

dr inż. Joanna Lemanowicz

A U T O R E F E R A T

**Zakład Biochemii, Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb
Wydział Rolnictwa i Biotechnologii, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
im. J.J. Śniadeckich w Bydgoszczy**

Bydgoszcz, 2016

1. Imię i nazwisko: Joanna Lemanowicz**2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe - z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania:**

1988-1992 – 4-letnie Liceum Ogólnokształcące w Kwidzynie (klasa o profilu biologiczno-chemicznym)

1992-1997 – 5-letnie, jednolite studia magisterskie, realizowane na kierunku Rolnictwo Wydziału Rolniczego (obecnie Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii), Akademii Techniczno-Rolniczej (obecnie Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy) w Bydgoszczy. Praca magisterska pt. „*Wpływ systemu użytkowania gleby na aktywność fosfatazową i zawartość wybranych form fosforu*”, została wykonana w Zakładzie Biochemii pod kierunkiem prof. dr hab. Jana Kopera.

2000-2004 – 4-letnie studia doktoranckie nauk rolniczych w dyscyplinie agronomia, specjalność: podstawy produkcji roślinnej i agrotechnika

2005-2006 – kurs pedagogiczny w Instytucie Nauk Humanistycznych i Ekonomicznych Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy

16.05.2008 – stopień doktora nauk rolniczych w zakresie agronomii nadany uchwałą Rady Wydziału Rolniczego, Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. Rozprawa doktorska pt.: „*Zawartość wybranych frakcji fosforu oraz aktywność fosfatazowa w układzie gleba – roślina pod wpływem nawożenia obornikiem i azotem mineralnym*” została przygotowana w Katedrze Biochemii pod promotorstwem prof. dra hab. Jana Kopera. Na wniosek Recenzentów Rada WRiB podjęła uchwałę o wyróżnieniu rozprawy doktorskiej.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:

- 28.09.1999 - 30.09.2008 asystent w Katedrze Biochemii, Wydział Rolniczy, Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy.

- 1.10.2008 do chwili obecnej, adiunkt w Zakład Biochemii, Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb, Wydział Rolnictwa i Biotechnologii, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy,

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

a) Tytuł osiągnięcia naukowego:

**Wpływ antropopresji na zawartość fosforu w wybranych glebach
w aspekcie aktywności fosfataz**

b) Publikacje stanowiące osiągnięcie naukowe:

1. **Lemanowicz J.**, Bartkowiak A. 2013. *Diagnosis of the content of selected heavy metals in the soils of the Pałuki region against their enzymatic activity*. Archives of Environmental Protection, 39 (3): 23-32. <http://dx.doi.org/10.2478/aep-2013-0026> (15 pkt wg MNiSW; IF 0,901 wg ISI 2013, udział 70%, autor korespondencyjny)
2. **Lemanowicz J.** 2013. *Mineral fertilization as a factor determining selected sorption properties of soil against the activity of phosphatases*. Plant Soil Environment 59, 10: 439-445. (25 pkt wg MNiSW; IF 1,113 wg ISI 2013)
3. Krzyżaniak M., **Lemanowicz J.** 2013. *Enzymatic activity of the Kuyavia Mollic Gleysols (Poland) against their chemical properties*. Plant Soil Environment, 59, 8: 359–365 (25 pkt wg MNiSW; IF 1,113 wg ISI 2013, udział 50%)
4. **Lemanowicz J.**, Krzyżaniak M. 2015. *Vertical distribution of phosphorus concentrations, phosphatase activity and further soil chemical properties in salt-affected Mollic Gleysols in Poland*. Environmental Earth Science, 74:2719–2728. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-015-4294-x> (25 pkt wg MNiSW; IF 1,765 wg ISI 2015, udział 60%, autor korespondencyjny)
5. **Lemanowicz J.** 2015. *Phosphorus content and distribution and the activity of phosphatases in Arenosols in a forest affected by long-term exposure to the effects of the Anwil S.A. nitrogen works in Włocławek*. Forest Research Papers, 76 (3): 250–255. <http://dx.doi.org/10.1515/frp-2015-0024> (13 pkt wg MNiSW)
6. **Lemanowicz J.**, Bartkowiak A. 2015. *Effect of scots Pine forest fire on carbon, phosphorus and phosphatase activity in soil*. Baltic Forestry, 21(2): 369-374. (15 pkt wg MNiSW; IF 0,530 wg ISI 2015, udział 70%, autor korespondencyjny)

7. **Lemanowicz J.**, Bartkowiak A., Breza-Boruta B. 2016. *Changes in phosphorus content, phosphatase activity and some physicochemical and microbiological parameters of soil within the range of impact of illegal dumping sites in Bydgoszcz (Poland)*. Environmental Earth Science 75(6): <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-015-5162-4> (25 pkt wg MNiSW; IF 1,765 udział 80%, autor korespondencyjny)

Łączna wartość bibliometryczna publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe według ostatniej dostępnej punktacji MNiSW wynosi: **143** punktów. Sumaryczny Impact Factor w/w publikacji wg International Scientific Institute wynosi: **7,187**

Oświadczenia współautorów prac wraz z określeniem ich indywidualnego wkładu pracy stanowi załącznik 3.

c) Omówienie celu naukowego wyżej wymienionych prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Wstęp i cel badań

Użytkowanie przez człowieka gruntów związane z modyfikacjami naturalnego krajobrazu lub zmiany zasad gospodarowania spowodowały przeobrażenie dużej części powierzchni Ziemi (Foley i in. 2005). Zmiany te przyczyniły się do zaburzenia w prawidłowym funkcjonowaniu ekosystemu, w tym także środowiska glebowego, doprowadzając do jego zakwaszenia, wyczerpania ze składników pokarmowych lub ich wypłukiwaniu. Całkowita zawartość fosforu w glebie może być wysoka, często jednak ponad 80% jego zawartości występuje w formach niedostępnych dla roślin z powodu m.in. adsorpcji, wytrącania lub przekształcenia w formy organiczne (Safari i Sharifi 2007). Ze względu na niewielką rozpuszczalność i znikomą lotność, naturalnie występujących związków fosforu jego dostępność dla organizmów żywych jest niewielka. Fosfor w połączeniach organicznych może stanowić nawet powyżej 50% całkowitej jego zawartości w glebach. Ilość ta jest zależna od czynników środowiskowych, zarówno tych naturalnych (temperatura, opady atmosferyczne, skała macierzysta) jak i antropogenicznych (emisji zanieczyszczeń, dawki i rodzaju nawozu, rodzaju uprawy, gatunku roślin). Dostępność dla roślin fosforu występującego w połączeniach organicznych zależy od tempa mineralizacji, a nie od ogólnej zawartości tych związków. Pobieranie fosforu przez rośliny odbywa się przez system korzeniowy w formie jonów H_2PO_4^- i HPO_4^{2-} (w większości w formie H_2PO_4^-).

Kluczową rolę w procesie biochemicznej mineralizacji organicznych połączeń fosforu odgrywają fosfatazy, które mogą być dobrym wskaźnikiem potencjału mineralizacji fosforu organicznego oraz aktywności biologicznej gleby. W glebach ubogich w fosfor mineralny, produkcja fosfohydrolaz jest zwykle większa, co oznacza że szybkość uwalniania fosforanów ze związków organicznych na drodze enzymatycznej jest określana przez końcowy produkt kilku reakcji chemicznych. Jony ortofosforanowe, które w krótkim czasie po mineralizacji nie zostaną pobrane przez rośliny, ulegają sorpcji przez fazę stałą gleby. Wzrost aktywności fosfataz w warunkach zmniejszonej dostępności fosforu bądź też zwiększonego zapotrzebowania na ten pierwiastek sugeruje, że fosfatazy biorą udział w regulacji gospodarki fosforanowej roślin.

Enzymy glebowe, jako naturalne katalizatory wielu procesów glebowych związanych z rozkładem substancji organicznej, uczestniczą w procesach uwalniania i udostępniania organizmom roślinnym składników mineralnych. Aktywność enzymatyczna jest wczesnym wskaźnikiem zmian poziomu intensywności procesów życiowych oraz poziomu degradacji gleby i zwykle jest skorelowana z jej właściwościami fizycznymi i chemicznymi.

Fosfatazy, hydrolizujące organiczne związki fosforu są najczęściej badanymi enzymami w glebie, ponieważ reagują one najszybciej na stres środowiskowy spowodowany czynnikami antropogenicznymi jak i naturalnymi. Głównym źródłem fosfataz glebowych są mikroorganizmy, korzenie roślin oraz fauna glebowa.

Wyniki badań dotyczące relacji pomiędzy aktywnością fosfataz oraz przemianami fosforu organicznego mają podstawowe znaczenie dla poznania dynamiki tego pierwiastka w glebie, należy jednak podkreślić, że są nadal nie w pełni poznane (Acosta-Martínez i Tabatabai 2011; Tian i in. 2016). W celu pełnego zrozumienia mechanizmów leżących u podstaw cyklu biogeochemicznego fosforu, jak również roli fosfataz, należy nadal prowadzić badania odnośnie czynników regulujących aktywność fosfataz glebowych i zawartości fosforu.

Celem badań cyklu publikacji powiązanych tematycznie, które stanowią osiągnięcie naukowe, było określenie możliwości wykorzystania aktywności fosfataz do oceny kierunku przemian i zawartości fosforu w środowisku glebowym pod wpływem czynników antropogenicznych.

W przedstawionej dokumentacji, jak również we wcześniejszych badaniach dokonano próby oceny trudności związanych z interpretacją i porównaniem wyników badań aktywności

fosfomonoesteraz oraz z wykorzystaniem jej jako wskaźnika informującego o kierunku przemian związków fosforowych gleby. Otrzymane wyniki umożliwiły interpretację następujących zagadnień badawczych:

- określenie wpływu gatunku roślin na zawartość fosforu i aktywność fosfomonoesteraz na tle akumulacji wybranych metali w glebie,
- ocena oddziaływania niezrównoważonego nawożenia mineralnego na kształtowanie się zawartości fosforu przyswajalnego oraz aktywności fosfatazowej względem wybranych parametrów chemicznych gleby,
- zbadanie wpływu oddziaływania tężni solankowych w Parku Zdrojowym na zawartość fosforu oraz aktywności wybranych enzymów w czarnej ziemi,
- określenie profilowej i sezonowej zmienności zawartości fosforu w odniesieniu do aktywności fosfomonoesteraz w glebie pod wpływem oddziaływania tężni solankowych oraz zakładów azotowych,
- wpływ niekontrolowanego pożaru na zawartość fosforu przyswajalnego i aktywność fosfatazową gleb leśnych,
- określenie związku pomiędzy zawartością fosforu całkowitego i jego wybranych form, a zawartością fitodostępnych form metali ciężkich i aktywnością biologiczną gleby narażonej na oddziaływanie niekontrolowanych składowisk odpadów.

Analiza wyników badań

Celem pracy **nr 1** była ocena zawartości fosforu przyswajalnego i aktywnego oraz wybranych metali ciężkich (Zn, Cu, Pb, Ni, Fe i Mn) w glebie płowej Pałuk (wschodnia część Pojezierza Chodzieskiego, znajdującego się pomiędzy Doliną Środkowej Noteci, a doliną Welny) na tle aktywności wybranych enzymów hydrolitycznych (fosfatazy alkalicznej i kwaśnej) oraz oksydoredukcyjnych (katalazy i dehydrogenaz - enzymów wewnątrzkomórkowych, uważanych za szczególnie wrażliwe na toksyczny wpływ metali ciężkich). Obszar z którego pobrano próbki do badań (poziom powierzchniowy 0-30 cm) był przeznaczony pod uprawę różnych gatunków roślin (brokuł, rabarbar, marchew, cebula, kalafior, pszenżyto ozime). Zawartość fosforu przyswajalnego w badanej glebie oznaczona metodą Egnera-Riehma (DL) (PN-R-04023. 1996), mieściła się w przedziale od 44,48 mgP·kg⁻¹ do 167 mgP·kg⁻¹. Akumulacja w glebie tej formy fosforu była zróżnicowana w zależności od gatunku uprawianej rośliny. Największą zawartość przyswajalnej dla roślin formy fosforu stwierdzono w glebie spod uprawy kalafiora (167 mgP·kg⁻¹) oraz brokułu (164

mgP·kg⁻¹), natomiast najmniejszą spod uprawy pszenżyta (45,86 mgP·kg⁻¹) oraz cebuli (44,48 mgP·kg⁻¹). Fosfor aktywny oznaczony wg metody Houbey i in. (2000) ekstrahowany za pomocą wyciągu 0,01 M CaCl₂, pozwolił na określenie aktualnej dostępności fosforu będącego głównie w fazie stałej gleby, która może być stosunkowo łatwo uwalniana do roztworu glebowego. Zawartość fosforu aktywnego mieściła się w przedziale 11,08 – 18,89 mg·kg⁻¹ i była mniejsza w porównaniu do zawartości fosforu przyswajalnego (o około 86%). Najwięcej stwierdzono go również w glebie spod uprawy kalafiora (18,89 mgP·kg⁻¹) oraz brokułu (13,57 mgP·kg⁻¹). Stwierdzono istotny współczynnik korelacji pomiędzy zawartością w glebie obu omawianych form fosforu ($r= 0,80$; $P<0,05$). Fosfor aktywny pobierany przez rośliny uzupełniany jest z puli ruchomej tego makroskładnika, dlatego zawartość tych dwóch form jest dość ściśle skorelowana.

