ilości przekraczającej 171 N ha<sup>-1</sup>. Największy plon korzeni, wynoszący 56 t ha<sup>-1</sup> otrzymano przy nawożeniu największymi dawkami azotu zastosowanego pod przedplon oraz bezpośrednio pod uprawę buraka. Obliczone współczynniki korelacji potwierdziły dodatnią zależność między dawką azotu a wielkością uzyskanych zbiorów. Azot jako podstawowy składnik decydował w największym stopniu o wielkości produkcji korzeni buraka.

Analizując wyniki przeprowadzonych badań, zaobserwowano zwiększenie plonu buraka cukrowego na nawożenie azotem w roku poprzedzającym uprawę tej rośliny. Zastosowany pod przedplon azot w dawce powyżej 90 kg N ha<sup>-1</sup> wpłynął korzystnie na masę korzeni, powodując wzrost średnio o około 7 t ha<sup>-1</sup> (w porównaniu z mniejszymi dawkami N). Zależność ta mogła być wynikiem niewykorzystania przez przedplon składnika wniesionego z nawozem lub jego wtórnego uwolnienia podczas mineralizacji resztek poźniwnych. Największe plonowanie tej rośliny uzyskano z pól, na których zastosowano największe dawki azotu bez nawozów naturalnych. Burak cukrowy ze względu na duże potrzeby pokarmowe wymaga odpowiednio wysokiej kultury rolnej. Na podstawie wyznaczonego równania regresji, z wyborem najlepszego podzbioru zmiennych niezależnych, można prognozować plonowanie buraka cukrowego w zależności od nawożenia i właściwości gleby. Plon w największym stopniu zależał od wielkości nawożenia mineralnego i zawartości magnezu przyswajalnego w glebie. Potwierdzono to statystycznie wyznaczonym współczynnikiem korelacji i determinacji. Magnez spełnia istotną funkcję w budowie chlorofilu, uczestniczy w procesie fotosyntezy oraz jest aktywatorem wielu enzymów w procesach energetycznych, stąd jego niedobór w glebie limitował plon poprzez ograniczenie powierzchni asymilacyjnej liści. Wzrost zasobności gleby w magnez, w połączeniu z nawożeniem azotem do dawki około 80 kg N ha<sup>-1</sup>, korzystnie oddziaływał na plon. Inaczej było w przypadku stosowania wysokich dawek azotu na gleby o bardzo dużej zasobności w magnez – produktywność takich plantacji zmniejszyła się. Uzyskiwana masa plonu buraka cukrowego zależała również od klasy bonitacyjnej gleby.

## Podsumowanie osiągnięcia naukowego

W wyniku wieloletnich badań środowiskowych o kluczowym znaczeniu dla produkcji roślinnej w Polsce, zrealizowanych na obszarze Lubelszczyzny, zajmującym około 1,6 mln ha użytków rolnych, położonym na zróżnicowanych jednostkach systematycznych gleb (z wyjątkiem gleb górskich), dokonano wielowymiarowej oceny podstawowych właściwości agrochemicznych gruntów ornych kształtujących wielkość plonów roślin uprawnych.

1. Kompleksowe badania odczynu i zasobności gleby w przyswajalne formy fosforu, potasu, magnezu, siarki oraz kluczowych mikroelementów – boru, miedzi, manganu, cynku oraz żelaza – w skali dotychczas nierealizowanej w takim zakresie pozwoliły wyznaczyć wartości poszczególnych wskaźników żyzności gleby w regionie.
2. Podstawowe fizykochemiczne i chemiczne parametry gleby jako potencjalne wskaźniki oddziaływania na poziom produkcji roślinnej wyrażono w wartościach bezwzględnych, nadając im nowy praktyczny wymiar (wykraczający poza standardowe oceny w klasach zasobności) i podnosząc ich użyteczność jako wartości wyjściowych do badań, ocen i prognoz, poprzez możliwość ich korelowania z wieloma danymi agrochemicznymi i środowiskowymi, tworzenia z ich udziałem nowych narzędzi do oceny oddziaływania rolnictwa na środowisko oraz wpływu czynników środowiskowych i antropogenicznych na kształtowanie się zmian najbardziej czułych wskaźników (np. pH, mineralne formy N i inne).
3. Odrębnej charakterystyce agrochemicznej poddano gleby węglanowe, co ma szczególne znaczenie z punktu widzenia oceny zawartości w nich przyswajalnych form makroelementów, zwłaszcza fosforu, i może przyczynić się do korekty nawożenia tym składnikiem w warunkach podwyższonej ilości  $\text{CaCO}_3$  w warstwie ornej gleby.
4. Wyjątkowe miejsce wśród ocenianych składników pokarmowych roślin zajmuje azot jako składnik niezbędny dla wszystkich żywych organizmów, ale niosący za sobą liczne zagrożenia tak dla wód, jak i powietrza. Specyfika przemian tego składnika w glebie i rola najważniejszych jego mineralnych form w żywieniu roślin stały się podstawą oceny czynników oddziałujących na jego zawartość oraz zmiany występowania pod wpływem wybranych elementów agrotechniki, czynników organizacyjnych oraz środowiskowych.
5. W glebach obszaru objętego badaniami wykazano, że zawartość jonów  $\text{NO}_3^-$  była największa w pierwszym roku po zastosowaniu obornika i zmniejszała się w kolejnych latach, a zawartość jonów  $\text{NH}_4^+$  w glebie była najmniejsza w pierwszym roku po zastosowaniu obornika i zwiększała się w kolejnych latach. Tym samym blisko 500 tys. ha gleb Lubelszczyzny może być narażone na większe wymywanie azotu (w glebach lżejszych), na co wskazały wyniki zwiększającej się zawartości  $\text{N}_{\text{min}}$  w kolejnych latach od zastosowania obornika, w przeciwieństwie do gleb o większej zawartości cząstek o wymiarach 0,02 mm, gdzie obserwowano istotny spadek zawartości  $\text{N}_{\text{min}}$  w kolejnych latach po zastosowaniu obornika.
6. Wykazano, że w warunkach agroekosystemowych regionu, stosowanie wysokich dawek azotu może być mało efektywne i prowadzić do przemieszczania tego składnika w głąb profilu glebowego, zwiększając jego straty i pogarszając potencjał produkcyjny

gleby, zwłaszcza w północnych rejonach Lubelszczyzny, charakteryzujących się glebami o słabszym kompleksie sorpcyjnym.

7. Wyznaczone w wyniku wieloletnich obserwacji wskaźniki występowania azotu mineralnego w glebach Lubelszczyzny pozwoliły na utworzenie bazy informacyjnej i wykazanie zależności tego wskaźnika z podstawowymi fizycznymi i fizykochemicznymi właściwościami gleb ze szczególnym uwzględnieniem składu granulometrycznego, z próchnicą i odczynem.
8. Z uwagi na nieustanny ubytek siarki w środowisku w badaniach oceniono zmienność jej występowania w zależności od różnych czynników, charakteryzując pod tym względem gleby Lubelszczyzny. Szczególne znaczenie miało wykazanie udowodnionych powiązań zawartości siarki siarczanowej z występowaniem przyswajalnych form fosforu, magnezu,  $N-NO_3$ ,  $N-NH_4$ , a także  $N_{min}$ . Zależności te należy uwzględnić w kształtowaniu dawek siarki, zwłaszcza w uprawie roślin wrażliwych na jej niedobory.
9. Przeprowadzone badania pozwoliły na kompleksową charakterystykę wpływu głównych czynników agrochemicznych gleb na wielkość plonów roślin dominujących w strukturze zasiewów w regionie, w tym pszenicy ozimej i jarej, jęczmienia jarego, owsa, żyta oraz buraka cukrowego, jak również roślin sadowniczych. Ich udział w strukturze zasiewów determinują właściwości fizyczne gleb objętych badaniami, a z cech mających największe znaczenie z punktu widzenia budowy kompleksu sorpcyjnego, charakteryzowanego udziałem cząstek o wymiarach 0,02 mm. Cechy te mają wyjątkowe znaczenie w praktyce rolniczej, a zwłaszcza w doradztwie nawozowym i jako kategorie agronomiczne gleb są podstawą określania zasobności większości makro- i mikroelementów.
10. Poszczególne gatunki badanych roślin w warunkach polowych charakteryzowały się odmiennymi reakcjami na odczyn oraz zawartość przyswajalnych form makro- oraz mikroelementów. W przeprowadzonych badaniach wykazano:
  - W uprawie pszenicy ozimej – ilościowe różnice w plonach (sięgające nawet 70%) w zależności od warunków glebowych determinowane były udziałem cząstek o wymiarach poniżej 0,02 mm. Udowodniono nieznaczne oddziaływanie odczynu gleby oraz silny związek efektów produkcyjnych ziarna pszenicy wraz z poprawiającą się zasobnością w przyswajalny P, K i Mg. Wskazano również optymalne dla plonowania dawki azotu w warunkach glebowo-klimatycznych Lubelszczyzny.
  - W uprawie pszenicy jarej – uzyskiwane plony najczęściej niekorzystnie odbiegały od średnich krajowych, dlatego szczególnie ważne okazało się wskazanie negatywnego oddziaływania frakcji piasku na wielkość biomasy ziarna. Tym samym beznakładowe czynniki produkcji – właściwości fizyczne, klasa bonitacyjna, kompleks rolniczej przydatności oraz właściwości chemiczne gleby – w dużym stopniu wpływały na wielkość uzyskiwanego plonu pszenicy.
  - W uprawie jęczmienia jarego – czynniki glebowe oraz nawożenie azotem determinowały w 37% wielkość plonu ziarna. Ocena statystyczna dokonana krokową metodą regresji wielokrotnej wykazała, że obok nawożenia azotem stosowanego pod przedplon i pod jęczmień plon rośliny był determinowany przez skład granulometryczny oraz zawartość przyswajalnego Mg w glebie. Tym samym wykazano możliwość skutecznego modyfikowania produkcji ziarna jęczmienia jarego w wyniku nawożenia magnezem.