Najwyższą aktywność fosfatazy alkalicznej i kwaśnej stwierdzono w glebie spod uprawy brokułu oraz kalafiora, roślin należących do rodziny kapustnych, które posiadają wysokie wymagania pokarmowe. Oddziaływanie roślin na aktywność enzymatyczną jest związane z gatunkiem, odmianą, jak również ze składem chemicznym, mikrobiologicznym wydzielin korzeniowych. Wydzieliny systemów korzeniowych roślin zmieniają właściwości fizykochemiczne gleby, szczególnie strefy ryzosferowej, która różnicuje się pod względem składu gatunkowego drobnoustrojów glebowych. Mikroorganizmy te mogą przyczynić się do zwiększenia przyswajalności składników pokarmowych. Intensywność wydzielania fosfataz przez rośliny i mikroorganizmy pozostaje w ścisłej zależności od zapotrzebowania roślin na fosfor. W glebie spod brokułu i kalafiora stwierdzono jednocześnie największą zawartość fosforu przyswajalnego i aktywnego. Uzyskano istotną dodatnią wartość współczynnika korelacji pomiędzy aktywnością fosfatazy alkalicznej, a zawartością fosforu przyswajalnego w glebie ($r= 0,83$; $P<0,05$). Interpretacja tego zjawiska jest złożona ze względu na możliwość długotrwałego występowania w glebie enzymów zewnątrzkomórkowych w połączeniach z koloidami glebowymi. Wiadomo, że dla fosfomonoesteraz, substratem są związki fosforoorganiczne występujące w glebie. W dużym stopniu znajomość wielkości tych dwóch parametrów powinna umożliwiać oszacowanie kształtowania się zawartości fosforu dostępnego dla roślin, za którą można uważać fosfor oznaczony metodą Egnera-Riehma.

Obecność fosforu w glebie jest ważnym czynnikiem ograniczającym pobieranie metali ciężkich przez rośliny, gdyż przy większej zawartości łatwo rozpuszczalnych jego form, mogą wytrącać się trudno rozpuszczalne fosforany cynku, kadmu, ołowiu i miedzi. W pracy nie

stwierdzono istotnych korelacji pomiędzy zawartością w glebie fosforu, a metalami ciężkimi. Należy jednak podkreślić, że w niniejszych badaniach nie występują przekroczenia dopuszczalnych ich zawartości. Świadczy to o ich naturalnej akumulacji w glebie, która nie spowodowała inhibicji badanych enzymów oksydoredukcyjnych i hydrolitycznych. Prawdopodobnie mogło to być związane z korzystnymi właściwościami fizykochemicznymi badanych gleb, które spowodowały zmniejszenie mobilności metali ciężkich, obniżając jednocześnie ich toksyczność w stosunku do białek enzymatycznych. Brak inhibicji enzymów pod wpływem metali ciężkich mógł być spowodowany zawartością materii organicznej oraz frakcji ilastej. Wiążą one białko enzymatyczne, ochraniając je przed negatywnymi czynnikami środowiskowymi. Wiadomo również, że metale ciężkie w niewielkich stężeniach są aktywatorami wielu enzymów.

Wprowadzenie do prawa krajowego rozporządzenia Ministra Środowiska [Dz. U. z 2003 r. Nr 4, poz. 44] na podstawie Dyrektywy Azotanowej [Dyrektywa 91/676/EWG] było pierwszym krokiem do ograniczenia negatywnego wpływu rolnictwa na środowisko. Praktyka rolnicza wskazuje na preferowanie nawożenia azotem - czynnikiem plonotwórczym, który jednak w nadmiarze powoduje zanieczyszczenia wód azotanami. Obok azotu, fosfor jest podstawowym pierwiastkiem powodującym zaburzenia w środowisku naturalnym, przyczyniając się do eutrofizacji zbiorników wodnych. Niezrównoważone nawożenie, jest jednym z czynników, które wpływa na zakwaszenie gleby, a tym samym na zachwianie równowagi jonowej, pogorszenie właściwości sorpcyjnych oraz zmniejszenie składników pokarmowych w glebie. Nadmiar jednego ze składników mineralnych, może spowodować lub zaostrzyć niedobór innych, nawet przy optymalnej ich zawartości w glebie. Zjawisko to zwane jest antagonizmem jonów.

Celem badań pracy **nr 2** było określenie wpływu niezrównoważonego nawożenia mineralnego na zmiany zawartości fosforu przyswajalnego, podstawowych właściwości sorpcyjnych takich jak: kwasowość hydrolityczna (Hh), suma kationów zasadowych (TEB), pojemność kompleksu sorpcyjnego (CEC) oraz stopień wysycenia gleb zasadami (BS) gleby płowej na tle aktywności fosfatazy alkalicznej i kwaśnej.

Do realizacji tych badań wybrano doświadczenie polowe założone przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach na terenie Zakładu Doświadczalnego w Grabowie nad Wisłą (woj. mazowieckie). Gleba, na której usytuowany jest RZD w Grabowie według Systematyki Gleb Polski (2011) należy do podtypu gleb płowych

typowych i zaliczana jest do kompleksu żytznego bardzo dobrego. Doświadczenie prowadzone było w czteroletnim zmianowaniu: pszenica ozima, kukurydza na ziarno, jęczmień jary, rzepak ozimy. Próbkę gleby do badań zostały pobrane z warstwy 0-15 cm z obiektów, na których uprawiany był rzepak ozimy.

Doświadczenie zostało założone, jako dwuczynnikowe, w układzie losowanych bloków w dwóch replikacjach. Pierwszym czynnikiem było nawożenie mineralne P, K, Mg, Ca i S zastosowane w następujących wariantach: 1 (P, K, Mg, Ca i S), 2 - (K, Mg, Ca i S), 3 - (P, Mg, Ca i S), 4 - (P, K, Ca i S), 5 - (P, K, Mg, Ca), 6 - (P, K, Mg, S). Natomiast drugim czynnikiem było nawożenie azotem w postaci saletry amonowej (34%N) w dawkach: 0, 50, 100, 150, 200, 250 kg N·ha⁻¹.

Stosowanie wysokich dawek azotu przy jednoczesnym braku wapnowania spowodowało niekorzystny wzrost kwasowości hydrolitycznej oraz zmniejszenie się sumy kationów zasadowych, pojemności wymiennej kationów oraz wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami. Nawożenie mineralne, zwłaszcza zbyt intensywne, jest jedną z przyczyn zasolenia gleby. Wraz z nawozami wprowadzane są do gleby znaczne ilości soli łatwo rozpuszczalnych w glebach zawierających fosfor, azot i potas. Poprzez migracje soli nawozowych wraz z wodami opadowymi w głąb gleby, przenikają zróżnicowane ilości fosforanów, azotanów, chlorków i siarczanów. Zasolenie gleb mierzone jako przewodność elektryczna (EC) ulegała istotnym zmianom pod wpływem czynników doświadczalnych. Wartości EC mieściły się w zakresie od 181 do 428 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (241 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ średnio dla doświadczenia). Według przedziału szkodliwości koncentracji soli (Kotuby-Amacher i in. 1997) wpływ zasolenia był nieistotny gdyż przewodnictwo elektrolityczne wodnych ekstraktów glebowych było zdecydowanie niższe od przyjętej wartości progowej dla gleb zasolonych (4000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Według kryteriów zawartych w PN-R-04023 (1996) badaną glebę można zaklasyfikować do klasy III o średniej zawartości fosforu przyswajalnego (50,10 mg P·kg⁻¹). Brak nawożenia fosforem (obiekt: K, Mg, Ca, S) wpłynęło na zmianę klasy zasobności gleby w fosforze z średniej na niską. Również nawożenie azotem w dawkach 200 oraz 250 kg N·ha⁻¹ spowodowało zmianę klasy zasobności ze średniej na niską nawet przy nawożeniu fosforem. Stwierdzono istotne zmniejszenie zawartości fosforu w glebie z obiektów nienawożonych wapnem (P, K, Mg, S). Na podstawie przeprowadzonej analizy wariancji stwierdzono istotny wpływ zastosowanego nawożenia na zmiany aktywności fosfatazy alkalicznej i kwaśnej. Zarówno aktywność fosfatazy alkalicznej (0,778 mM pNP·kg⁻¹·h⁻¹ średnio dla nawożenia

azotem) jak i kwaśnej ($2,427 \text{ mM pNP} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ średnio dla nawożenia azotem) była najwyższa w glebie, na której nie zastosowano nawożenia fosforem (K, Mg, Ca, S). Zwykle aktywność fosfataz glebowych jest odwrotnie proporcjonalna do zawartości fosforu przyswajalnego. W przypadku niedoboru tego składnika pokarmowego w glebie, następuje wzrost produkcji i sekrecji do podłoża fosfataz zewnątrzkomórkowych przez korzenie roślin uprawnych. Niemniej jednak należy podkreślić, że wysoka aktywność fosfataz nie zapewnia dużego tempa mineralizacji organicznego fosforu, jeżeli dostęp do substratu przez enzym jest ograniczony lub go brak. Stosowanie zwiększających dawek azotu spowodowało inhibicję aktywności fosfatazy alkalicznej, natomiast stwierdzono aktywację fosfatazy kwaśnej. Wyższa aktywność fosfatazy kwaśnej wynika z faktu, że fosfomonoesterazy są enzymami bardzo wrażliwymi na zmiany odczynu gleby. Z otrzymanych wyników aktywności fosfomonoesteraz (alkalicznej i kwaśnej) obliczono enzymatyczny wskaźnik poziomu pH (*AIP/AcP*). Według jego autorów (Dick i in. 2000) za optymalną dla wzrostu i rozwoju roślin można uważać taką wartość pH gleby, w warunkach której występuje właściwy stosunek *AIP/AcP*, czyli 0,50. Na podstawie uzyskanych istotnych wartości współczynników korelacji oceniono relacje pomiędzy cechami charakteryzującymi właściwości sorpcyjne badanej gleby, zawartością fosforu przyswajalnego a aktywnością fosfataz. Istotnie ujemna wartość współczynnika korelacji uzyskano pomiędzy kwasowością hydrolityczną (Hh), a enzymatycznym wskaźnikiem poziomu pH gleby (*AIP/AcP*) ($r = -0,43$; $P < 0,05$). Obniżeniu wartości pH gleby towarzyszył wzrost kwasowości hydrolitycznej. Stwierdzono również ujemną zależność pomiędzy aktywnością fosfatazy alkalicznej, a kwasowością hydrolityczną ($r = -0,64$; $P < 0,05$), gdyż w glebach kwaśnych zwykle następuje inhibicja aktywności alkalicznej fosfomonoesterazy. Istotnie ujemna wartość współczynnika korelacji pomiędzy zawartością fosforu przyswajalnego, a aktywnością fosfatazy kwaśnej ($r = -0,40$; $P < 0,05$) potwierdza udział tego enzymu w przemianach fosforu glebowego. Stwierdzono istotną dodatnią zależność pomiędzy wartością *AIP/AcP*, a sumą kationów zasadowych (TEB) ($r = 0,57$; $P < 0,05$) i stopniem wysycenia gleb zasadami (BS) ($r = 0,50$; $P < 0,05$). Świadczy to o fakcie, że enzymatyczny wskaźnik poziomu pH (*AIP/AcP*) gleby może być wykorzystany jako indykator oddziaływania nie zrównoważonego nawożenia na żyzność gleby jak również innych czynników antropogenicznych i naturalnych. Może być również wykorzystany jako metoda porównawcza do potencjometrycznego określenia pH gleby.

Gleby Równiny Inowrocławskiej, w tym także analizowane gleby Parku Zdrojowego w Inowrocławiu należą do jednego z największych kompleksów czarnych ziem w Polsce. Walory użytkowe czarnych ziem, ich wysoka produktywność i żyzność powodują, że są to obszary narażone na intensywną uprawę rolniczą. Nie jest to jednak jedyny czynnik mogący negatywnie oddziaływać na omawiane gleby. Na Równinie Inowrocławskiej rozwinął się na dużą skalę przemysł sodowy, który powoduje degradację środowiska glebowego poprzez zasolenie na przyległych obszarach. Specyficznym czynnikiem antropogenicznym występującym w Parku Zdrojowym w Inowrocławiu, związanym z wydobyciem solanki i wpływającym lokalnie na gleby są tężnie. Stały dopływ dużej ilości kationów i anionów może w konsekwencji doprowadzić do trwałych bądź okresowych zmian właściwości chemicznych gleb stanowiących bezpośrednie otoczenie tężni, a tym samym wpływać na ich żyzność.

Obszar badań pracy **nr 3** stanowi blisko 60 hektarowy Park Zdrojowy w Inowrocławiu. Z terenu parku pobrano w okresie letnim 27 reprezentatywnych próbek glebowych z warstwy powierzchniowej w różnych odległościach od źródła zasolenia (tężnie solankowe). W glebie oznaczono zawartość fosforu przyswajalnego, aktywność fosfatazy alkalicznej i kwaśnej, dehydrogenaz, katalazy na tle zawartości kationów wymiennych (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), ich form wodno rozpuszczalnych jak również zawartość siarczanów, pH i $\text{EC}_{1:5}$. Odczyn badanej gleby kształtował się w zależności od lokalizacji miejsca pobierania próbek. Najwyższe wartości pH wykazujące odczyn obojętny do zasadowego stwierdzono w bezpośrednim sąsiedztwie tężni. Wartości $\text{EC}_{1:5}$ podzieliły badany teren także na dwie części, pierwsza to obszar zlokalizowany w obrębie tężni gdzie wartości $\text{EC}_{1:5}$ wahały się w przedziale $0,79 - 3,77 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ i pozostała o wartościach $\text{EC}_{1:5}$ rzędu $0,25 - 1,00 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. Zawartość fosforu przyswajalnego w glebie mieściła się w zakresie od $19,64 - 222,32 \text{ mgP}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($87,2 \text{ mgP}\cdot\text{kg}^{-1}$ średnio). Aktywność dehydrogenaz w czarnej ziemi była wyraźnie zróżnicowana ($0,182-0,584 \text{ mg TPF kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$). Jednak nie stwierdzono zależności pomiędzy lokalizacją miejsc pobierania próbek glebowych, a aktywnością tego enzymu. Również aktywność katalazy mieściła się w bardzo szerokim zakresie $0,003 - 0,990 \text{ H}_2\text{O}_2\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$. Katalaza jest enzymem antyoksydacyjnym, biorącym udział w obronie roślin przed czynnikami abiotycznymi i biotycznymi wywołującymi stres oksydacyjny wśród roślin m.in. rosnących na glebach słonych. Brak istotnych zależności pomiędzy aktywnością katalazy, a zawartością w glebie jonów chlorkowych i sodowych

świadczył o niewielkim zasoleniu poziomów powierzchniowych gleby Parku Zdrojowego. Aktywność fosfatazy kwaśnej była wyższa od alkalicznej średnio o około 26%. Wyniki te nie zgadzają się z wcześniejszymi doniesieniami (Dick i Tabatabai 1984), że aktywność fosfatazy alkalicznej dominuje w obojętnym lub alkalicznym odczynie gleby. Podobne rezultaty otrzymali Siddikee i in. (2011), którzy uważają, że zmniejszona aktywność enzymów (fosfatazy alkalicznej) w glebach trwale lub okresowo zasolonych może być spowodowana zmianą potencjału osmotycznego wywołanego toksycznym działaniem specyficznych jonów oraz modyfikacją centrum aktywnego enzymu będącego białkiem. Zarówno zmiany zawartości fosforu przyswajalnego jak i aktywności fosfatazy alkalicznej i kwaśnej, dehydrogenaz, katalazy w glebie nie były spowodowane czynnikami wywołującymi zasolenie gleb, ale wynikiem naturalnej zawartości węgla organicznego, co zostało udowodnione przeprowadzoną statystyczną analizą korelacji badanych parametrów. Wzrost aktywności enzymatycznej był konsekwencją zwiększonej zawartości materii organicznej, co poprawiło jej stabilność strukturalną, gęstość. Nie stwierdzono istotnej korelacji pomiędzy aktywnością enzymatyczną a zawartością jonów Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} . Uzyskano wysokie istotne wartości współczynników korelacji pomiędzy zawartością fosforu przyswajalnego, a aktywnością fosfatazy alkalicznej ($r= 0,96$; $P<0,05$) i kwaśnej ($r= 0,91$; $P<0,05$), co potwierdziło fakt, że enzymy te można wykorzystać jako markery wrażliwości na zmiany zawartości fosforu w glebie. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że badane czarne ziemie są glebami podlegającymi okresowemu zasoleniu, ale wysoka zawartość jonów odpowiedzialnych za zasolenie jest równoważona dużą zawartością węgla organicznego, próchnicy, fosforu i wapnia bezpośrednio wpływających na żyzność analizowanych gleb. Aktywność enzymów była zależna od naturalnej zawartości węgla organicznego, a nie od czynników wpływających na zasolenie gleb.

Wyniki pracy nr 4 dotyczą sezonowych oraz profilowych zmian zawartości fosforu ogółem i przyswajalnego oraz aktywności fosfatazy alkalicznej i kwaśnej na tle wybranych właściwości czarnych gleb zasolonych takich jak: węgiel organiczny, pH, zasolenie (EC) oraz zawartość kationów wymiennych (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+). Do badań wybrano trzy profile glebowe zlokalizowane w różnych odległościach od źródła zasolenia (profil I położony w bezpośrednim sąsiedztwie tężni w Inowrocławiu; profil II - położony ok 250 m na południowy wschód od tężni oraz profil III – usytuowany na północny wschód od źródła zasolenia) trzykrotnie w ciągu roku (wiosna, lato, jesień).

Gleba profilu nr 1 ze względu na bezpośrednie sąsiedztwo tężni solankowych wykazała wyraźnie alkaliczny charakter. Wartość $EC_{1:5}$ wykazała wzrost wraz z głębokością zarówno w profilu 1 jak i 2. Wyjątek stanowił profil nr 3 (położony najdalej od tężni), w którym zaobserwowano tendencję malejącą. Należy jednak podkreślić, że wielkość EC była wykonywana nie w ekstrakcie nasyconym, ale w rozcieńczeniu gleba – woda w stosunku 1:5 ($EC_{1:5}$), w związku z tym można wnioskować, że otrzymane wyniki są zaniżone.

Na podstawie uzyskanych wyników zawartości węgla organicznego, fosforu ogółem i jego przyswajalnej dla roślin formy, obliczono profilowy współczynnik dystrybucji (DI) (Kobierski and Dąbkowska-Naskręt 2012) dla tych makroelementów. Do oceny dostępności fosforu wykorzystano „wskaźnik mobilności (przyswajalności)” (IM), który wyraża procentowy udział fosforu przyswajalnego w jego całkowitej zawartości. Obliczono również wskaźnik zmian zawartości węgla organicznego, całkowitej i przyswajalnej zawartości fosforu oraz aktywności fosfatyzacji w czasie (TI). Całkowita zawartość fosforu w glebie określa tylko stopień ich zasobności i nie świadczy o możliwości pobierania tego pierwiastka przez rośliny. Ogólna zawartość fosforu w badanych profilach glebowych kształtowała się na podobnym poziomie. Najmniejszą jego zawartość stwierdzono w profilach glebowych dla próbek pobranych latem. Określenie zawartości form przyswajalnych w glebach, ma znaczenie ze względu na jego dostępność przez rośliny, determinowaną przez stężenie form mobilnych w glebie. Zawartość fosforu przyswajalnego dla roślin w badanych profilach była zróżnicowana: profil 1: 3,91-126,4 $mg \cdot ka^{-1}$ (położony najbliżej tężni), profil 2: 2,82-70,23 $mg \cdot ka^{-1}$ oraz profil 3: 20,02-96,80 $mg \cdot ka^{-1}$ (w zależności od terminu pobierania prób). Najmniejszą zawartość tego składnika pokarmowego stwierdzono w badanych profilach pobranych wiosną, w trakcie intensywnego wzrostu roślin, natomiast największą zawartość uzyskano w profilach glebowych pobranych latem. „Wskaźnik przyswajalności” (IM) oceniający dostępność fosforu dla roślin był najwyższy w glebie profilu nr 3 we wszystkich terminach badań (10,71-63,68%), natomiast najniższy w poziomach profilu 2 (1,831-26,88%). Według Qadiar i Schuberta (2002), Pan et al. (2013) nawet najbardziej zasolone gleby są odpowiednio zaopatrzone w fosfor, ponieważ stężenie jonów Na^+ może powodować tworzenie rozpuszczalnych form Na_3PO_4 . W niniejszych badaniach stężenie jonów Na^+ zwiększyło się ze wzrostem zasolenia, co prawdopodobnie przyczyniło się do zwiększenia zawartości fosforu przyswajalnego w glebie. Rozmieszczenie fosforu ogółem w badanych profilach można tłumaczyć wpływem pedogenezy, gdyż na podstawie wartości DI

stwierdzono jego umiarkowaną akumulację (DI 1,27-3,79). Stwierdzono wyraźną tendencję do znacznej akumulacji fosforu ogółem w poziomach 0-20 cm. Wartość obliczonego współczynnika dystrybucji (DI) dla fosforu przyswajalnego w badanej glebie mieścił się w przedziale 1,12 - 22,14. W większości poziomów genetycznych badanych profili stwierdzono umiarkowaną i znaczną akumulację tego pierwiastka. W przypadku gleby pobranej jesienią z profilu nr 1 zaobserwowano wyraźną tendencję do akumulacji przyswajalnego fosforu na skutek antropogenicznego wpływu (DI 11,60 - 22,14). Profil ten był usytuowany najbliżej tężni. Dlatego należałoby rozważyć wprowadzenie monitoringu gleb Parku Zdrojowego uzdrowiska w Inowrocławiu (jak również innych tego typów obiektów) w kierunku zanieczyszczeń wynikających z nawożenia i stosowania środków ochrony roślin. Aktywność fosfatazy alkalicznej i kwaśnej w profilach glebowych była zróżnicowana w zależności od terminu pobierania prób. Najwyższą aktywność alkalicznej fosfomonoesterazy ($0,271 - 2,207 \text{ mM pNP}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) oraz kwaśnej ($0,280 - 2,516 \text{ mM pNP}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) uzyskano w glebie pobranej wiosną. Związane to było z mniejszą zawartością przyswajalnego fosforu w glebie poprzez intensywne pobieranie go przez system korzeniowy roślin. W takich warunkach mikroorganizmy glebowe i korzenie roślin wydzielają do gleby fosfatazy, które katalizują hydrolizę organicznych związków fosforu do mineralnych. Zmniejszanie się aktywności enzymów w głąb profilu glebowego ma związek z przestrzennym rozmieszczeniem próchnicy i drobnoustrojów glebowych oraz z malejącą ilością substratów węglowych dostępnych dla mikroorganizmów i enzymów. W okresie letnim inhibicja fosfataz w wierzchniej warstwie profilu glebowego może wynikać z narażenia wierzchnich poziomów na dłuższe przesychnanie. Natomiast Błońska (2010) uważa, że optymalnym terminem do pobierania próbek w celu oznaczania aktywności enzymatycznej powinien przypadać na okres letni, ponieważ gleba w tym czasie znajduje się w stanie równowagi (wilgotność, temperatura), co sprzyja rozwojowi mikroorganizmów glebowych, a to w konsekwencji skutkuje wzrostem intensywności przemian biochemicznych. Indeks zmian w czasie (TI) wskazuje na zmiany zawartości składników pokarmowych oraz aktywności fosfataz w glebie w czasie od wiosny do jesieni. Zawartość fosforu ogółem w glebie w okresie od wiosny do jesieni uległa zmniejszeniu ($TI > 1$). Zawartość fosforu przyswajalnego w profilu glebowym nr 1 uległa również zmniejszeniu, szczególnie w poziomie 0-20 cm (TI 10,5). W poziomach 0-20 cm oraz 20-40 cm profili nr 2 i nr 3 nastąpił wzrost jego zawartości w trakcie badań ($TI < 1$). Profile te były znacznie

oddalone od źródła zasolenia w porównaniu do profilu nr 1. Aktywność fosfatazy alkalicznej w okresie od wiosny do jesieni uległa zmniejszeniu ($TI > 1$), szczególnie w glebie profilu nr 3 (TI 1,13-1,80). Powszechnie obserwowana jest liniowa zależność między aktywnością kwaśnych fosfataz, a ilością uwalnianych do roztworu glebowego nieorganicznych form fosforu. Potwierdza to analiza statystyczna, która wykazała dodatnią, ale niską istotną korelację pomiędzy zawartością fosforu przyswajalnego, a AIP ($r = 0,32$; $P < 0,05$) oraz AcP ($r = 0,38$; $P < 0,05$). Długoletnie okresowe zasolenie czarnych ziem nie wpłynęło na obniżenie aktywności badanych fosfomonoesteraz, ponieważ związana ona była przede wszystkim z zawartością węgla organicznego, a nie zależała od czynników wpływających na ich zasolenie, co potwierdzono istotną dodatnią korelacją między zawartością w glebie węgla organicznego, a aktywnością fosfomonoesterazy alkalicznej ($r = 0,47$; $P < 0,05$) i kwaśnej ($r = 0,62$; $P < 0,05$). Powszechnie wiadomo, że przebieg procesów enzymatycznych w glebie w trakcie sezonu wegetacyjnego roślin jest bardzo zmienny i trudny do interpretacji. Wynika to z faktu, że w dużej mierze kształtowany jest on poprzez zmieniającą się okresowo temperaturę i uwilgotnienie środowiska glebowego.