- W uprawie żyta – potencjał produkcyjny tego gatunku nie jest w pełni wykorzystany na terenie objętym badaniami. Nawet niewielkie dawki azotu, a także następcze działanie elementów agrotechniki zastosowanej pod przedplon przyczyniało się do wzrostu plonu żyta nawet o 30%. Tym samym roślina ta, powszechnie uznawana za znoszącą niskie pH, negatywnie reagowała na wzrost stężenia jonów wodorowych w kompleksie sorpcyjnym i roztworze glebowym.
  - W uprawie owsa – w warunkach produkcyjnych regionu plonowanie tej rośliny zależało od potencjału odmianowego, ale także od klasy bonitacyjnej i kategorii agronomicznej gleby oraz kompleksu przydatności rolniczej. Udokumentowane statystycznie zależności potwierdzają związki między plonem ziarna owsa i nawożeniem azotem, zawartością mineralnych form azotu w glebie, części ilastych, pH gleby oraz zawartością węgla organicznego, a znaczna część tych wskaźników może być modyfikowana odpowiednimi zabiegami agrotechnicznymi, zwłaszcza nawożeniem. Czynniki te mogą w znaczący sposób zwiększać plon owsa, który charakteryzuje się znaczną przydatnością do uprawy w warunkach słabszych gleb Lubelszczyzny.
  - W uprawie buraka cukrowego szczególnego podkreślenia wymaga wykazana kluczowa rola magnezu przyswajalnego w glebie (oprócz nawożenia azotem) w kształtowaniu wielkości plonów tej rośliny. Jednocześnie udowodniono, że uproszczona klasyfikacja gleby (bonitacyjna) może być wykorzystana do prognozowania różnicy w plonach buraka cukrowego w regionie o wyjątkowym znaczeniu w produkcji tej rośliny.
11. Przeprowadzone badania umożliwiły ocenę zależności pomiędzy wybranymi właściwościami agrochemicznymi gleby i plonowaniem odmian pszenicy, jęczmienia i owsa w warunkach produkcyjnych Lubelszczyzny, co może być wykorzystane w konfrontacji z rezultatami otrzymanymi w warunkach ściśle kontrolowanych.
  12. Rozpoznanie aktualnego stanu odczynu i zasobności gleby w przyswajalne formy podstawowych makro- (P, K, Mg, S-SO<sub>4</sub>) i mikroelementów (B, Cu, Fe, Mn, Zn), ocena zachodzących zmian oraz prognozowanie (na podstawie wyznaczonych wskaźników statystycznych) stanowi platformę informacyjną o stanie agrochemicznym gleb Lubelszczyzny i możliwościach wykorzystania tego potencjału w sterowaniu plonowaniem roślin uprawnych na glebach o zróżnicowanych cechach jakościowych.
  13. Zgromadzone dane ilościowe oraz wyznaczone modele statystyczne mogą stanowić narzędzia do zarządzania składnikami mineralnymi na poziomie pola, gospodarstwa i regionu, a także stanowić element tego zarządzania w skali kraju.

## Literatura

- Andruszczak S., Kwiecińska-Poppe E., Kraska P., Palys E. (2011): Yield of winter cultivars of spelt wheat (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) cultivated under diversified conditions of mineral fertilization and chemical protection. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura*, 10(40), 5-14.
- Blecharczyk A., Małecka I., Piechota T. (2005): Efekt nawożenia jęczmienia jarego uprawianego w monokulturze. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura*, 4(1), 25-32.
- Borkowska H., Grundas S., Styk B. (1999): Plonowanie kilku odmian pszenicy jarej w zależności od poziomu nawożenia azotowego. *Annales UMCS, sec. E, Agricultura*, 54, 21-29.
- Borkowska H., Grundas S., Styk B. (2002): Wysokość i jakość plonów niektórych odmian pszenicy jarej w zależności od nawożenia azotowego. *Annales UMCS, sec. E, Agricultura*, 57(2), 99-103.
- Brzozowska I., Brzozowski J., Hruszka M. (2008): Plonowanie i struktura plonu pszenicy ozimej w zależności od sposobu pielęgnacji i nawożenia azotem. *Acta Agrophysica*, 11(3), 597-611.
- Cermak B., Moudry J. (1998): Comparison of grain yield and nutritive value of naked and husked oats. *Acta Academiae Agriculturae ac Technicae Olstenensis, Agricultura*, 66, 89-98.
- Chrzanowska-Drożdż B., Jasińska Z., Gil Z. (1999): Ocena jakości ziarna pszenicy jarej w siewach czystych i mieszaninach odmian. *Pamiętnik Puławski*, 118, 67-75.
- Czuba R., Strahl A., Kamińska W. (1968): Badania nad rozmieszczeniem przyswajalnych składników w profilach glebowych. Cz. II. Zawartość przyswajalnego boru, miedzi i molibdenu oraz manganu aktywnego w profilach glebowych. *Roczniki Gleboznawcze*, 19(1), 151-166.
- Czuba R., Zaniuk A. (1968): Badania nad rozmieszczeniem przyswajalnych składników w profilach glebowych. Część III. Współzależność między zawartością węgla organicznego, iltu koloidalnego w glebie i jej pH a zawartością magnezu przyswajalnego i niektórych mikroelementów. *Roczniki Gleboznawcze*, 19(2), 249-266.
- Deryło S., Szymankiewicz K. (1999): Reakcja żyta ozimego na uprawę w płodozmianach i monokulturze na glebie lekkiej. *Pamiętnik Puławski*, 114, 57-62.
- Dmowski Z., Dzieżyc H., Nowak L. (2008): Ocena wpływu wybranych parametrów opadu i gleby na plonowanie pszenicy jarej w rejonie południowo-zachodniej Polski. *Acta Agrophysica*, 11(3), 613-622.
- Domańska J. (2009): Soluble forms of zinc in profiles of selected types of arable soils. *Journal of Elementology*, 14(1), 55-62.
- Filipek T. (1998): Dynamika antropogenicznych przyczyn oraz skutków zakwaszenia gleb w Polsce. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 456, 7-12.
- Filipek T., Skowrońska M. (2013): Aktualnie dominujące przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb użytkowanych rolniczo w Polsce. *Acta Agrophysica*, 20(2), 283-294.
- Filipek T., Fotyma M., Lipiński W. (2006): Stan, przyczyny i skutki zakwaszenia gleb ornych w Polsce. *Nawozy i Nawożenie*, 2(27), 7-38.
- Fotyma M. (2007): Content of potassium in different forms in the soils of southeast Poland. *Polish Journal of Soil Science*, 40(1), 19-32.
- Fotyma M., Gosek S., Lipiński W. (2006): Zawartość i udział różnych form potasu w glebach Wyżyny Lubelskiej. *Nawozy i Nawożenie*, 1(26), 57-70.
- GUS (2009): Rolnictwo w 2008 roku. Warszawa, 1-168.
- GUS (2018): Rolnictwo w województwie lubelskim w 2017 r. Lublin.
- 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.
- Jaskulska I., Boczkowski T., Janiak A., Jaskulski D. (2015): Wpływ wieloletniego zróżnicowanego nawożenia na strukturę plonu i zanieczyszczenie ziarna pszenicy ozimej. *Fragmenta Agronomica* 32(2), 20-28.
- Jaskulski D., Piasecka J. (2007a): Reakcja żyta i pszenżyta ozimego na uprawę po zbożach jarych i ugorze. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura*, 6, 17-25.
- Jaskulski D., Piasecka J. (2007b): Zboża jare i ugor jako przedplony pszenicy ozimej i jęczmienia ozimego. *Acta Agrophysica*, 10(2), 349-356.
- Kaniuczak J. (1998): Makroelementy w glebach lessowych Podgórza Rzeszowskiego w zależności od sposobu użytkowania. Cz. 2. Zawartość potasu ogólnego i przyswajalnego. *Zeszyty Naukowe AR w Krakowie, Sesja naukowa*, 54(2), 407-410.

- Kołodziejczyk M., Szmigiel A., Oleksy A. (2007): Wpływ intensywności uprawy na plonowanie wybranych odmian pszenicy jarej. *Acta Sci. Pol., Agricultura*, 6(4), 5-14.
- Kopiński J., Nieściór E., Sułek A. (2002): Wykorzystanie możliwości produkcyjnych zbóż w woj. lubelskim. *Pam. Puł.*, 130, 371-377.
- Kozłowska-Strawska J., Kaczor A. (2004): Wpływ nawożenia roślin różnymi związkami siarki na zawartość siarki siarczanowej w glebie. *Annales UMCS, sec. E, Agricultura*, 59(2), 515-520.
- Kurowski T.P., Wanic M., Nowicki J. (2005): Fitosanitarna ocena mieszanki zbożowo-strączkowej jako przedplonu dla jęczmienia jarego. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura*, 4(1), 61-68.
- Lipiński W. (1998): Odczyn gleb Polski. *Nawozy i Nawożenie*, 2(23), 33-40.
- Lipiński W. (2000): Odczyn i zasobność gleb w świetle badań stacji chemiczno-rolniczych. *Nawozy i Nawożenie*, 3a(4), 89-105.
- Lipiński W. (2005a): Odczyn gleb Polski. *Nawozy i Nawożenie*, 2, 33-40.
- Lipiński W. (2005b): Zasobność gleb Polski w fosfor przyswajalny. *Nawozy i Nawożenie*, 2(23), 49-54.
- Lipiński W. (2005c): Zasobność gleb Polski w potas przyswajalny. *Nawozy i Nawożenie*, 2(23), 55-60.
- Lipiński W. (2005d): Zasobność gleb Polski w magnez przyswajalny. *Nawozy i Nawożenie*, 2(23), 61-66.
- Lipiński W. (2010): Zasoby azotu mineralnego w glebach gruntów ornych w strefach wrażliwych na zanieczyszczenie azotanami (OSN). *Nawozy i Nawożenie*, 38, 111-120.
- Lipiński W., Bednarek W. (1998a): Występowanie łatwo rozpuszczalnych form metali w glebach Lubelszczyzny w zależności od odczynu i składu granulometrycznego. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 456, 399-404.
- Lipiński W., Bednarek W. (1998b): Ocena zasobności gleb Lubelszczyzny w magnez przyswajalny. *Wyd. PTMag. Oddz. w Lublinie*, 100-107.
- Lipiński W., Walendziuk M. (2005): Potas przyswajalny w glebach Polski. *Nawozy i Nawożenie*, 3(24), 181-188.
- May W.E., Mohr R.M., Lafond G.P., Johnston A.M., Stevenson F.C. (2004): Effect of nitrogen, seeding date and cultivar on oat quality and yield in the eastern Canadian prairies. *Canadian Journal of Plant Science*, 84(4), 1025-1036.
- Montemurro F. (2009): Different Nitrogen Fertilization Sources, Soil Tillage and Crop Relations in Winter Wheat: Effect on Yield, Quality and Nitrogen Utilization. *Journal of Plant Nutrition*, 32(1), 1-18. DOI:10.1080/01904160802530979.
- Noworolnik K. (2008a): Wpływ jakości gleby na plonowanie pszenicy jarej i jęczmienia jarego. *Acta Agrophysica*, 11(2), 457-464.
- Noworolnik K. (2008b): Wpływ wybranych cech jakości gleby na plonowanie pszenicy ozimej i jęczmienia ozimego. *Acta Agrophysica*, 12(2), 477-485.
- Piech M., Nita Z., Maciorowski R. (1999): Porównanie plonowania dwóch odmian owsa nieoplewionego z oplewionym przy dwóch poziomach nawożenia azotem. *Żywność: Nauka. Technologia. Jakość*, 1 Supl., 137-141.
- Pisulewska E., Witkiewicz R., Kidacka A. (2010): Plon, komponenty składowe plonu oraz celność ziarna wybranych odmian owsa siewnego. *Żywność: Nauka. Technologia. Jakość*, 3(70), 117-126.
- Podolska G. (2008): Wpływ dawki i sposobu nawożenia azotem na plon i wartość technologiczną ziarna odmian pszenicy ozimej. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura*, 7(1) 57-65.
- Radzka E., Koc G., Bombik A. (2009): Wpływ posuch na plonowanie pszenicy jarej w środkowowschodniej Polsce. *Acta Agrophys.*, 13(2), 445-454.
- Ralcewicz M., Knapowski T. (2004): Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem na wysokość plonu. *Annales UMCS, Sec. E*, 59(2), 969-978.
- Rutkowska A. (2006): Możliwość sterowania wielkością plonu i jakością ziarna pszenicy ozimej przez nawożenie azotem. *Nawozy i Nawożenie*, 1(26), 171-185.
- Subedi K.D., Ma B. L., Xue A.G. (2007): Planting date and nitrogen effects on grain yield and protein content of spring wheat. *Crop Science*, 47, 36-44.
- Sułek A., Podolska G. (2008): Plonowanie i wartość technologiczna ziarna pszenicy jarej odmiany Nawra w zależności od dawki i terminu stosowania azotu. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura*, 7(1), 103-110.
- Suwara I., Lenart S., Gawrońska-Kulesza A. (2007): Wzrost i plonowanie pszenicy ozimej po 50 latach zróżnicowanego nawożenia i zmianowania. *Acta Agrophysica*, 10(3), 695-704.

- Szulc W., Rutkowska B., Łabętowicz J. (2004): Zawartość siarki ogólnej, organicznej i siarczanowej w profilu glebowym w warunkach różnych systemów uprawy gleby. *Annales UMCS sectio E*, 59, 55-62.
- Śniady R. (2002): Owies w rolnictwie ekologicznym – referat. Konferencja „Owies – Hodowla, Nasiennictwo”. AR Kraków.
- Tyler G., Olsson T. (2001): Concentrations of 60 elements in soil solution as related to the soil acidity. *European Journal of Soil Science*, 52, 151-165.
- Wesołowski M., Boniek Z., Buła M., Juszcak D. (2005): Wpływ gęstości wysiewu i poziomu agrotechniki na plon i jakość ziarna pszenicy jarej. *Pamiętnik Puławski*, 139, 311-318.
- Wilczewski E., Skinder Z., Lemańczyk G. (2007): Wartość wybranych roślin motylkowatych uprawianych w międzyplonie ścierniskowym na glebie lekkiej. Cz. III. Wpływ następczy dla pszenicy jarej. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura*, 6(1), 45-56.
- Witkowicz R., Lepiarczyk A., Pisulewska E. (2009): Ocena plonowania różnych form owsa. *Fragmenta Agronomica*, 26(2), 165-175.
- Zalecenia nawozowe. Cz. I. Liczby graniczne do wyceny zawartości w glebach makro- i mikroelementów (1990). Seria P (44), 1-26.
- PN-ISO 10390:1997. Jakość gleby. Oznaczanie pH.
- PN-ISO 14235:2003. Jakość gleby. Oznaczanie zawartości węgla organicznego przez utlenianie dwuchromianem(IV) w środowisku kwasu siarkowego(IV).
- PN-R-04016:1992. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego cynku
- PN-R-04017:1992. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnej miedzi.
- PN-R-04018:1993. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego boru.
- PN-R-04020:1994/Az1:2004. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego magnezu.
- PN-R-04021:1994. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego żelaza.
- PN-R-04022:1996/Az1:2002. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego potasu w glebach mineralnych.
- PN-R-04023:1996. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego fosforu w glebach mineralnych.
- PN-R-04028:1997. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Metody pobierania próbek i oznaczania zawartości jonów azotanowych i amonowych w glebach mineralnych.
- PN-R-04031:1997. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Pobieranie próbek.
- PN-R-04032:1998. Gleba i twory mineralne. Pobieranie próbek i oznaczanie składu granulometrycznego.

## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

### Działalność badawczo-naukowa

Działalność naukową rozpocząłem w 1997 roku wraz z podjęciem studiów doktoranckich na Wydziale Rolniczym Akademii Rolniczej w Lublinie w Katedrze Chemii Rolnej. Poza realizacją tematu związanego z przyszłą pracą doktorską kontynuowałem pracę nad zastosowaniem oczyszczonych ścieków miejskich w rolnictwie oraz rozpocząłem badania wpływu nawożenia na kształtowanie się mineralnych form fosforu w glebie. Zostałem włączony do zespołu badawczego kierowanego przez prof. dr. hab. Wiesława Bednarka, zajmującego się problematyką występowania fosforu w glebie i roślinach. W okresie tym opracowałem koncepcję badań oraz wykonałem doświadczenie wazonowe i przeprowadziłem odpowiednie analizy chemiczne, których celem było określenie wpływu wapnowania i nawożenia azotem na przemiany fosforu w glebie oraz pobranie tego składnika przez jęczmień jary.

Przez lata pracy, zarówno w Katedrze Chemii Rolnej i Środowiskowej Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, jak i w Stacji Chemiczno-Rolniczej w Lublinie, moje badania koncentrowały się wokół następujących zagadnień:

- A. Użyteczność ścieków miejskich w nawożeniu roślin.
- B. Wpływ nawożenia mineralnego i naturalnego na zawartość fosforu w glebie.
- C. Wpływ nawożenia mineralnego na właściwości fizykochemiczne gleby oraz plon i jakość roślin.
- D. Wpływ czynników antropogenicznych i środowiskowych na zawartość azotu w glebie.
- E. Kształtowanie się zawartości metali ciężkich w glebie oraz plonach roślin uprawnych.
- F. Makro- i mikroelementy w wybranych częściach wskaźnikowych i użytkowych roślin uprawnych.
- G. Pozostałe zagadnienia.