Gwałtowny rozwój przemysłu na świecie jest jedną z głównych przyczyn niekorzystnych zmian ekologicznych zachodzących w środowisku. Parametry fizykochemiczne i biologiczne gleb relatywnie szybko reagują na antropogeniczne zmiany w tym emisje przemysłowe, dlatego celem pracy nr 5 było określenie wpływu długoletniego oddziaływania Zakładów Azotowych ANWIL SA we Włocławku, produkujących nawozy azotowe na właściwości fizykochemiczne (węgiel organiczny, azot ogółem, pH w KCl, fosfor ogółem i przyswajalny) leśnej gleby rdzawej na tle jej aktywności fosfatazowej. Do realizacji badań pobrano próbki gleby z poziomów mineralnych trzech profili glebowych z terenu przyległego do Zakładów Azotowych Anwil SA w strefie ich oddziaływania. Badane profile leśnej gleby rdzawej oddalone były od zakładu, kolejno: profil I – ok. 0,8 km w kierunku zachodnio-północnym; profil II – ok. 2 km na zachód; profil III – ok. 2,5 km od prawego brzegu Wisły w kierunku wschodnim. Próbkę glebową profilu kontrolnego leśnej gleby rdzawej, położonego poza zasięgiem oddziaływania emisji, pobrano na siedlisku boru mieszanego świeżego (BMśw) w miejscowości Szumiąca w Borach Tucholskich. Zawartość fosforu przyswajalnego dla roślin w warstwach powierzchniowych badanych profili kształtowała się w przedziale bardzo niskim, tj. 9,15–19,58 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. W poziomie 0–20 cm pobranym w Borach Tucholskich zawartość ta wynosiła 19,44 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, podobnie jak

w punkcie III oddalonym o 2,5 km od emitora. Za krytyczną wartość dla roślin można uznać zawartość przyswajalnego fosforu około $30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby. Najmniejszą jego akumulację ($6,233\text{--}10,51 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) stwierdzono w profilu usytuowanym najbliżej Zakładów Azotowych Anwil, co było związane z bardzo kwaśnym odczynem gleby, a pierwiastek ten jest szczególnie wrażliwy na jego zmiany. Najmniejsze wartości *IM* (wskaźnik mobilności) uzyskano w glebie profilu I ($3,25\text{--}2,40$), co wiązało się z małą zawartością przyswajalnego fosforu, potwierdzone wysoką wartością współczynnika korelacji ($r= 0,91$; $P<0,05$), natomiast w profilu III wartość *IM* była największa ($2,7\text{--}7,82$). Wartość wskaźnika dystrybucji (*DI*) fosforu przyswajalnego w glebie profilu I mieściła się w zakresie od 1,469 do 1,686, profilu II od 1,332 do 1,728, profilu III od 1,721 do 2,705, natomiast w glebie profilu pobranego z Borów Tucholskich w zakresie 1,805–2,280, co wskazuje na jego umiarkowaną akumulację. Zawartość fosforu przyswajalnego wyraźnie malała w głąb każdego z badanych profili glebowych, co należy wiązać z niewielką mobilnością fosforu w glebie. Podobnie aktywność fosfomonoesteraz zmniejszała się wraz z głębokością. Aktywność fosfatazy alkalicznej i kwaśnej zmieniała się w zależności od oddalenia badanych profili od emitora. W glebie profilu, znajdującego się w odległości ok. 0,8 m od zakładu stwierdzono inhibicję aktywności fosfatazy alkalicznej ($0,310\text{--}1,445 \text{ mM pNP}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$), natomiast aktywność fosfatazy kwaśnej była najwyższa ($0,670\text{--}12,87 \text{ mM pNP}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$). Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej stwierdzono, że aktywność fosfatazy alkalicznej i kwaśnej była istotnie modyfikowana zawartością węgla organicznego, co potwierdziła istotna wartość współczynnika korelacji pomiędzy tymi cechami ($r= 0,94$ oraz $r= 0,67$; $P<0,05$). Materia organiczna pełni funkcję ochronną dla enzymów, które ulegają przez to immobilizacji. Wpływa to pozytywnie na stabilizację struktury białek, zmniejszając wrażliwość na negatywne zmiany wywołane czynnikami środowiskowymi. Uzyskano silną zależność pomiędzy zawartością fosforu przyswajalnego w glebie, a aktywnością fosfatazy alkalicznej ($r= 0,67$; $P<0,05$), co sugeruje, że enzym ten był odpowiednim parametrem charakteryzującym analizowane gleby pod względem zawartości fosforu przyswajalnego, w przeciwieństwie do aktywności fosfatazy kwaśnej. Wykazano znaczną dodatnią korelację ($r= 0,68$; $P<0,05$) pomiędzy zawartością fosforu przyswajalnego, a zawartością węgla organicznego. Większa zawartość materii organicznej zwykle powoduje zwiększenie aktywności biologicznej gleby, co przyspiesza proces mineralizacji, a w efekcie przyczynia się do zwiększenia puli składników pokarmowych w glebie.

Stwierdzono, że długoletnia emisja związków azotowych spowodowała wzrost zakwaszenia gleby, zmniejszenie zawartości próchnicy, a tym samym zmniejszenie zawartości fosforu przyswajalnego. Wartości wskaźnika dystrybucji fosforu (DI) w glebie wskazują na jego umiarkowaną akumulację niezwiązaną z wpływem antropopresji. Natomiast nagromadzenie azotu było skutkiem działalności antropogenicznej ($DI > 3$). Zaobserwowano wzrost aktywności fosfatazy alkalicznej w glebie w miarę oddalania się od Zakładów Azotowych, czemu towarzyszyły korzystne zmiany zawartości węgla związków organicznych, próchnicy i fosforu przyswajalnego. Natomiast aktywność fosfatazy kwaśnej uległa inhibicji.

W pracy nr 6 przedstawiono wyniki badań zmian zawartości węgla organicznego i fosforu dostępnego dla roślin oraz aktywności fosfataz odpowiedzialnych za przemiany tego pierwiastka w glebie objętej pożarem. Pożarzysko obejmujące teren około 10 ha, powstało w marcu 2012 roku w wyniku wiosennego niekontrolowanego wypalania traw. Pożar trwał około 6 godzin, miał charakter przyziemny i objął obszar podmiejskich kompleksów lasu fordońskiego w Bydgoszczy (województwo kujawsko-pomorskie). Próbki gleby do badań pobrano trzykrotnie: kwiecień 2012 rok, październik 2012 rok i kwiecień 2013 rok z poziomów powierzchniowego (0-15 cm) oraz podpowierzchniowego (15-30 cm) z czterech miejsc: z miejsca poza pożarem (powierzchnia kontrolna), ekotonu (obszar graniczny) oraz z gleby spalonej oddalonej o 150 m (punkt A) i 200 m (punkt B) od ekotonu. W wytypowanych powierzchniach dominowały drzewostany sosny zwyczajnej (*Pinus silvestris* L.), które nie uległy uszkodzeniu podczas pożaru.

Największą zawartość fosforu przyswajalnego niezależnie od terminu pobierania próbek uzyskano w glebie z poziomu powierzchniowego 0-15 cm oddalonej o 200 m od ekotonu ($74,08-85,02 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Ogień ma znaczący wpływ na zwiększanie zawartości fosforu w glebie, poprzez dostarczanie dużej ilości ortofosforanów jak również przekształcaniu organicznych związków fosforu do form mineralnych i dlatego straty P spowodowane poprzez parowanie są niewielkie. Na podstawie stosunku zawartości fosforu przyswajalnego w glebie oznaczonego bezpośrednio po pożarze (kwiecień 2012) do zawartości tego pierwiastka w glebie pobranej w rok po pożarze (kwiecień 2013) obliczono indeks zmian zawartości fosforu przyswajalnego w czasie. Stwierdzono zwiększenie zawartości fosforu przyswajalnego w warstwach 0-15 cm gleby objętej pożarem (punkt A) (TI 0,96) i punkt B (TI 0,89). Jednak zbyt intensywna mineralizacja może być szkodliwa, gdyż prowadzi do uruchomienia zbyt dużej ilości fosforu, który nie pobrany przez rośliny

ulega wmyciu do głębszych warstw gleby, co w konsekwencji prowadzi do eutrofizacji wód. Aktywność fosfatazy alkalicznej i kwaśnej w glebie objętej pożarem była niższa w porównaniu do kontroli oraz ekotonu w obydwu badanych poziomach we wszystkich terminach badań, co było związane z wpływem wysokiej temperatury na zniszczenie i redukcję drobnoustrojów glebowych, a tym samym do spadku intensywności mikrobiologicznych procesów rozkładu substancji organicznej, w tym również zmniejszenia aktywności enzymów glebowych. Wysoka temperatura podczas pożarów powoduje inaktywację białek enzymatycznych, a tym samym pośrednio wpływa na obieg składników odżywczych. Następuje szybka mineralizacja związków organicznych, które pomimo że nie są pobrane przez rośliny, wymywane są w głąb profilu, doprowadzając do spadku zasobności gleby. Uzyskano istotne ujemne wartości korelacji pomiędzy zawartością w glebie fosforu przyswajalnego a aktywnością alkalicznej ($r = -0,599$; $P < 0,05$) oraz kwaśnej fosfatazy ($r = -0,583$; $P < 0,05$). Podwyższony poziom nieorganicznego fosforu w glebie działa jak inhibitor kompetencyjny obniżając aktywność fosfataz. Dlatego fosfatazy biorące udział w biotransformacji fosforu, można nazwać „markerami wrażliwości”. Na podstawie obliczonego indeksu zmian aktywności badanych enzymów w czasie ($TI > 1$) wykazano, że rok po pożarze, proces regeneracji gleb nie został zakończony. Jednak wzrost zawartości węgla organicznego może pozytywnie wpłynąć na aktywność biologiczną gleby, w związku z tym w następnych latach przewiduje się kontynuację badań na tym terenie.

Niekontrolowane składowiska odpadów stanowią od wielu lat poważny problem z punktu widzenia ochrony środowiska, gdyż w przeciwieństwie do kontrolowanych nie posiadają one wydzielonej strefy ochronnej, jak również nie są zabezpieczone warstwą geomembrany. Od momentu wejścia Polski do Unii Europejskiej w 2004 rok, prawo polskie jest dostosowane do wymagań prawa wspólnotowego, dlatego UE m.in. nakazuje wykorzystanie technik recyklingu i odzysku energii i surowców wtórnych z odpadów [Dyrektywa 99/31/WE w sprawie składowania odpadów 2015/0274(COD); Brussels, 2015]. W Polsce jednak regulacja gospodarki odpadami jest niedostatecznie rozwinięta w porównaniu do wielu państw UE. Nielegalne składowiska odpadów powodują zanieczyszczenie środowiska glebowego poprzez zmiany właściwości biologicznych i fizykochemicznych. Wysypiska odpadów są obok węgla również źródłem fosforu.

W tym kontekście celem pracy **nr 7** była ocena wpływu niekontrolowanych składowisk na zmiany zawartości fosforu ogółem (TP) oraz jego mineralnej (MP), organicznej (OP),

przyswajalnej (AP) i aktywnej (P_{AC}) formy na tle aktywności fosfatazowej, zawartości węgla organicznego (TOC), fitodostępnych form metali ciężkich (Zn, Cu, Pb, Ni) oraz wybranych parametrów mikrobiologicznych (ogólna zawartość bakterii, promieniowców, grzybów, drobnoustrojów amylolytycznych, proteolitycznych i celulozytycznych).