### **5.A. Użyteczność ścieków miejskich w nawożeniu roślin**

Początki mojej działalności naukowej związane były z badaniami nad rolniczym wykorzystaniem ścieków miejskich w ramach projektu badawczego PBZ 31-03 (**I-19**). Dynamiczny rozwój aglomeracji miejskich i przemysłu w latach 90. XX wieku spowodował wzrost ilości ścieków spływających do rzek, co stworzyło potrzebę ochrony wód przed zanieczyszczeniem. Konieczność oczyszczania masy wód zużytych zarówno przez miasta, jak i przemysł oraz duże zapotrzebowanie wodne i nawozowe rolnictwa przyczyniły się do zwiększonego zainteresowania rolniczym wykorzystaniem ścieków. W badaniach z zastosowaniem ścieków komunalnych do nawadniania określiłem wykorzystanie przez rośliny składników pokarmowych z wód ściekowych oraz wpływ ścieków na osiąganą biomasę roślin. Badania prowadziłem w doświadczeniu monolitowym na glebach wytworzonych z lessu. Roślinami uprawianymi w monolitach były kulkówka pospolita [**1.D**], słonecznik i rzepak [**3.D**]. Z badań, które prowadziłem, wynikało, iż ścieki powodowały wzrost odczynu badanych gleb, zwiększały plon suchej masy roślin oraz zwiększały pobieranie i wykorzystanie magnezu i fosforu przez rośliny. Badania wykazały również, że ścieki miejskie powodowały zmniejszenie zawartości magnezu przyswajalnego w glebie. Rzekap i słonecznik wykorzystywały magnez i potas ze ścieków w ilościach zbliżonych do równoważnej dawki nawozów mineralnych. W związku z tym potrzeby nawozowe roślin mogły być w dużej mierze pokrywane składnikami zawartymi w ściekach.

W innych badaniach prowadzonych w warunkach polowych [**2.D**] określałem wpływ oczyszczonych ścieków miejskich na odczyn gleby oraz zawartość przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu. Z przeprowadzonych badań wynikało, iż nawadnianie gleby oczyszczonymi ściekami miejskimi nie powodowało zmian odczynu oraz wartości kwasowości hydrolitycznej. Stosowanie oczyszczonych ścieków miejskich powodowało zwiększenie zawartości potasu i magnezu w warstwie wierzchniej gleby.

## 5.B. Wpływ nawożenia mineralnego i naturalnego na zawartości fosforu w glebie

Zajmując się badaniami wpływu nawożenia mineralnego i naturalnego na zawartość mineralnych form i frakcji fosforu w badaniach [5.D], oceniałem wpływ nawożenia obornikiem i nawozami azotowymi na występowanie mineralnych frakcji fosforu w glebie. Z przeprowadzonych badań wynikało, iż nawożenie obornikiem powodowało istotne przyrosty ilości frakcji fosforanów glinowych, żelazowych i sumy fosforanów mineralnych, nie wpływając na zawartość frakcji fosforanów wapniowych. Wzrastające dawki azotu powodowały istotne zmniejszenie zawartości frakcji fosforanów łatwo rozpuszczalnych, nie wywołując przy tym zmian zawartości frakcji fosforanów glinowych, wapniowych i sumy frakcji fosforanów mineralnych. Stwierdziłem także zwiększenie zawartości fosforanów żelazowych w glebie pod wpływem nawożenia azotem. Nawożenie obornikiem przyczyniało się do istotnego przyrostu zawartości frakcji fosforanów łatwo rozpuszczalnych. Z kolei zawartość frakcji fosforanów glinowych i żelazowych nie zależała istotnie od nawożenia obornikiem i azotem. Jednak wystąpiła pewna tendencja do zmniejszenia zawartości tych frakcji pod wpływem zastosowanych w eksperymencie czynników doświadczalnych. Zawartość frakcji fosforanów wapniowych i suma frakcji fosforanów mineralnych istotnie zmniejszyła się pod wpływem nawożenia obornikiem i azotem.

Zastosowanie wapnowania, nawożenia azotem i fosforem miało największy wpływ na zmiany wskaźników zakwaszenia gleby, powodując istotny wzrost pH w KCl i pH w H<sub>2</sub>O oraz spadek kwasowości hydrolitycznej. Nawożenie azotem i fosforem nie oddziaływało w sposób udowodniony statystycznie na wielkość tych wskaźników. Zawartość fosforu przyswajalnego zależała istotnie od nawożenia tym składnikiem. Również wapnowanie powodowało zauważalny przyrost jego ilości. Natomiast nawożenie azotem nie wpłynęło istotnie na zawartość tej formy P w glebie. Zastosowane czynniki doświadczalne (wapnowanie, nawożenie azotem i fosforem) w największym stopniu wpływały na kształtowanie się zawartości w glebie frakcji fosforanów łatwo rozpuszczalnych, glinowych i wapniowych poprzez oddziaływanie na przemiany tego pierwiastka oraz na plonowanie jęczmienia jarego.

W kolejnych badaniach [9.D, 10.D] moim celem było określenie wpływu wapnowania, nawożenia fosforem i azotem na występowanie frakcji fosforu w glebie kwaśnej, ubogiej w składniki pokarmowe. Wapnowanie, nawożenie azotem i fosforem wpływało na wzrost zawartości fosforu przyswajalnego oraz zawartości mineralnych frakcji fosforu w glebie. Nawożenie superfosfatem zwiększało ilość fosforanów łatwo rozpuszczalnych i żelazowych, natomiast zawartość fosforanów wapniowych uzależniona była od nawożenia mączką fosforytową. Z badań wynikało, iż wapnowanie gleby bardzo kwaśnej przyczyniło się do przyrostu plonu jęczmienia jarego. Rośliny rosnące na glebie kwaśnej gromadziły większe ilości fosforu, zarówno w ziarnie, słomie, jak i korzeniach, niż zebrane z gleby wapnowanej. Wapnowanie oraz nawożenie azotem i fosforem przyczyniło się do lepszego pobierania oraz wykorzystania fosforu przez rośliny, które więcej tego składnika pobrały z superfosfatu potrójnego niż z mączki fosforytowej. Wykorzystanie fosforu było również większe z superfosfatu niż z mączki, niezależnie czy nawozy te zastosowano na glebę kwaśną czy wapnowaną.

Badano też następczy wpływ nawożenia azotem i fosforem oraz wapnowania na zawartość ruchomych form i mineralnych frakcji fosforu. Z badań wynikało, iż zastosowane w pierw-

szym i drugim roku czynniki doświadczalne nie miały istotnego następczego wpływu na zawartość fosforu przyswajalnego ekstrahowanego według metody Egnera-Riehma oraz wodą. Natomiast istotnie wpływały na ilość P ekstrahowanego  $\text{CaCl}_2$  według metody Olsena oraz na zawartość frakcji fosforanów łatwo rozpuszczalnych i wapniowych.

Prowadząc badania polowe, w których zastosowano nawożenie NPK, NPK+ $\text{MgSO}_4$ , NPK+CaO+ $\text{MgO}$ , NPK+obornik, wykazano oddziaływanie nawożenia na zawartość frakcji fosforanów mineralnych. Nawożenie NPK i obornikiem zwiększało zawartość fosforanów glinowych i żelazowych oraz sumy frakcji fosforu mineralnego. Stosowanie NPK+CaO+ $\text{MgO}$  powodowało wzrost zawartości wszystkich form fosforanów mineralnych z wyjątkiem fosforanów wapniowych, natomiast nawożenie NPK+ $\text{MgSO}_4$  powodowało spadek ilości wszystkich frakcji glebowych z wyjątkiem fosforanów łatwo rozpuszczalnych. W warunkach gleby silnie zakwaszonej stosowanie wapnowania, nawożenia NPK i magnezem wpływało korzystnie na zawartość fosforu przyswajalnego w glebie. Natomiast głębokość prowadzenia zabiegów agrotechnicznych nie miała wpływu na zawartość fosforanów glebowych.

W doświadczeniu polowym z tymotką łąkową oceniano wpływ intensywnego, zróżnicowanego nawożenia azotem, fosforem i potasem na zawartość mineralnych frakcji fosforu w glebie, które stanowią podstawowe, ale różniące się źródło tego składnika dla uprawianych roślin. Z prowadzonych badań wynikało, iż nawożenie mineralne azotem, fosforem i potasem (po zbiorze tymotki łąkowej) w istotny sposób wpływało na zawartość frakcji fosforanów łatwo rozpuszczalnych w glebie. Największy przyrost powodowało nawożenie fosforem, mniejszy potasem oraz azotem. Zastosowane w eksperymencie nawożenie mineralne (azotem, fosforem i potasem) istotnie wpływało na przyrost zawartości frakcji fosforanów glinowych w glebie. Oceniając zawartość frakcji fosforanów żelazowych w glebie, stwierdzono, że była ona najbardziej stabilną frakcją i że nawożenie mineralne wzrastającymi dawkami NPK w zasadzie nie miało wpływu udowodnionego statystycznie na jej występowanie. Spośród trzech zastosowanych składników nawozowych (NPK) nawożenie fosforem oraz potasem istotnie zwiększało zawartość frakcji fosforanów wapniowych w glebie. Takiego wpływu nie odnotowano po zastosowaniu azotu. Nawożenie mineralne NPK wpłynęło istotnie na zawartość sumy mineralnych frakcji fosforu w glebie. Systematyczny przyrost ocenianej sumy frakcji odnotowano przede wszystkim pod wpływem nawożenia fosforem oraz potasem. Fosfor zastosowany w postaci superfosfatu potrójnego granulowanego przechodził w glebie przede wszystkim we frakcję fosforanów żelazowych i glinowych, w mniejszych ilościach – we frakcję fosforanów wapniowych – oraz w najmniejszych – we frakcję fosforanów łatwo rozpuszczalnych.