Na podstawie uzyskanych wyników obliczono również wartość wskaźnika oporności gleby (RS) dla fosfatazy alkalicznej i kwaśnej, zaproponowany przez Orwin i Wardle (2004) oraz współczynnik ich inhibicji (I_N) (Kucharski i in. 2009) Na podstawie całkowitej i przyswajalnej formy fosforu w glebie obliczono procentowy wskaźnik przyswajalności (AF) (Xiao i in. 2012). Jesienią 2013 roku do badań pobrano glebę z trzech miejsc nielegalnego deponowania odpadów zlokalizowanych na terenie leśnym i śródpolnym należącym do gminy Bydgoszcz. Były to wysypiska punktowe różniące się składem morfologicznym, które oznaczono jako W1, W2, W3. W składzie odpadów W1 występowały odpady mieszane w tym gruz budowlany i ceramiczny, szkło, tworzywo sztuczne, materiały tekstylne i zużyty sprzęt elektrotechniczny. W obiekcie W2 dominował sprzęt elektrotechniczny, opony i tekstylia, natomiast składowisko W3 gromadziło odpady pochodzenia organicznego pochodzące z gospodarstw domowych oraz skoszoną trawę i resztki z pielęgnacji ogródków. W odległości 30 m od składowiska W3 na terenie pola uprawnego z kukurydzą wyznaczono kolejny punkt pobierania próbek - oznaczony jako Area. Posłużył on do określania strefy oddziaływania składowiska W3 na glebę uprawną. Jako punkt kontrolny (C) ustalono miejsce z dala od wyznaczonych składowisk odpadów i nie będący w strefie ich oddziaływania. Zawartość fosforu ogółem i jego formy organicznej i mineralnej była najwyższa w glebie pobranej z pola uprawnego. Zawartość przyswajalnego fosforu wynosiła $71,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, co według PN-R-04023 (1996) pozwala zaliczyć ją do II klasy o wysokiej zawartości tego składnika pokarmowego. Związane to było z dostarczeniem nawozów mineralnych w uprawie kukurydzy w monokulturze. W badaniach wykazano, że procentowy udział organicznej formy fosforu w jego całkowitej zawartości, mieścił się w zakresie od 26% - 41%. Fosfor zawarty w połączeniach organicznych może stanowić zwykle 15 - 80% całkowitej jego zawartości (w zależności od zawartości substancji organicznej), ale ulega on bardziej dynamicznym przemianom niż fosfor zawarty w związkach mineralnych. W pracy przedstawiono również wartość stosunku TOC/OP uważany za dobry wskaźnik mineralizacji związków fosforu organicznego w glebie. W przypadku, gdy wartość TOC/OP jest węższa niż 200:1, następuje uruchamianie fosforu z połączeń organicznych. W badanych glebach pobranych z punktu

kontrolnego wartość TOC/OP wyniosła 507 (dla głębokości 0-20 cm) oraz 396 (dla głębokości 20-40 cm), co sugeruje że nastąpiła immobilizacja fosforu przez mikroorganizmy glebowe. Najniższą wartość TOC/OP uzyskano w glebie pobranej spod zdeponowanych odpadów z punktów W1 (47-72) i W2 (44-102), gdzie nastąpił proces mineralizacji fosforu. Zachodzi on jednak bardzo wolno w zależności od aktywności biologicznej gleby. Obliczony wskaźnik przyswajalności (AF) był największy w glebie pobranej z pola, zarówno z głębokości 0-20 cm (AF 23,24) jak i 20-40 cm (AF 23,39). Wartość współczynnika AF dla większości badanych gleby była powyżej progu dostępności (2%) (Xiao i in., 2012). Natomiast najniższą wartość tego wskaźnika zaobserwowano w glebie pobranej spod obiektu W1 (AF_{0-20cm} 2,23; $AF_{20-40cm}$ 0,49). Może to być związane zarówno z zawartością w glebach TOC jak i wartością pH . Wyniki testu ANOVA wykazały istotny wpływ zarówno stanowisk jak i głębokości pobierania próbek na zmiany aktywności alkalicznej i kwaśnej fosfatazy w glebie. Najbardziej dynamiczny przebieg hydrolizy związków fosforu, mierzony aktywnością fosfatazy zasadowej i kwaśnej, miał miejsce w próbkach glebowych pobranych z gleby kontrolnej (C) (AIP: 2,007 mM pNP·kg⁻¹·h⁻¹ i AcP: 2,244 mM pNP·kg⁻¹·h⁻¹). Również wysoką aktywność obu fosfataz uzyskano w glebach spod obiektu W3 (AIP – 1,259 mM pNP·kg⁻¹·h⁻¹ i AcP – 1,899 mM pNP·kg⁻¹·h⁻¹) oraz pola uprawnego (AIP – 1,478 mM pNP·kg⁻¹·h⁻¹, AcP – 2,018 mM pNP·kg⁻¹·h⁻¹), natomiast najniższą w glebie z obiektów W1. Wiązało się to ze zróżnicowanym składem chemicznym zdeponowanych odpadów, oraz ze stopniem ich mikrobiologicznego rozkładu.

Jak wiadomo materia organiczna w glebie jest nośnikiem enzymów glebowych. Dlatego trudne jest określenie, czy zmiany aktywności fosfataz związane są z zawartością materii organicznej w glebie lub z rzeczywistą różnicą aktywności tych enzymów. Jednym ze sposobów rozwiązania tego problemu jest przeliczenie aktywności enzymu na jednostkę węgla organicznego (Barriuso i in. 1988). W glebach będących pod wpływem niekontrolowanych wysypisk śmieci W1 and W2 stwierdzono istotny spadek zawartości węgla organicznego (TOC), ale zmiany te prowadziły do względnie wyższej aktywności fosfatazy alkalicznej (W1: 92,19 mM pNP·TOC⁻¹·h⁻¹, W2: 114,2 mM pNP·TOC⁻¹·h⁻¹) i fosfatazy kwaśnej (W1: 173 mM pNP·TOC⁻¹·h⁻¹; W2: 282,1 mM pNP·TOC⁻¹·h⁻¹) w przeliczeniu na jednostkę węgla, dzięki czemu większe straty materii organicznej w glebie stymulują aktywność enzymatyczną. Może to być wywołane stresem mikroflory glebowej, która zwiększyła swoją aktywność. Zmiana aktywności fosfatazowej gleby indukowanej

przez odpady została potwierdzona przez wartości indeksu oporności (RS). Największe wartości RS uzyskano dla badanych enzymów w glebach W3 (AIP 0,501; AcP 0,615) i pola uprawnego (AIP 0,641; AcP 0,870). Według Orwin i Wardle (2004) wyższe wartości indeksu RS wskazują, że zakłócenia miały niewielki wpływ (maksymalna oporność), natomiast w przypadku obiektów W1 i W2 niższe wartości RS wykazały silniejsze efekty (minimalna oporność). Pod względem zmniejszającej się oporności fosfatazy można uszeregować: fosfataza kwaśna (średnio: RS 0,584) > fosfataza alkaliczna (średnio: RS 0,348). Obliczona wartość I_N pozwoliła na wykazanie najmniejszej inhibicji fosfataz, którą stwierdzono w glebie pobranej z obiektów W3 (AIP - 34,0; AcP - 16,1) i pola uprawnego (AIP - 27,8; AcP - 102). W glebie z tych obiektów stwierdzono, że zarówno fosfataza kwaśna i alkaliczna są najbardziej odporne na zakłócenia spowodowane oddziaływaniem niekontrolowanych odpadów. Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej uzyskano istotnie dodatnie korelacje pomiędzy zawartością fosforu aktywnego (P_{AC}), a aktywnością AIP ($r= 0,748$; $P<0,05$) oraz AcP ($r= 0,803$; $P<0,05$). Nie uzyskano istotnych korelacji pomiędzy zawartością metali ciężkich (Zn, Cu, Pb, Ni), a fosforem oraz aktywnością fosfataz w glebie. Prawdopodobnie fosfor występujący w badanej glebie mógł wzmocnić efekt stabilizacji zanieczyszczeń, poprzez zdolność fosforanów do strącania i tworzenia stabilnych form stałych. Również dopływ materii organicznej z odpadów komunalnych zmniejszył stopień toksyczności metali ciężkich, które nie spowodowały obniżenia aktywności fosfatazowej. Dla oznaczonych form fosforu w badanych glebach uzyskano istotny współczynnik korelacji między liczebnością promieniowców, a zawartością TP ($r= 0,719$; $P<0,05$), OP ($r= 0,681$; $P<0,05$) i MP ($r= 0,723$; $P<0,05$). Również występowanie bakterii ogółem było istotnie dodatnio skorelowane z koncentracją fosforu aktywnego ($r= 0,639$, $P<0,05$). Jak wiadomo, mikroorganizmy mają decydujący udział w przemianach fosforu. Heterotroficzne mikroorganizmy z jednej strony mineralizują organiczne związki tego pierwiastka, przez co zwiększają glebowe zasoby ortofosforanów. Natomiast z drugiej strony powodują unieruchomienie fosforu mineralnego w swojej biomacie, co zmniejsza jego zawartość. W warunkach niedoboru fosforu w glebie korzenie roślin oraz mikroorganizmy zwiększają produkcję pozakomórkowych fosfataz. Analiza korelacji wykazała wysoką zależność pomiędzy aktywnością fosfatazy alkalicznej a liczebnością drobnoustrojów amylolitycznych ($r= 0,892$; $P<0,05$), proteolitycznych ($r= 0,889$; $P<0,05$) celulolitycznych ($r= 0,842$; $P<0,05$) i bakterii ogółem ($r= 0,803$; $P<0,05$). Enzymy uczestniczące w przemianach fosforu

glebowego wytwarzane są przede wszystkim przez drobnoustroje zaliczane są do grupy PSM (*Phosphate Solubilizing Microorganisms*). Grupę tą tworzą zarówno bakterie, promieniowce, jak i grzyby. W glebie o pH zbliżającym się do kwaśnego wśród mikroorganizmów zaczynają dominować grzyby, są to zarazem warunki korzystne do syntezy fosfatazy kwaśnej. Mikroorganizmy są wrażliwe zarówno na naturalne jak i antropogeniczne zmiany zachodzące w glebie oraz szybko adaptują się do nowych warunków.

W opracowaniu statystycznym zastosowano również metodę grupowania danych wg Warda (1963). Na podstawie przeprowadzonej analizy wyodrębniono trzy główne skupienia (klastry). Klaster nr 2 charakteryzował się największą odległością euklidesową w porównaniu do dwóch pozostałych. Skupiał on próbki gleby (W1 0-20cm, W1 20-40 cm, W2 0-20 cm, W2 20-40 cm) w których stwierdzono najmniejszą zawartość badanych form fosforu oraz obniżenie aktywności fosfatazowej i liczebności badanych mikroorganizmów. Uzyskane wyniki wskazują na konieczność monitorowania gleby będącej pod wpływem nielegalnego składowania odpadów pod względem właściwości chemicznych, biochemicznych i mikrobiologicznych. Przyczynią się one do pogłębienia wiedzy w zakresie procesów biogeochemicznych związków fosforu w glebie.

Podsumowanie wyników prac dokumentujących osiągnięcie naukowe

Przeprowadzone badania wykazały zróżnicowany wpływ antropopresji na zawartość w glebie fosforu dostępnego dla roślin oraz stopień mineralizacji tego pierwiastka poprzez ocenę aktywności fosfatazy alkalicznej i kwaśnej. Można zatem stwierdzić, że fosfatazy glebowe dobrze odzwierciedlają oddziaływanie czynników antropogenicznych na biogeochemię fosforu glebowego.

Innowacyjność badań wynika z faktu podjęcia próby szerokiej oceny zmian zawartości fosforu w środowisku glebowym na tle aktywności fosfataz w różnych aspektach działalności człowieka. Pomimo dużego postępu badań w tym zakresie nadal w literaturze naukowej brakuje jednoznacznych odpowiedzi na nurtujące pytania dotyczące relacji pomiędzy aktywnością enzymatyczną, a przemianami fosforu. Jedną z przyczyn takiego stanu wiedzy w tej problematyce może być zmienność aktywności fosfataz w czasie (zarówno w latach, jak i w trakcie sezonu wegetacyjnego roślin). W niniejszym osiągnięciu naukowym nie wykazano jednokierunkowych zmian przemian fosforu związanych z aktywnością fosfatazową. Sezonowe zmiany aktywności fosfomonoesteraz glebowych są ściśle zależne od wilgotności,

temperatury, które często nakładają się na następstwo działania czynników antropogenicznych. Obniżenie aktywności fosfataz może być spowodowane dużą zawartością w glebie nieorganicznego fosforu np. w wyniku pożaru, jak zostało przedstawione w pracy nr 6. Z drugiej jednak strony to właśnie pożar mógł wywołać obniżenie aktywności fosfatazowej, poprzez zniszczenie mikroorganizmów glebowych będących jednym z jej źródeł.