Wyżej opisane wyniki badań zostały opublikowane w następujących publikacjach: **5.D, 2.D, 6.D, 9.D, 10.D, 13.D, 14.D, 37.D.**

### **5.C. Wpływ nawożenia mineralnego na właściwości fizykochemiczne i chemiczne gleby oraz na plon i jakość roślin**

Badania dotyczące wpływu nawożenia mineralnego na właściwości fizykochemiczne i chemiczne gleby oraz na plon i jakość roślin obejmowały szereg doświadczeń zarówno polowych, jak i wazonowych [**16.D, 12.D, 8.D, 11.D, 7.D, 21.D, 29.D, 15.D**].

W doświadczeniach polowych oceniano wpływ NPK na zawartość wapnia w glebie i w roślinach kupkówki pospolitej. Stwierdzono, iż szczególnie intensywne nawożenie azotem i potasem powodowało istotne zmniejszenie zawartości wapnia wymiennego w glebie. Nawożenie azotem oddziaływało dodatnio na ilość i pobranie wapnia przez roślinę, natomiast nawożenie potasem powodowało istotne zmniejszenie zawartości i pobrania wapnia. Nawożenie NPK nie wywoływało istotnych zmian zawartości Ca w korzeniach.

Prowadząc 3-letnie doświadczenie polowe na glebie płowej wytworzonej z lessu z kupkówką pospolitą, oceniano zawartości dostępnych form azotu w warstwie ornej gleby (0-20 cm). Badania wykazały, że w zależności od zastosowanego nawożenia mineralnego (NPK) jedynie nawożenie azotem powodowało w warstwie ornej gleby istotne przyrosty N łatwo hydrolizującego, N-NH<sub>4</sub> i N-NO<sub>3</sub>. Zawartość ocenianych form azotu była istotnie większa po drugim i trzecim pokosie kupkówki w stosunku do pierwszego pokosu. Największą stabilnością wykazywała się forma azotu łatwo hydrolizującego, mniejszą – amonowego i azotanowego (V).

Badając wpływ nawożenia, uprawy roli i roślin na fizykochemiczne właściwości gleby płowej wytworzonej z lessu, stwierdzono, że nawożenie mineralne, różne sposoby uprawy roli oraz gatunek rośliny nie oddziałują istotnie na niektóre fizykochemiczne właściwości gleby: pH, zawartość glinu ruchomego i jonów wodorowych, jonów Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> oraz sumę kationów zasadowych (S), całkowitą pojemność kationową (T), a także na stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi (V).

W doświadczeniu wazonowym nad wapnowaniem, nawożenie azotem i fosforem zastosowanie CaCO<sub>3</sub> powodowało przejście gleby z klasy odczynu bardzo kwaśnego do lekko kwaśnego. Wapnowanie i nawożenie fosforem przyczyniło się również do zmniejszenia kwasowości hydrolitycznej i wymiennej. Zastosowana mączka fosforytowa miała nieco silniejsze działanie niż superfosfat. Wapnowanie gleby istotnie zmniejszało zawartość glinu ruchomego w glebie. Na zawartość tego pierwiastka wpływała również forma zastosowanego nawozu fosforowego. Po zastosowaniu nawożenia mineralnego azotem i fosforem ilość glinu ruchomego uległa zwiększeniu w porównaniu z zawartością w glebie wapnowanej obiektu kontrolnego.

W innym doświadczeniu wazonowym przeprowadzonym na glebie bielkowej właściwej badano wpływ nawożenia azotem i fosforem (mączka fosforytowa i superfosfat) oraz wapnowania na zawartość mineralnych form azotu. Z przeprowadzonych badań wynikało, że zawartość azotu ogólnego w glebie istotnie zmniejszyła się pod wpływem wapnowania. Zastosowane czynniki doświadczone (nawożenie azotem i fosforem) istotnie oddziaływały na zawartość azotu amonowego w glebie. Istotny wpływ na kształtowanie się zawartości azotu azotanowego (V) miało nawożenie azotem oraz fosforem. Zwiększone dawki azotu powodowały wzrost zawartości N-NO<sub>3</sub> w glebie. Spośród zastosowanych czynników doświadczalnych żaden nie miał istotnego wpływu na kształtowanie się zawartości azotu łatwo hydrolizującego.

Kolejne badania wykazały, że w warunkach doświadczenia wazonowego wapnowanie gleby istotnie zwiększało wysycenie gleby kationami zasadowymi, szczególnie jonami Ca<sup>2+</sup>, co powodowało znaczne zmniejszenie zawartości kationów glinu i wodoru oraz całkowitej pojemności sorpcyjnej. Spośród zastosowanych nawozów fosforowych najsilniejsze działanie miała mączka fosforytowa – powodowała zmniejszenie zawartości H<sup>+</sup> oraz zwiększenie ilości Ca<sup>2+</sup>, natomiast nawożenie azotem i superfosfatem potrójnym granulowanym nie powodowało tak dużych zmian w kompleksie sorpcyjnym [15.B].



Prowadząc doświadczenie wazonowe na materiale glebowym pobranym z warstwy ornej gleby biellicowej właściwej, dotyczące oddziaływania wapnowania i nawożenia mineralnego na wykorzystanie azotu przez jęczmień jary, wykazano, że wapnowanie gleby bardzo kwaśnej przyczyniło się do przyrostu plonu jęczmienia jarego. Dodatkowo stwierdzono, że rośliny gromadziły istotnie większą ilość azotu, zarówno w ziarnie, jak i słomie. Różnicowanie dawek nawożenia fosforem zmniejszało ilość azotu w ziarnie jęczmienia i istotnie w słomie. Wapnowanie oraz nawożenie azotem przyczyniło się istotnie do lepszego pobierania oraz wykorzystania azotu przez rośliny.

W dwuletnich doświadczeniach wazonowych [2.D] oceniano wpływ wapnowania oraz nawożenia fosforem i azotem na zawartość rozpuszczalnych form (w 1 mol · dm<sup>-3</sup> HCl) mikroelementów (manganu, miedzi, żelaza, cynku) w glebie biellicowej, bardzo kwaśnej, o niskiej zawartości fosforu przyswajalnego. Wapnowanie oraz nawożenie fosforem i azotem nie wpływało istotnie na zawartość w glebie rozpuszczalnych form manganu, miedzi i żelaza. Natomiast wapnowanie przyczynia się do istotnego zmniejszenia zawartości w glebie rozpuszczalnego cynku. Zabieg ten we współdziałaniu z nawożeniem mączką fosforytową i saletrzakiem najbardziej zmniejszał zawartość cynku w glebie.

W publikacji [4.A] opisano wyniki badań z 3-letniego eksperymentu, w którym prowadzono badania nad wpływem nawożenia mineralnego (NPK) na zawartość różnych form azotu w tymotce łąkowej, tj. azotu całkowitego, jego formy białkowej, mineralnej, azotu amonowego i azotanowego(V). Były one istotnie dodatnio skorelowane z mineralnym nawożeniem, w szczególności z azotem i fosforem oraz w mniejszym stopniu, potasem. Średni udział azotu białkowego w azocie całkowitym wyniósł 53,8%; azot mineralny, amonowy i azotanowy stanowiły odpowiednio 4,0, 2,5 i 1,5% azotu całkowitego. Zwiększenie dawek azotu, fosforu i potasu nie powoduje występowania w roślinach tymotki nadmiernych ilości azotanów(V).

W kolejnych latach zająłem się problematyką zakwaszenia polskich gleb w okresie 60 lat [41.D]. Stan tego procesu zaprezentowano w oparciu o wyniki badań agrochemicznych blisko 2 mln próbek glebowych pochodzących z użytków rolnych. Przedstawiono aktualny stan wiedzy dotyczącej przyrodniczych i antropogenicznych przyczyn oraz pierwotnych i wtórnych skutków zakwaszenia gleb, uwzględniając znaczenie tych procesów w produkcji roślinnej i ochronie środowiska. Monografia [41D] zawiera również zasady wapnowania gleb i charakterystykę oddziaływania tego zabiegu na atmosferę, środowisko wodne, gleby i rośliny uprawne.

## **5.D. Wpływ czynników antropogenicznych i środowiskowych na zawartość azotu w glebie**

Współpracując z Instytutem Nowych Syntez Chemicznych PIB w Puławach, Instytutem Agrofizyki PAN w Lublinie oraz Katedrą Łąkarstwa i Kształtowania Krajobrazu UP w Lublinie, zająłem się problematyką strat azotu mineralnego w profilu glebowym [8.A, 38.D].