Wykazano, że aktywność fosfataz była niższa w glebie uprawnej (praca 1 i 2) w porównaniu z glebami leśnymi i użytkowanymi parkowo (prace nr 4, 5, 6, 7) również będących pod wpływem działalności człowieka. Prawdopodobnie zmniejszenie intensyfikacji użytkowania rolniczego i ekstensywne użytkowanie parkowo-leśne konserwuje naturalne właściwości gleb. Mniejszy udział procesów biologicznych w glebach uprawnych niż w glebach leśnych może mieć negatywny wpływ na dostępność fosforu. Zróżnicowany poziom aktywności fosfataz w badanych glebach użytkowanych rolniczo Pałuk związany był ze zróżnicowanym składem gatunkowym roślin (warzywa, zboże), co z kolei wskazuje na możliwość wykorzystania tych enzymów w ocenie jakości badanych gleb. Wykazano, że fosfomonoesterazy są enzymami bardzo wrażliwymi na wpływ antropopresji, jednak zmiany te są bardzo zróżnicowane. Na podstawie uzyskanych wyników aktywności fosfatazy alkalicznej i kwaśnej wyliczono wartości multiparametrycznych biochemicznych wskaźników stanu środowiska glebowego (AIP/AcP , RS , I_N), dzięki którym można było ocenić wpływ wybranych czynników antropogenicznych. Natomiast na podstawie całkowitej zawartości fosforu oraz jego wybranych form przedstawiono wartości współczynników takich jak: TOC/OP , TI , AF , DI , które przedstawiły kierunek przemian fosforu (zarówno tempo mineralizacji form organicznych, zmiany w czasie, przyswajalność, dystrybucję) w zależności od zmieniających się czynników antropogenicznych. Znajomość stopnia mineralizacji fosforu glebowego poprzez ocenę aktywności fosfomonoesteraz pozwoliłaby na możliwość zwiększenia zawartości fosforu mineralnego w glebie zanieczyszczonej metalami ciężkimi w celu ich immobilizacji. Zwiększenie aktywności fosfataz może być perspektywą istotnego wzrostu pobierania fosforu związków organicznych przez rośliny. Dynamiczne przemiany zachodzące w ekosystemach w następstwie zmieniających się warunków gospodarki wymagają nieustannego pogłębiania i dalszego rozwijania wiedzy o przemianach związków fosforu w glebie.

Literatura

- Acosta-Martínez V., Tabatabai M.A (2011): Phosphorus cycle enzymes. In: Dick RP (ed) Methods of soil enzymology. *Soil Science Society of America*. Madison, pp 161–184
- Barriuso E., Perez-Mateos M., Gonzalez-Carcedo S. (1988): Actividad urea' sica especi'fica del suelo. *Agrochimica* 32:284–294
- Błońska E. (2010). Seasonal changeability of enzymatic acyivity in soils of selected forest sites. *Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Indistria Lignaria* 9 (3-4), 5-15
- Dick W.A., Tabatabai M. A. (1984): Kinetic parameters of phosphatases in soils and organic waste materials. *Soil Science*, 137, 7-1.
- Dick W.A., Cheng L., Wang P. (2000): Soil acid alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators. *Soil Biology Biochemistry*, 32, 1915–1919.
- Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 1999/ 31/EC on the landfill of waste, 2015/0274(COD); Brussels, 2015, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=COM:2015:594:FIN&from=EN>
- Foley J.A., DeFries R., Asner G.P., Barford C, Bonan G., Carpenter S.R., Chapin S.F., Coe M.T., Daily G.C., Gibbs H., Helkowski J.H., Holloway T., Howard E.A., Kucharik C., Monfreda C, Patz J.A., Prentice C., Ramankutty N., Snyder P.K. (2005): Global Consequences of Land Use. *Science* 309 (5734), 570-574.
- Houba V.J.G., Temminghoff E.J.M., Gaikhorst G.A., Vark W. (2000): Soil analysis procedures using 0.01 M calcium chloride as extraction reagent. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31(9-10): 1299-1396.
- Kobierski M., Dąbkowska-Naskręt H. (2012): Local background concentration of heavy metals in various soil types formed from glacial till of the Inowrocławska Plain. *Journal of Elementology*, 17(4):559–585.
- Kotuby-Amacher J., Koenig R., Kitchen B. (1997): Salinity and Plant Tolerance. Utah State University Extension, Loga.
- Kucharski, J., Boros, E. i Wyszowska, J. (2009). Biochemical activity of nickel-contaminated soil. *Polish Journal Environmental Studies*, 18 (6): 1039-1044.
- Orwin K.H., Wardle D.A. (2004): New indices for quantifying the resistance and resilience of soil biota to exogenous disturbances. *Soil Biology and Biochemistr,y* 36:1907–1912.

- Qadiar M, Schubert S (2002) Degradation processes and nutrient constraints in sodic soils. *Land Degrad Develop* 13:275-294
- Pan Ch., Liu Ch., Zhao H., Wang Y. (2013): Changes of soil physico-chemical properties and enzyme activities in relation to grassland salinization. *European Journal Soil Biology*, 55:13-19.
- PN-R-04023. 1996. Analiza chemiczno-rolnicza gleby – Oznaczanie zawartości przyswajalnego fosforu w glebach mineralnych. Warszawa: Polski Komitet Normalizacji
- Safari Sinegani A.A., Sharifi Z. (2007): Changes of available phosphorus and phosphatase activity in the rhizosphere of some field and vegetation crops in the fast growth stage. *Journal of Applied Science and Environmental Management*, 11:113–118.
- Siddikee M.A., Tipayno S.C., Kim K., Chung J., Sa T. (2011): Influence of varying of salinity-sodicity stress on enzyme activities and bacterial population of Coastal soils of Yellow Sea, South Korea. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21 (4): 341–346.
- Tian J., Wei K., Condrón L.M., Chen Z., Xu Z., Chen L. (2016): Impact of land use and nutrient addition on phosphatase activities and their relationships with organic phosphorus turnover in semi-arid grassland soils. *Biology and Fertility of Soils* (on line)
- Ward J.H (1963): Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58:236-244.
- Xiao R., Bai J.H., Gao H.F., Huang L.B., Deng W. (2012): Spatial distribution of phosphorus in marsh soils of a typical land/Island water ecotone along a hydrological gradient. *Catena*, 98:96–103.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Moje zainteresowania naukowe i prace badawcze prowadzone w Zakładzie Biochemii w trakcie trwania zatrudnienia na stanowisku asystenta i adiunkta koncentrowały się ponadto wokół następujących zagadnień:

1. Wpływ roślin uprawianych w zmianowaniu i monokulturze oraz oddziaływanie wybranych systemów rolnictwa (ekologicznego i zintegrowanego) na zmiany zawartości fosforu przyswajalnego i aktywności fosfomonoesteraz.

2. Ocena zróżnicowanego nawożenia obornikiem (zróżnicowane dawki lub przechowywanym w różnych warunkach) i azotem na kształtowanie się aktywności enzymatycznej i zawartość fosforu w strefie ryzosferowej wybranych roślin uprawnych. Poszukiwanie zależności między zawartością oraz mobilnością fosforu, siarki i selenu w glebie i roślinie na tle aktywności enzymów biorących udział w przemianach tych pierwiastków (fosfataza alkaliczna i kwaśna, arylosulfataza).
3. Ocena zmian zawartości fosforu i aktywności wybranych enzymów w glebie wytworzonej na martwicy wapiennej.
4. Zmienność aktywności enzymatycznej (dehydrogenaz, katalazy, rodanazy, fosfatazy alkalicznej i kwaśnej, arylosulfatazy) i zawartości wybranych makroelementów (TOC, P, K, Mg, S-SO₄⁻²) w glebie w zasięgu oddziaływania niekontrolowanych składowisk odpadów oraz gleb antropogenicznie zasolonych.

Ad.1. Badania dotyczące zawartości fosforu oraz aktywności fosfataz w glebie spod roślin uprawianych w zmianowaniu oraz monokulturze opublikowane zostały w pracach nr: 1.1.4; 1.1.6; 1.1.8; 1.1.10. Materiał glebowy do badań pobrano z wieloletniego doświadczenia nawozowego założonego w 1948 roku w Stacji Badawczej Wydziału Rolniczego ATR (obecnie WRiB, UTP) w Mochelku niedaleko Bydgoszczy (woj. kujawsko-pomorskie). Pola Stacji Badawczej leżą na obszarze makroregionu Pojezierza Pomorskiego i mezoregionu Pojezierza Krajeńskiego. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że zawartość fosforu organicznego była większa w glebie spod żyta ozimego i grochu siewnego uprawianych w monokulturze. Uprawa tych roślin w zmianowaniu istotnie zwiększyła zawartość fosforu przyswajalnego. Natomiast w glebie spod jęczmienia jarego i rzepaku ozimego uprawianych w zmianowaniu spowodowała zwiększenie całkowitej zawartości fosforu jak i jego formy organicznej oraz przyswajalnej. Aktywność fosfomonoesteraz była istotnie wyższa w glebie z doświadczenia ze zmianowaniem upraw w porównaniu do monokultury. Zazwyczaj uprawa monokulturowa roślin powoduje większe zmiany ilościowe i jakościowe mikroorganizmów glebowych, zwiększając ilość jednych, a ograniczając liczebność innych. Ma to wpływ na obniżenie poziomu aktywności enzymatycznej gleby. Obniżenie aktywności fosfataz należy również wiązać z długością trwania monokultury.

W pracy badawczej zajmowałam się również zawartością fosforu i aktywnością fosfatazy alkalicznej i kwaśnej w glebie spod uprawy roślin fitosanitarnych wprowadzonych

po systemie monokulturowym. W roku 1999 w jednym z doświadczeń na terenie Rolniczego Zakładu Doświadczalnego w Mochełku przerwano uprawę roślin w monokulturze i wprowadzono do doświadczenia owies, jako roślinę fitosanitarną, a w roku następnym łubin wąskolistny z wsiewką z koniczyny jako rośliny wzbogacające glebę w azot i poprawiającą jej strukturę. Badania przeprowadzono w roku uprawy łubinu wąskolistnego. Po dwóch latach po zaprzestaniu uprawy monokulturowej roślin i wprowadzeniu roślin fitosanitarnych nie stwierdzono istotnych zmian aktywności zarówno fosfatazy alkalicznej, jak i kwaśnej w glebie. Jednocześnie stwierdzano niewielki wpływ wcześniejszej wieloletniej uprawy roślin w monokulturze na kształtowanie się zawartości fosforu przyswajalnego.

W glebach agrocenoz nie ma naturalnej homeostazy, ponieważ w warunkach gospodarki rolnej człowiek dąży do pozyskania maksymalnego plonu. Intensyfikacja produkcji roślinnej powoduje zwiększenie stosowanych dawek nawozów oraz chemicznych środków ochrony roślin, co z reguły prowadzi do zachwiania równowagi ekologicznej i biologicznej agroekosystemów. W związku z tym w ostatnich latach obserwuje się duże zainteresowanie środowisk rolniczych ekologicznym systemem produkcji roślinnej. Wyniki badań zostały przedstawione w dwóch pracach nr: 1.1.7 oraz 2.2.8. Do analiz zawartości fosforu przyswajalnego i aktywności fosfomonoesteraz pobrano próbki glebowe ze statycznego wieloletniego doświadczenia polowego założonego przez Słowacki Uniwersytet Rolniczy w Nitrze w Dolnej Malancie na Słowacji. Doświadczenie prowadzono w dwóch systemach produkcji roślinnej: ekologicznym (stosowano tylko obornik bydlęcy) i zintegrowanym (stosowano obornik bydlęcy + NPK). Stwierdzono, że zarówno system ekologiczny, jak i zintegrowany spowodował wzrost zawartości fosforu dostępnego dla roślin w odniesieniu do kontroli (bez nawożenia), jednak system ekologiczny spowodował zmniejszenie się zawartości P w porównaniu do systemu zintegrowanego. Uważa się, że zmiany w zawartości i fosforu w glebie pól uprawianych ekologicznie przez mniej niż 10 lat mogą być niewykrywalne, gdyż opierają się na rezerwach fosforu. Natomiast aktywność fosfataz była wyższa w glebie, gdzie zastosowano system ekologiczny. Taki kierunek zmian osiąga się to poprzez stosowanie poplonów, resztek poźniwnych, nawozów organicznych i naturalnych czy też uproszczonych zabiegów agrotechnicznych.