W pracy [38.D] podjęto próbę oceny zawartości N<sub>min</sub> w glebach użytków zielonych w zależności od typów gleby, sposobów jej użytkowania oraz intensywności gospodarowania. Niezależnie od okresu prowadzonych badań i ocenianych czynników naturalnych istotny

wpływ na zawartość azotu mineralnego w warstwie gleby 60-90 cm miał zarówno sposób użytkowania gleby, jak i zagospodarowania użytków rolnych. Najmniejszą zawartość azotu wykazano w glebach mineralnych użytków zielonych, natomiast zarówno uprawa kukurydzy, jak i mieszanek zbożowych sprzyjała większemu nagromadzeniu tego składnika w profilu glebowym na głębokości 60-90 cm. Zawartość azotu mineralnego zależała także od sposobu użytkowania ekosystemów trawiastych. W glebach mineralnych największe ilości  $N_{min}$  stwierdzano w wyniku użytkowania kośnego, zaś na organicznych – kośno-pastwiskowego. Najmniejsze ilości azotu w ocenianej warstwie gleby notowano pod przemiennymi użytkami zielonymi. Wykazano także istnienie znaczącej zależności pomiędzy rozmiarami produkcji zwierzęcej a zawartością azotu mineralnego na głębokości 60-90 cm w profilu glebowym. Wyznaczone równania regresji stanowią praktyczny wkład w planowanie zrównoważonego nawożenia w zależności od obsady zwierzęcej w gospodarstwach.

W kolejnej pracy [8.A] podjęto próbę oceny zależności zawartości azotu mineralnego od odczynu gleby w glebach użytków zielonych na tle innych wybranych upraw rolniczych o przeznaczeniu paszowym. Niezależnie od terminu poboru prób do analizy (wiosenny czy jesienny) czy sposobu użytkowania (kośnie, pastwiskowo, kośnie-pastwiskowo i przemiennie) odczyn gleby wywierał istotny wpływ na zawartość  $N_{min}$ . Korelacja między  $N_{min}$  a odczynem gleby w użytkach zielonych na glebach mineralnych była dodatnia, niezależnie od terminu poboru prób glebowych. Z kolei na glebach organicznych w okresie wiosennym zaznaczyła się odwrotna zależność pomiędzy pH a zawartością  $N_{min}$ , jednak jesienią ta tendencja się nie utrzymała i korelacja pomiędzy pH a zawartością  $N_{min}$  była dodatnia. Natomiast w przypadku upraw rolniczych o przeznaczeniu paszowym (kukurydzy czy mieszanki zbożowej) pomiary, dokonane zarówno wiosną, jak i jesienią, potwierdziły dodatnie i istotne statystycznie zależności między pH i  $N_{min}$  o wartości współczynnika korelacji powyżej 0,9.

### **5.E. Kształtowanie się zawartości metali ciężkich w glebie oraz plonach roślin uprawnych**

Innym obszarem moich naukowych zainteresowań były badania związane z zawartością metali ciężkich w glebach oraz w częściach użytkowych roślin uprawnych [27.D, 20.D, 19.D, 18.D, 22.D, 23.D, 24.D, 25.D, 30.D, 32.D]. W ich wyniku wykazano, że zawartość metali ciężkich w ziarnie pszenicy ozimej, żyta, korzeniach marchwi, bulwach ziemniaka, w liściach kapusty, w ogórku oraz jabłkach nie zależała istotnie od właściwości gleby, na której były uprawiane, oraz od rejonu uprawy. Zależność zawartości tych metali w ziarnie od niektórych właściwości gleby była niewielka i miała często charakter losowy (współczynniki determinacji 4,3-38,5%).

Z przeprowadzonych badań wynikało, że na terenie Lubelszczyzny rodzaj gleby oraz rejon uprawy nie wpływał istotnie na zawartość metali ciężkich w częściach użytkowych (konsumpcyjnych) badanych roślin. Żadna z wielu oznaczonych cech nie wykazywała istotnych związków z zawartością tych metali w ziarnie pszenicy czy żyta. Natomiast zawartość metali ciężkich w ziarnie żyta wykazywała istotne i dodatnie zależności z niektórymi pierwiastkami występującymi w tej części rośliny. Ich charakter można określić wielkością współczynników

determinacji mieszczących się w przedziale 5,5-40,4%. Równania regresji wielokrotnej pozwalają prognozować kierunki zmian zawartości poszczególnych metali w ziarnie pod wpływem występowania w tej części rośliny pozostałych oznaczanych pierwiastków.

W przypadku marchwi właściwości gleby w niewielkim stopniu decydowały o zawartości metali ciężkich. Najbardziej podatnymi na te wpływy metalami były cynk i arsen, najmniej – ołów, miedź i nikiel. Zawartość niektórych metali w korzeniach była w istotny sposób uzależniona od występowania w tej części rośliny innych pierwiastków. Stwierdzenie to dotyczy w największym stopniu cynku, rtęci i miedzi, w najmniejszym – niklu, ołowiu i arsenu. Również zawartość oznaczanych metali ciężkich w bulwach ziemniaka, jakkolwiek zróżnicowana, nie zależała istotnie od rejonu uprawy tej rośliny. Właściwości gleby nie decydowały w większości przypadków w sposób udowodniony statystycznie o zawartości metali oznaczanych w bulwach. W największym stopniu zależała od nich zawartość niklu, jednak wielkość współczynników determinacji, odpowiednio 39 i 35%. Wzajemne zależności zawartości pierwiastków śladowych w bulwach były niewielkie, a określające je współczynniki determinacji mieściły się w zakresie 15–40%. Zmiany zawartości oznaczanych metali ciężkich w bulwach ziemniaka kształtowane były niektórymi właściwościami gleby (skład granulometryczny, zawartość próchnicy, pH w KCl) czy parametrami rośliny (zawartość miedzi i niklu w bulwach).

Przeprowadzone na tak dużą skalę badania wykazały, że zawartość metali ciężkich w badanych roślinach nie przekroczyła w żadnym przypadku górnej granicy przewidzianej dla badanych płodów rolnych i że mogą być bez ograniczeń włączone do diety człowieka.

W latach 2005-2007 przeprowadzono badania w sadach i na plantacjach, w których prowadzona była integrowana produkcja jabłek, wiśni, porzeczki czarnej i maliny. W badaniach oceniono zawartość kadmu i ołowiu. Stwierdzono, że zawartość kadmu w jabłkach pochodzących z sadów Lubelszczyzny w żadnym przypadku nie przekroczyła maksymalnego poziomu zanieczyszczenia tym pierwiastkiem ( $0,05 \text{ mg Cd kg}^{-1}$  świeżej masy). Zawartość ołowiu w jabłkach zebranych z plantacji Lubelszczyzny z integrowaną produkcją; w owocach z jednego powiatu (lubelskiego) przekroczyła maksymalny poziom zanieczyszczenia tym pierwiastkiem ( $0,10 \text{ mg Pb kg}^{-1}$  świeżej masy). Zawartość kadmu i ołowiu w owocach wiśni, porzeczki czarnej i maliny była mała i nie przekraczała zawartości ustalonych przez Ministra Zdrowia. Ocena jakości pochodzących z plantacji Lubelszczyzny z integrowaną produkcją owoców jabłek, wiśni, porzeczki czarnej i maliny pod względem zawartości kadmu i ołowiu wskazała, że owoce charakteryzowały się wysokimi cechami jakościowymi i że mogą być bez ograniczeń przeznaczone do spożycia przez człowieka.

W innych badaniach [5.A] dokonano oceny zawartości ołowiu, cynku, miedzi, azotu i siarki w liściach 3 gatunków drzew – jarzębiny, lipy drobnolistnej i osiki – pochodzących z rejonu wolnego od zanieczyszczeń (Huszlew) i z aglomeracji miejskiej (Lublin). Wyniki badań wykazały, iż z badanych gatunków osika charakteryzowała się największą zdolnością do bioakumulacji metali ciężkich w liściach. Wśród oznaczonych pierwiastków tylko zawartość Zn przekroczyła dopuszczalną granicę, podczas gdy Pb i Cu występowały w dopuszczalnych ilościach.

## 5.F. Makro- i mikroelementy w wybranych częściach wskaźnikowych i użytkowych roślin uprawnych

W latach 2009–2011 na Lubelszczyźnie przeprowadzono ocenę zaopatrzenia w makro- i mikroelementy roślin pomidora [34.D]. Zaopatrzenie pomidora uprawianego na plantacjach Lubelszczyzny w makroelementy w większości przypadków wykazywało przekroczenie optymalnej ilości składników (fosfor, potas, wapń i magnez), jedynie zawartość azotu w liściach mieściła się w zakresie optymalnym. Zawartość w liściach miedzi, cynku, manganu i żelaza była większa niż optymalna, natomiast bor występował w ilościach niedoborowych. Stwierdzono, że spośród oznaczanych makro- (N, P, K, Ca, Mg) i mikroelementów (Cu, Zn, Mn, Fe i B) jedynie w nielicznych przypadkach (3) wystąpiły istotne dodatnie zależności pomiędzy oznaczanymi pierwiastkami. Należy jednak zauważyć, że tylko w jednym przypadku współczynnik determinacji przekroczył 77,1%.

Dokonana ocena składu chemicznego liści jabłoni [35.D] wskazywała, iż części wskaźnikowe odmiany Szampion uprawiane na Lubelszczyźnie były optymalnie zaopatrzone w makroelementy, tzn. azot, fosfor, potas, magnez i wapń. Analizy chemiczne liści jabłoni wykazały również, że rośliny te były optymalnie zaopatrzone w bor. W liściach jabłoni odnotowano wystąpienie stosunkowo niewielu (7) istotnych korelacji pomiędzy oznaczanymi makro- (N, P, K, Mg, Ca) i mikroelementami (B, Cu, Zn, Mn, Fe). Wartość obliczonych współczynników determinacji w przypadku niektórych mikroelementów wahała się od 88,2 do 98,4%.