Ad. 2. Jednym z zagadnień wynikającym z działalności naukowej wpisującej się w tematykę badań prowadzonych w Zakładzie Biochemii Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy było określenie wpływu

zróżnicowanego nawożenia obornikiem i azotem oraz doбором roślin w zmianowaniu (zmianowanie „zubożające i „wzbogacające” glebę w materię organiczną) na zmiany zawartości fosforu oraz aktywności wybranych enzymów (fosfataz, dehydrogenaz, katalazy) w strefie ryzosferowej roślin uprawnych takich jak: kukurydza przeznaczona na kiszonkę, jęczmień jary, pszenica ozima. Wiadomo, że ryzosfera (warstwa o rozmiarach 1-5 mm wokół korzenia) podlega bezpośredniemu oddziaływaniu rośliny. W przypadku deficytu fosforu rośliny stymulują wydzielanie do gleby m.in. kwasów bursztynowego, cytrynowego, jabłkowego. Prowadzi to do zakwaszenia strefy ryzosferowej w konsekwencji do zwiększenia rozpuszczalności fosforanów nieorganicznych. Jednocześnie wydzieliny uwalniane z korzeni roślin mogą stymulować, hamować lub nie mieć wpływu na aktywność mikroorganizmów glebowych, które są źródłem enzymów glebowych. Z przeprowadzonych badań wynika, że zróżnicowane nawożenie obornikiem i azotem modyfikowało poziom aktywności badanych enzymów w ryzosferze roślin uprawnych. Najwyższą aktywność badanych oksydoreduktaz i hydrolaz stwierdzono w ryzosferze roślin nawożonych obornikiem w dawce $80 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, czemu towarzyszył istotny wzrost zawartości węgla organicznego jak i ogólnej zawartości azotu. Wyższa aktywność enzymatyczną uzyskano w ryzosferze roślin uprawianych w zmianowaniu „wzbogacającym” glebę w materię organiczną. Aktywność fosfatazy w glebie ryzosferowej zwiększa się wraz ze wzrostem niedoboru fosforu spowodowanego przez zwiększoną gęstość korzeni i zmniejszenie poziomu rozpuszczalnego fosforu nieorganicznego. Zostało to potwierdzone istotnym ujemnym współczynnikiem korelacji, pomiędzy tymi parametrami w glebie ryzosferowej jęczmienia jarego. Zastosowany w doświadczeniu azot w postaci saletry amonowej w dawkach $120 \text{ kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ lub $135 \text{ kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ spowodował istotny spadek aktywności enzymatycznej w ryzosferze roślin w porównaniu do niższych dawek N. Wyniki badań zostały opublikowane w 5 czasopismach naukowych (prace nr: 1.1.15; 1.1.21; 2.2.5; 2.2.6; 2.2.13). Nawożenie jest jednym z czynników antropogenicznych zmieniających właściwości fizykochemiczne gleby, a tym samym modyfikujących zawartość takich makroelementów jak siarka i fosfor. Wyniki badań nad zależnością między tymi pierwiastkami w glebie i roślinie przedstawiono w 8 pracach w tym 3 z listy JCR (prace: 2.1.7; 2.1.8; 2.1.13; 2.2.9; 2.2.14; 2.2.15; 2.2.19 2.2.27). Podjęte badania miały na celu m.in. określenie wpływu nawożenia kukurydzy uprawianej na kiszonkę wzrastającymi dawkami obornika i azotu na zawartość oraz mobilność fosforu i siarki w części nadziemnej i podziemnej tej rośliny. Poziomy nawożenia obornikiem różnicowały

pobranie badanych pierwiastków przez kukurydzę. Największe ich pobranie stwierdzono na obiektach, na których kukurydza była nawożona obornikiem w dawce $60 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Zwiększanie dawki azotu od 0 do $45 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ powodowało istotne zwiększenie fosforu ogółem w części nadziemnej i podziemnej kukurydzy oraz nagromadzenie siarki w części nadziemnej uprawianej rośliny. Miarą ruchliwości składników pokarmowych dla roślin jest indeks translokacji (*IT*), oceniający kierunek przemieszczania się składników pokarmowych w badanych roślinach, który zależy od gatunku rośliny i właściwości gleby. Na podstawie otrzymanych wartości zawartości fosforu i siarki ogółem w części nadziemnej i podziemnej kukurydzy obliczono indeks translokacji, określający ich mobilność roślinie. Wysoki stopień przemieszczania się fosforu z części podziemnych kukurydzy do części nadziemnych świadczył o dużej mobilności tego pierwiastka, a jego tempo było uzależnione od ilości wprowadzonego obornika. Wartość wskaźnika translokacji siarki w kukurydzy mieściła się w przedziale od 0,89 do 6,70 dla wszystkich obiektów nawozowych. Na podstawie wyników zawartości fosforu ogółem w glebie i roślinie obliczono tzw. indeks bioakumulacji (*BS*). Wartość tego współczynnika odzwierciedla zdolność roślin do pobierania składników pokarmowych z gleby. Na podstawie wyliczonego *BS* stwierdzono, że kukurydza łatwiej pobrała fosfor (najwyższe wartości *BS*) w porównaniu do pozostałych roślin uprawianych w czteroletnim zmianowaniu (kukurydza *BS* 10,15 > ziemniak *BS* 8,76 > jęczmień jary *BS* > 3,65 > pszenica ozima *BS* 2,68).

Dostępność siarki w glebie może być uwarunkowana dostępnością fosforu, ponieważ pobieranie S przez rośliny, może być nieskuteczne w warunkach niedoboru P nawet, jeśli gleba jest bogata w siarkę. Jednym z parametrów określających zależność między S i P jest wartość współczynnika *P:S*. Zmniejszenie wartości stosunku *P:S* w glebie oznacza wzrost zawartości siarki dostępnej dla roślin. Nawożenie obornikiem wpłynęło zarówno na zawartość w glebie fosforu przyswajalnego, jak i siarki siarczanowej, na co wskazuje powolny wzrost wartości stosunku *P:S*, jak i istotna dodatnia wartość współczynnika korelacji ($r= 0,73$, $P<0,05$) pomiędzy tymi dwoma parametrami. Wraz ze zwiększeniem dawki obornika wzrastała wartość stosunku *P:S*, osiągając największą wartość przy dawce $60 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (3,52). Prawdopodobnie było to związane ze zmianą pH gleby, konkurencją między jonami siarczanowymi, a produktami mineralizacji organicznych form fosforu oraz uwolnienia jonów glinu i żelaza, które reagują bardziej z siarczanami, niż z jonami fosforanowymi. Optymalna wartość, która świadczyłaby o zoptymalizowanym wykorzystaniu tych pierwiastków to 1:1.

Zwykle zawartość fosforu i siarki w glebie działa antagonistycznie na akumulację selenu (Se), dlatego w pracy nr 2.2.27 podjęto się próby określenia zależności między zawartością fitodostępnych form Se, S i P w glebie oraz ich wpływu na kumulację selenu przez pszenicę ozimą w warunkach zróżnicowanego nawożenia obornikiem i azotem. Stwierdzono istotną ujemną korelację między zawartością selenu w roślinach a zawartością siarki siarczanowej (VI) w badanej glebie. Nie stwierdzono istotnych zależności pomiędzy zawartością fosforu przyswajalnego w glebie, a selenem w roślinie. Obornik, często stosowany w znacznych ilościach może wносить do gleby nadmierne ładunki nie tylko azotu, lecz również fosforu, potasu oraz magnezu. Również Dyrektywa Rady 96/61/EEC z dnia 24 września 1996 r. z sprawie zintegrowanego zapobiegania i kontroli zanieczyszczeń zobowiązuje do stosowania najlepszych dostępnych technik (BAT – Best Available Techniques) w zakresie systemów utrzymania zwierząt, magazynowania nawozów, przetwarzania oraz stosowania nawozów naturalnych. W trakcie przechowywanym obornika zachodzi wiele przemian połączeń azotu na drodze amonifikacji, nityfikacji oraz denityfikacji. Charakter tych przemian zależy od czynników fizycznych, chemicznych i biochemicznych decydując o nawozowych właściwościach obornika. W pracy nr 2.1.5 przedstawiono wyniki badań nad zawartością fosforu przyswajalnego oraz aktywnością alkaliczną i kwaśną fosfatazy w glebie pobranej z dwóch głębokości (0-15 cm oraz 15-30 cm) spod uprawy pszenżyta ozimego nawożonego obornikiem przechowywanym w różnych warunkach: tlenowych, beztlenowych oraz tlenowych z dodatkiem wapna palonego. W doświadczeniu zastosowano również nawożenie azotem w postaci saletry amonowej w zróżnicowanych dawkach (0, 30, 60, 90, 120 kgN·ha⁻¹). Największą zawartość P uzyskano w glebie pobranej z obiektu, gdzie zastosowano obornik przechowywany w warunkach tlenowych z dodatkiem wapna palonego. Glebę tę można zakwalifikować do II klasy o wysokiej zawartości fosforu przyswajalnego. Mniejszą zawartość fosforu przyswajalnego stwierdzono w glebie z obiektów nawożonych obornikiem przechowywanym w warunkach beztlenowych. Podczas kompostowania następuje mineralizacja związków organicznych i zostają uwolnione składniki pokarmowe do gleby. Dlatego zawartość fosforu przyswajalnego w glebie z obiektów nawożonych obornikiem kompostowanym była wyższa, niż w przypadku stosowania obornika przechowywanego w warunkach beztlenowych. Dodatkowo brak wapnowania spowodował zmniejszenie intensywności uruchamiania rezerw fosforu glebowego, polegający na przejściu trudnodostępnych form fosforu w przyswajalne dla roślin. Aplikacja obornikiem

kompostowanym z dodatkiem wapna palonego spowodowała istotny wzrost aktywności fosfatazy alkalicznej. Dodatek wapna spowodował wzrost wartości pH, a co za tym idzie warunki dla aktywności tego enzymu były optymalne. Natomiast aktywność fosfatazy kwaśniej wyraźnie zmniejszyła się w porównaniu do aktywności tego enzymu w glebie z obiektów, na których zastosowano tylko obornik kompostowany. Uzyskano wysoki istotny współczynnik korelacji pomiędzy zawartością w glebie fosforu przyswajalnego, a aktywnością fosfatazy alkalicznej ($r=0,82$; $P<0,05$), co sugeruje, że enzym ten był odpowiednim parametrem charakteryzującym analizowane gleby w przeciwieństwie do aktywności fosfatazy kwaśnej. Aktywność badanych fosfataz była wyższa w glebie pobranej z głębokości 0-15 cm w porównaniu do głębokości 15-30 cm.

Ad. 3. Gleby obszaru Basenu Unisławskiego (Dolina Dolnej Wisły) wytworzone zostały na martwicy wapiennej, najprawdopodobniej na skutek odkładania się CaCO_3 z bogatych w ten składnik wód spływających z otaczającej wysoczyzny. Teren ten jest przykładem równiny biogenicznej, gdzie osady sedymentacji jeziornej, w postaci różnego rodzaju gytii i torfu, przykryte są płytkimi mineralnymi osadami rzecznyymi. Do wykonania analiz laboratoryjnych pobrano zarówno profile glebowe jak i próbki z poziomów próchnicznych gleb uprawnych Basenu Unisławskiego. Przeprowadzono analizę zawartości fosforu ogółem i przyswajalnego, aktywności fosfataz oraz dehydrogenaz i katalazy. Wyniki badań opublikowano w 3 czasopismach naukowych (w tym 1 z listy JCR) (prace: 2.1.6; 2.2.17; 2.2.18). Badana gleba wykazała wyższą aktywność fosfatazy alkalicznej o około 30% w porównaniu do aktywności fosfatazy kwaśnej. Wynika to z faktu dużej zasobności gleby w CaCO_3 , który wpływał na odczyn gleby. W analizowanych próbkach glebowych odczyn wahał się od obojętnego do zasadowego. Wyższą aktywność badanych enzymów stwierdzono w powierzchniowych poziomach gleby. Miało to związek z większą zawartością materii organicznej, jak również z obecnością znacznej ilości dżdżownic, które poprawiają odczyn, strukturę, jak i napowietrzanie gleby. Jednocześnie wytwarzane przez dżdżownice koprolity są dobrym podłożem dla rozwoju drobnoustrojów glebowych indukujących i stymulujących biosyntezę enzymów. Zmieniają przez to dostępność fosforu w glebie, poprzez przemieszczanie się tego składnika wskutek infiltracji. Zawartość fosforu przyswajalnego w badanej glebie klasyfikuje ją według kryteriów zawartych w PN-R-04023 (1996) do klasy III-IV o małej tego pierwiastka. Jest to związane z dużą ilością węglanów, modyfikujących gospodarkę fosforem poprzez tworzenie nierozpuszczalnego fosforanu wapnia $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.

Badano również wpływ zawartości wybranych metali ciężkich (Cu, Zn, Ni) na kształtowanie się aktywności dehydrogenaz oraz fosfomonoesteraz. Uzyskane istotne ujemne wartości współczynników korelacji pomiędzy zawartością fitodostępnych form metali ciężkich, a aktywnością enzymów pozwalają wnioskować o ich hamującym wpływie.