W latach 2009-2012 przeprowadzono badania oceny zawartości makro- i mikroelementów w częściach wskaźnikowych (liściach) malin [36.D]. Oceniono wpływ wybranych właściwości gleby na zawartość istotnych makro- i mikroelementów w liściach. Uzyskane wyniki wykazały odpowiednie zaopatrzenie roślin w N, P, K, Mg, B, Zn i Cu. Jednak średnia zawartość Mn znacznie przekraczała optymalny poziom zalecany dla tego gatunku. Również zawartość Fe w niektórych regionach była powyżej wartości optymalnej. Obliczone współczynniki korelacji między właściwościami gleby a zawartością pierwiastków w liściach malin sugerowały, że zmienne te były współzależne w zaledwie kilku przypadkach. Zawartość makro- i mikroelementów w liściach na ogół nie korelowała ze stężeniem pierwiastków w glebie.

W latach 2009-2011 przeprowadzono badania [6.A], których celem była ocena zasobności gleb sadowniczych (głównie sadów jabłoniowych) Polski południowo-wschodniej jako jednego z największych regionów upraw owoców w Polsce. W większości przypadków zawartość oznaczanych dostępnych form makro- (P, K, Mg) i mikroelementów (B, Cu, Fe, Mn, Zn) wykazywała istotną i dodatnią korelację z kategorią agronomiczną.

Natomiast w innych badaniach [28.D] oceniano zaopatrzenie niektórych roślin (żyto ozime, pszenica ozima, ziemniak, marchew, truskawka, kapusta biała, jabłoń, ogórek) w siarkę oraz określano związki występujące pomiędzy tym pierwiastkiem a niektórymi fizykochemicznymi właściwościami gleby. Zawartość siarki w częściach użytkowych roślin uprawianych na Lubelszczyźnie (ziarno żyta ozimego i pszenicy ozimej, bulwy ziemniaka, korzenie marchwi, kapusta biała, ogórek, jabłoń, truskawka) była wyrównana i nie zależała istotnie od rejonu uprawy tych roślin. Oceniane rośliny były w sposób wystarczający zaopatrzone w siarkę, a jej zawartość w bardzo niewielkim stopniu zależała od niektórych właściwości gleby (zawartości ilu koloidalnego,  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , próchnicy, przyswajalnych form P, K, Mg, S-SO<sub>4</sub>).

W badaniach środowiskowych [17.D] oceniałem jakość bulw ziemniaka, marchwi, buraka ćwikłowego, pietruszki i selera pod względem zawartości azotanów(V). Wykazałem, iż ilość  $\text{NO}_3$  w roślinach była skorelowana z niektórymi właściwościami gleby: składem granulometrycznym, odczynem, zawartością próchnicy, przyswajalnego potasu, fosforu i magnezu oraz siarki. Badania wykazały, że spośród badanych roślin tylko burak ćwikłowy wskazywał wyższe zawartości  $\text{NO}_3$  od dopuszczalnych.

## 5.G. Pozostałe zagadnienia

Współpracując z Instytutem Agrofizyki Polskiej Akademii Nauk w Lublinie, brałem udział w ocenie wykorzystania czujników jonoselektywnych na bazie walinomycyny do oznaczania przyswajalnego potasu w ekstraktach glebowych metodą Egnera-Rhiema. Jako metodę referencyjną zastosowano fotometrię płomieniową. Wyniki uzyskane metodą potencjometryczną i fotometryczną w ekstraktach glebowych korelowały liniowo ( $R_2 = 0,84$ ) [26.D]. Metoda ta jest znacznie tańsza i szybsza od metody fotometrycznej, a dodatkowo nie ma potrzeby wytrącania jonów wapnia. Jednakże stężenie potasu mierzone metodą fotometrii płomieniowej w analizowanych próbkach było wyższe, prawdopodobnie było to spowodowane obecnością ilości wymiennego potasu w materii organicznej.

W kooperacji z pracownikami Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie oraz Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach rozpoczęliśmy badania nad zastosowaniem metody dyfrakcji laserowej do określania składu granulometrycznego gleby. Wynikami pracy była monografia oraz liczne wystąpienia na konferencjach naukowych oraz wdrożenie do praktyki laboratoryjnej procedur oznaczania składu granulometrycznego gleb z wykorzystaniem metody dyfrakcji laserowej. Podjęliśmy także działania zgłoszenia normalizacyjnego tej metody wspólnie z Ministerstwem Rolnictwa i Rozwoju Wsi. Obecnie Norma jest procedowana w Polskim Komitecie Normalizacyjnym, a wcześniej została wdrożona do laboratoriów stacji chemiczno-rolniczych [40.D].

W latach 2007-2008 prowadzono badania [31.D] oceny zawartość suchej masy i makroelementów w nawozach naturalnych – oborniku, pomiole ptasim, gnojowicy i gnojówce. W nawozach oznaczono zawartość suchej masy, zawartość azotu (N) w świeżym oborniku, zawartość fosforu, potasu, wapnia i magnezu. Wyniki badań wykazały wysoką (powyżej średniej zawartości podawanej w literaturze) zawartość suchej masy i makroelementów w ocenianych nawozach naturalnych, zwłaszcza w oborniku i pomiole ptasim.

W wyniku badań [1.A] wykazano wpływ wieloletniego nawożenia gnojowicą, stosowaną co rok i co dwa lata z nawozami mineralnymi, na wybrane właściwości sorpcyjne gleby, tj. zawartość wymiennego magnezu, potasu, wapnia, sodu oraz wartość kwasowości hydrolytycznej, pojemność sorpcyjną i stopień wysycenia kationami zasadowymi. Stwierdzono, że nawożenie gnojowicą powodowało istotne zwiększenie zawartości magnezu wymiennego w glebie w przeciwieństwie do nawożenia NPK. Natomiast zarówno nawożenie gnojowicą, jak i nawożenie mineralne przyczyniło się do istotnego przyrostu zawartości potasu w glebie. Nawożenie gnojowicą nie spowodowało istotnych zmian kwasowości hydrolytycznej między najmniejszą a największą zastosowaną dawką, zaś nawożenie nawozami mineralnymi przyczyniło

się do zwiększenia kwasowości hydrolitycznej. Zastosowanie gnojowicy zmniejszyło kwasowość hydrolityczną do trzeciego poziomu w profilu glebowym. Nawożenie dawkami gnojowicy i nawozów mineralnych nie powodowało zmian zawartości wapnia wymiennego w glebie, natomiast zawartość wapnia w profilu glebowym wzrastała do warstwy 51-75 cm. Nawożenie gnojowicą i NPK nie spowodowało istotnych zmian w zawartości sodu wymiennego w glebie. Ani po zastosowaniu gnojowicy, ani NPK nie zaobserwowano istotnych zmian w całkowitej zawartości kationów zasadowych w glebie (S), a także stopnia wysycenia nimi kompleksu sorpcyjnego (V). Natomiast parametry S i V istotnie wzrastały wraz z głębokością pobrania próby. Stwierdzono, że nawożenie zarówno gnojowicą, jak i nawozami mineralnymi nie spowodowało istotnych zmian pojemności sorpcyjnej gleby, ale wykazano przyrost całkowitej pojemności sorpcyjnej w dwóch warstwach profilu gleby, 51-75 i 76-100 cm. W publikacji **2.A** opisano, iż stosunkowo najwięcej S-SO<sub>4</sub> było w warstwie ornej, niezależnie od rodzaju nawożenia. Nawożenie gnojowicą i NPK spowodowało nieregularny przyrost zawartości żelaza rozpuszczalnego w 1 mol HCl w glebie, począwszy od warstwy 26-50 cm, zaś zawartość manganu przyrastała nieznacznie i nieregularnie pod wpływem zastosowanego nawożenia. Zaobserwowano nieznaczny wzrost pH<sub>KCl</sub> warstwy ornej gleby pod wpływem corocznego stosowania wzrastających dawek gnojowicy. Stwierdzono, że nawożenie gnojowicą spowodowało systematyczne zwiększenie zawartości węgla organicznego w profilu glebowym, szczególnie w dwóch warstwach: 0-25 i 26-50 cm.

W badaniach [**33.D**, **3.A**] przeprowadzonych po powodzi, która wystąpiła w 2010 r. w Dolinie Środkowej Wisły, oceniano wpływ stresu wodnego na użytki rolne. Dokonano oceny odczynu gleb (pH<sub>KCl</sub>), zawartości przyswajalnych form P, K i Mg w glebach po powodzi. Oceniane właściwości gleby po powodzi nie różniły się od odnotowanych przed powodzią. Przedstawione opracowanie [**33.D**] może stanowić podstawę do porównań podobnych zdarzeń, które mogą zaistnieć w przyszłości. Wyniki badań wykazały, że w glebach po powodzi, w porównaniu z glebami sprzed tego zdarzenia, nie stwierdzono podwyższonego pH<sub>KCl</sub> i zwiększonej zawartości P przyswajalnego, ale odnotowano większą zawartość K i Mg przyswajalnego. Zawartość azotu mineralnego, siarki siarczanowej i zasolenia w niewielkim stopniu zależała od kategorii agronomicznej i odczynu gleby. Zawartość metali ciężkich w glebie była większa niż przed powodzią, ale nie przekroczyła zawartości naturalnych. Po powodzi z 2010 r. nie stwierdzono znaczącego pogorszenia właściwości fizykochemicznych gleb, które mogłyby negatywnie oddziaływać na jakość i plonowanie uprawianych roślin, w tym drzew i krzewów owocowych.

W pracy [**39.D**] przedstawiono wyniki badań zawartości azotanów(V) i fosforanów w wodach drenarskich pochodzących z rolniczych obszarów województwa lubelskiego. Wykazano, że istotne różnice w stężeniu azotanów(V) i fosforanów występowały w wodach pomiędzy niektórymi kategoriami agronomicznymi gleb. W terminie wiosennym najczęściej przypadków o istotnie najwyższym stężeniu azotanów(V) i fosforanów stwierdzono w próbkach wody pobranych z gleb lekkich, natomiast jesienią – w wodach z gleby organicznej (azotany(V)) oraz organicznej i ciężkiej (fosforany). W próbkach pobranych wiosną, niezależnie od roku badań, obserwowano większe stężenia azotanów(V) niż w wodach pobieranych w terminie jesiennym. W przypadku stężeń fosforanów podobny związek stwierdzono w 2008 r. Oznacza to, że na-

stępował ubytek azotanów(V) i fosforanów z badanych gleb, a jednym ze sposobów przemieszczenia się tych składników poza profil glebowy mogło być ich wymywanie do wód gruntowych.

## 6. Podsumowanie dorobku naukowego

Mój łączny dorobek naukowy obejmuje 76 pozycji:

- 62 oryginalne prace twórcze (57 po uzyskaniu stopnia naukowego doktora);
- 10 artykułów popularno-naukowych;
- 4 inne prace (2 – materiały szkoleniowe, 2 – artykuły w opracowaniach środowiskowych);

Brałem udział w 58 konferencjach naukowych i seminariach. Wygłosiłem 6 referatów, w tym 3 w języku angielskim oraz 3 w języku polskim. Opracowałem również 24 komunikaty konferencyjne: przed uzyskaniem stopnia doktora – 4, po uzyskaniu stopnia naukowego doktora – 20. Szczegółowy wykaz opublikowanych prac naukowych zawarty jest w tabelach 1-3.

Uczestniczyłem w 34 projektach, w tym: jako kierownik w 6, koordynator regionalny – w 12, wykonawca projektu – w 8 i w innych projektach – 8 (w tym: kierownik – 4, wykonawca – 2, koordynator – 2). Byłem autorem 2247 ekspertyz i opinii.

Zorganizowałem 24 szkolenia i przeprowadziłem 83 szkolenia dla rolników, pracowników okręgowych stacji chemiczno-rolniczych oraz pracowników firm nawozowych. Byłem organizatorem staży i praktyk dla studentów i uczniów szkół średnich.

Uczestniczyłem w 2 stażach naukowych: w krótkoterminowym w Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture (UKZUZ) BRNO i w miesięcznym stażu w Zakładzie Metrologii i Modelowania Procesów Agrofizycznych Instytutu Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN w Lublinie.

Za działalność naukową otrzymałem Dyplom uznania Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie za osiągnięcia naukowe w roku 2006 (w 2007), oraz za osiągnięcia naukowe w latach 2007-2008 (w 2009). W 2017 *Sertum Scientiarum Lublinense - za 2016 rok*, Wyróżnienie Naukowe Lubelszczyzny – (2017), nadane przez Zarząd Główny Lubelskiego Towarzystwa Naukowego za książkę *Zakwaszenie i wapnowanie gleb* jako wyróżniające się osiągnięcie Lubelskiego Środowiska Naukowego. Za działalność dydaktyczną otrzymałem z rąk Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie Dyplom uznania (2016).

W 2010 roku zostałem uhonorowany za osiągnięcia w dziedzinie rolnictwa, rozwoju wsi i rynków rolnych przez Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi odznaką *Zasłużony dla rolnictwa* oraz w 2018 roku przez Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej *brązowym medalem za długoletnią służbę*.

**Tabela 1. Zestawienie dorobku według rodzaju publikacji**

| Rodzaj publikacji  | Liczba publikacji | Sumaryczny IF | Suma punktów w roku wydania <sup>1</sup> | Suma punktów wg aktualnie obowiązującej punktacji <sup>2</sup> |
|--|-------------------|---------------|--|--|
| Czasopisma ze współczynnikiem wpływu IF, wyróżnione w Journal Citation Reports (lista A) | 10                | 6,242         | 160                                      | 160  |
| Czasopisma bez współczynnika wpływu IF (lista B)   | 50                | –             | 266                                      | 568  |
| Monografie naukowe w języku polskim  | 1                 | –             | 25                                       | 25   |
| Rozdziały monografii naukowych w języku angielskim                                       | 1                 | –             | 2  | 2  |
| Ekspertyzy i opinie  | 2247              | –             | –  | –  |
| Materiały konferencyjne  | 24                | –             | –  | –  |
| Artykuły popularno-naukowe   | 10                | –             | –  | –  |
| Pozostałe prace  | 4                 | –             | –  | –  |
| <b>RAZEM:</b>  |                   | 6,242         | 453                                      | 755  |
| – w tym osiągnięcie  | 13                | 1,748         | 128                                      | 188  |
| – w tym po doktoracie z osiągnięciem   | 57                | 6,242         | 447                                      | 732  |
| – w tym po doktoracie bez osiągnięcia  | 42                | 3,773         | 319                                      | 544  |

<sup>1</sup> Liczba punktów wg wykazu czasopism naukowych MNiSW zgodnie z rokiem opublikowania.

<sup>2</sup> Liczba punktów wg aktualnego wykazu czasopism naukowych MNiSW z dnia 9.12.2016 r.



**Tabela 2. Zestawienie dorobku naukowego według udziału habilitanta w publikacji**

| Rodzaj publikacji                       | Prace samodzielne | Pierwszy autor lub autor korespondencyjny | Drugi autor | Trzeci lub dalszy autor | Razem |
|---|-------------------|---|-------------|-------------------------|-------|
| Oryginalne prace twórcze                | 2                 | 16  | 23          | 19                      | 60    |
| Monografie lub rozdziały w monografiach | –                 | –   | 1           | 1                       | 2     |
| <b>RAZEM</b>                            | 2                 | 16  | 24          | 20                      | 62    |

**Tabela 3. Zestawienie dorobku naukowego według tytułów czasopism naukowych**

| Lp. | Tytuł   | Liczba publikacji | Punkty wg roku opublikowania <sup>1</sup> | Punkty wg aktualnie obowiązującej punktacji <sup>2</sup> | Sumaryczny IF |
|-----|---|-------------------|---|--|---------------|
| 1   | Acta Agrophysica                                  | 19                | 141                                       | 266  | –             |
| 2   | Acta Scientiarum Polonorum Agricultura            | 2                 | 8   | 22   | –             |
| 3   | Annales UMCS sec. E/Agro-nomy Science             | 7                 | 36  | 63   | –             |
|     | Applied Ecology and Environmental Resarch         | 1                 | 15  | 15   | 0,721         |
| 4   | Biuletyn Magnezologiczny                          | 3                 | 3   | 3  | –             |
| 5   | Communications in Soil Science and Plant Analysis | 1                 | 15  | 15   | 0,506         |
| 6   | Folia Horticulturae                               | 1                 | 14  | 14   | –             |
| 7   | Folia Universitas Agriculturae Stetinensis        | 1                 | 1   | 10   | –             |
| 8   | International Agrophysics                         | 1                 | 25  | 25   | 1,242         |
| 9   | Inżynieria Ekologiczna                            | 1                 | 5   | 9  | –             |
| 10  | Journal of Central European Agriculture           | 1                 | 8   | 14   | –             |
| 11  | Journal of Elementology                           | 6                 | 90  | 90   | 3,374         |
| 12  | Nawozy i Nawożenie                                | 1                 | 2   | 2  | –             |

|       |  |    |     |     |       |
|-------|--|----|-----|-----|-------|
| 13    | Polish Journal of Soil Science                           | 2  | 8   | 28  | –     |
| 14    | Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu    | 3  | 12  | 30  | –     |
| 15    | Przemysł Chemiczny                                       | 1  | 15  | 15  | 0,399 |
| 15    | Research in Agricultural Engineering                     | 2  | 2   | 2   | –     |
| 16    | Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych              | 8  | 28  | 104 | –     |
| 17    | Wydawnictwo Fundacji Programów Pomocy dla Rolnictwa FAPA | 1  | 25  | 25  | –     |
| 18    | Biopierwiastki w Naszym Życiu                            | 1  | 0   | 0   | –     |
| RAZEM |  | 62 | 453 | 755 | 6,242 |

<sup>1</sup> Liczba punktów wg wykazu czasopism naukowych MNiSW zgodnie z rokiem opublikowania.

<sup>2</sup> Liczba punktów wg aktualnego wykazu czasopism naukowych MNiSW z dnia 9.12.2016 r.

Lublin 04.02.2019 r.