Ad. 4 Kolejnym kierunkiem badań, który realizowałam w badaniach zespołowych był wpływ oddziaływania niekontrolowanych składowisk odpadów na stan ekochemiczny gleb oraz możliwość dalszego wykorzystania odpadu komunalnego o kodzie 20 03 03 (tzw. „zmiotki uliczne”). Wyniki badań ukazały się w 7 artykułach w tym w 3 z listy JCR (prace nr 2.1.11; 2.1.12; 2.1.14; 2.2.25; 2.2.29; 2.2.31; 2.2.32) Odpady, które dostają się na składowiska to mieszanina zróżnicowanych komponentów, jak substancja organiczna, tworzywo sztuczne, szkło, metal, sprzęt AGD resztki farb, lakierów, elektrolitów, zużyte baterie i akumulatory, przeterminowane leki, środki ochrony roślin lub opakowania po nich. Niestety coraz częściej możemy zauważyć tzw. „dzikie wysypiska śmieci” w miejscach do tego nieprzeznaczonych: w sąsiedztwie lasów, pól, strumieni, rzek, jezior, peryferiach miast i innych ekologicznych rejonach, powodując zanieczyszczenie środowiska glebowego poprzez zmiany właściwości biologicznych i fizykochemicznych. W badaniach własnych gleb spod niekontrolowanych składowisk zaobserwowano zróżnicowaną aktywność biologiczną (mikrobiologiczną i enzymatyczną). Zmiany te były wywołane niejednorodnym składem odpadów oraz czasem ich zalegania. Stwierdzono zwiększenie aktywności biochemicznej w przypadku odpadów pochodzenia organicznego oraz brak ujemnego wpływu składowisk na wybrane właściwości gleby pobranej w odległości 10 m i 100 m od ich krawędzi. Uzyskane wyniki korelacji wskazują, że analiza właściwości fizykochemicznych gleby, podobnie jak aktywność enzymatyczna okazały się czułym wskaźnikiem zmian zachodzących w środowisku glebowych. W pracy nr 2.2.31 badano właściwości fizykochemiczne i enzymatyczne hałdy odpadu komunalnego zebranego z oczyszczania ulic miasta i gminy Bydgoszcz. Zawartość fosforu przyswajalnego była tam bardzo wysoka, dlatego można byłoby wykorzystać badany odpad, jako źródło tego pierwiastka dla roślin. Jednak ze względu na podwyższone zawartości metali ciężkich (Cu, Pb, Ni, Cr, Mn, Fe) odpad można uznać, jako zanieczyszczony tymi pierwiastkami przy różnym stopniu skażenia. Również niska zawartość próchnicy w badanym odpadzie stanowiącym „zmiotki uliczne” nie stanowi źródła materii organicznej, przez to również jego aktywność enzymatyczna była niska, co ma związek ze słabym uwalnianiem i udostępnianiem substancji mineralnych roślinom. Wstępne badania wybranych właściwości

fizykochemicznych wskazują na potrzebę podjęcia dalszych kompleksowych badań w celu zagospodarowania analizowanego odpadu, jako "gruntu antropogenicznego", czego efektem było przedstawienie wyników badań na XIII Międzynarodowy Sympozjum „Mikroelementy w rolnictwie i środowisku”, Kudowa-Zdrój, 21-24 czerwca 2016: *Ocena parametrów fizykochemicznych i biochemicznych odpadu zebranego z mechanicznego czyszczenia ulic.* (Bartkowiak A., Dąbkowska-Naskręt H., **Lemanowicz J.**, Siwik-Ziomek A.).

Wśród wielu czynników degradujących glebę, zasolenie uważa się za najsilniej oddziałujące. Gleby zasolone powstają pod wpływem nadmiernej koncentracji łatwo rozpuszczalnych soli zawierających kationy (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) oraz aniony (Cl^- , SO_4^{2-}). Źródła zasolenia gleb w Polsce mogą być zarówno naturalne (wody morskie i mineralne) oraz antropogeniczne (odpady, ścieki oraz pyły przemysłowe, nawozy mineralne, wody kopalniane). Celem podjętych badań była ocena zawartości wybranych przyswajalnych makroelementów (P, K, Mg, S- SO_4^{2-}) oraz aktywności enzymatycznej (dehydrogenaz, katalazy, rodanazy, fosfatazy kwaśna i alkaliczna, arylosulfatazy) czarnej ziemi będącej pod wpływem oddziaływania Inowrocławskich Zakładów Chemicznych Soda Mątwy. Glebę pobrano z dwóch głębokości (0-20 cm i 20-40 cm) z ośmiu stanowisk znajdujących się na terenie zakładu oraz punktu kontrolnego. Stanowiska te różniły się sposobem użytkowania np.: miejsca do roku 2000 zalewane szlamem posodowym, w chwili obecnej czekają na rekultywację; miejsca w pobliżu „stawu” klarująco-schładzającego, gdzie wytrącają się węglany jako odpad; obiekty gdzie zakończyła się rekultywacja techniczna i agrotechniczna oraz miejsca w pobliżu miejskiego wysypiska odpadów, oczyszczalni ścieków oraz zakładów sodowych. Próby pobrano również z pola uprawnego sąsiadującego o zakładem. Na podstawie uzyskanych wartości EC (powyżej $2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) stwierdzono, że badana gleba była bardzo mocno zasolona, co wpłynęło na zmiany zawartości i aktywności badanych parametrów glebowych. Odnotowano istotny wpływ miejsc pobierania próbek glebowych na zmiany fizykochemiczne i biochemiczne gleb. Wstępne wyniki badań zostały przedstawione na konferencjach: XV Międzynarodowa Konferencja Polskiego Towarzystwa Magnezologicznego im. Prof. Juliana Aleksandrowicza „Magnez-Pierwiastkiem Życia”, Bydgoszcz, 19-20 września 2014: *Zmienność enzymatyczna czarnych ziem w zasięgu oddziaływania Zakładów Sodowych na tle wybranych parametrów fizykochemicznych* (**Lemanowicz J.**, Siwik-Ziomek A., Koper J. Polkowska M.) oraz Kongres Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego „Zasoby glebowe a zrównoważony rozwój” Wrocław, 31.08-03.09.2015 *Wpływ oddziaływania zakładów sodowych na aktywność*

wybranych hydrolaz w glebie (**Lemanowicz J.**, Siwik-Ziomek A., Koper J., Polkowska M.). Nieodpowiednia gospodarka zakładów sodowych lub brak programu ochrony otaczającego środowiska, może przyczynić się do jego degradacji. Konieczny jest zatem długotrwały monitoring gleb pod względem fizykochemicznym, biochemicznym w celu zminimalizowania wynikających zagrożeń.

Badania podjęte w latach 2001- 2004 stanowią obszerną część badań własnych, których uzyskane wyniki stanowiły podstawę dla opracowania rozprawy doktorskiej pt.: „Zawartość wybranych frakcji fosforu oraz aktywność fosfatazowa w układzie gleba – roślina pod wpływem nawożenia obornikiem i azotem mineralnym”, która została wykonana pod kierunkiem prof. dr hab. Jana Kopera. Celem tych badań było określenie optymalnej dawki obornika bydlęcego (0, 20, 40, 60, 80 t·ha⁻¹) oraz dawki azotu w postaci saletry amonowej (dawki N₀, N₁, N₂, N₃, gdzie N₂ i N₃ były odpowiednimi wielokrotnościami dawki N₁ w zależności od uprawianej rośliny) na zawartość fosforu oraz aktywność alkalicznej i kwaśnej fosfatazy w glebie i roślinach uprawianych w 4-letnim zmianowaniu. Gleba i rośliny zostały pobrane z terenu RZD w Grabowie n/Wisłą należącego do Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach. Rośliny uprawiane były w tzw. zmianowaniu „zubożającym” glebę w materię organiczną (ziemniak, pszenica ozima, jęczmień jary, kukurydza). Stwierdzono, że wieloletnie nawożenie naturalne i azotem determinowało zmiany zawartości badanych form fosforu w glebie oraz roślinach, jak również aktywności fosfataz. Największą zawartość P uzyskano w glebie spod roślin nawożonych obornikiem w dawce 60 t·ha⁻¹ i azotem w dawce N₂. Zmiany te również były zróżnicowane w zależności od terminu pobierania prób glebowych i fazy rozwojowej uprawianych roślin.

Dzięki współpracy z dr hab. Anną Orczewska z Katedry Ekologii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach podjęte zostały badania dotyczące zawartości fosforu ogółem, mineralnego, organicznego i przyswajalnego oraz aktywności fosfatazy kwaśnej w glebie pod olszą czarną (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), różniącą się wcześniejszym sposobem użytkowania (praca na liście JCR: 2.1.2). Hipoteza badawcza zakładała, że olsza czarna ma aktywizujący wpływ na aktywność fosfataz. Jednocześnie uważa się, że gleby które wcześniej użytkowano rolniczo (wtórne lasy olszowe), zawierają więcej fosforu przyswajalnego w porównaniu do tzw. „starych lasów” (pozostałości lasów pierwotnych lub wtórnych, trwające w krajobrazie od dawna). Dlatego podwyższona zawartość fosforu na gruntach porolnych

wykorzystywana jest, jako tzw. „wskaźnik porolności”. Olsza czarna dzięki symbiozie z bakteriami wiążącymi azot (*Schinzia alni*) korzysta z wolnego azotu atmosferycznego, wpływając jednocześnie na obieg fosforu. Zależność między zawartością azotu i fosforu w glebach jest zaliczana do najważniejszych interakcji z innymi składnikami pokarmowymi. Jednocześnie osobniki olszy są wrażliwe na deficyt fosforu w glebie. W pracy badano gleby lasów o zachowanej ponad 230 lat ciągłości siedliska leśnego oraz lasy porolne w różnych przedziałach wiekowych: 11 - 20 lat, 21 - 40 lat oraz 41 - 60 lat. Stwierdzono, że olsza może mieć stymulujący wpływ na aktywność fosfatazy, enzymu odpowiedzialnego za udostępnienie roślinom fosforu. W glebie starych lasów olszowych zawartość fosforu przyswajalnego oraz aktywność fosfatazy kwaśnej były wyższe w porównaniu do lasów wtórnych. Wzrost tych parametrów uzyskano również w glebach lasów porolnych z rosnącym wiekiem drzewostanów.

W pracy badawczej nr 2.1.10 (praca ukazała się w czasopiśmie z listy JCR) przedstawiono wyniki badań zmienności przestrzennej fosforu ogółem i jego wybranych form (mineralnej, organicznej i przyswajalnej) na tle aktywności fosfataz oraz wybranych właściwości fizyko-chemicznych z wykorzystaniem metod geostatystycznych. Wyniki tych badań zostały przedstawione w pracy: Piotrowska-Długosz A., Lemanowicz J., Długosz J., Spychaj-Fabisiak E., Gozdowski D., Rybacki M. (2016): *Spatio-temporal variations of soil properties in a plot scale: a case study of soil phosphorus forms and related enzymes*. Journal Soils Sediments, 16, 62-76. Badania te były kontynuowane w ramach projektu badawczego MNiSW PB 1441/B/P01/2008/35 realizowanego w latach 2007-2010. Kierownikiem projektu była dr hab. inż. A. Piotrowska-Długosz prof. nadz. UTP. Gleba do badań została pobrana z powierzchni 0,4 ha na obszarze zlokalizowanym w obrębie pola uprawnego (80 ha) we wsi Orlinek położonej w pobliżu miejscowości Mrocza (woj. kujawsko-pomorskie). Wybrana powierzchnia stanowiła wycinek pola uprawnego z pszenicą ozimą. Próbkę gleby pobrano z 50 punktów z warstwy powierzchniowej (0-20 cm) gleby płowej w kwietniu i sierpniu 2007 roku. Uzyskane wyniki zostały opracowane przy pomocy podstawowych metod statystycznych, natomiast dla przedstawienia zmienności przestrzennej zastosowano metody geostatystyczne. Stwierdzono, że aktywność alkalicznej i kwaśnej fosfatazy była wyższa wiosną (kwiecień) niż latem (sierpień), podczas gdy zawartość fosforu ogółem i mineralnego były istotnie mniejsze w kwietniu. Natomiast zawartość organicznej i przyswajalnej formy fosforu nie były istotnie zróżnicowane pod względem terminu pobierania próbek. W celu

określenia korelacji przestrzennej badanych cech wyliczono indeks Morana ($P < 0,05$), mieszczący się w zakresie od 0,004 do 0,544. Większość badanych zmiennych wykazywała istotną, dodatnią autokorelację przestrzenną. Tylko w przypadku zawartości P ogółem i organicznego indeks Morana był ujemny wskazując, że wartości danej cechy występujące obok siebie były zróżnicowane. Zmienność przestrzenną badanych parametrów, które wykazywały autokorelację przestrzenną przedstawiono za pomocą sferycznych, liniowych lub mieszanych (sferyczno-liniowych) modeli semivariogramów z udziałem zmienności losowej (efekt samorodka). Jedynie zawartość frakcji iłu wykazywała całkowitą zmienność losową (czysty efekt samorodka). Wykazano, że tylko 11,2 i 8,9% zmienności zawartości P przyswajalnego oraz 7,7 i 9,6% zawartości C organicznego badanych w glebie pobranej w obu terminach, a także 7,2% aktywności fosfatazy kwaśnej (kwiecień) było wynikiem zmienności losowej a około 90% ich zmienności zależało od zmienności strukturalnej. Zmienność przestrzenną badanych cech w zależności od procentowego udziału zmienności losowej w zmienności całkowitej (sill) podzielono na trzy klasy. Zawartość P przyswajalnego oraz węgla organicznego w obu badanych terminach, a także aktywność fosfatazy kwaśnej w próbkach gleby badanej w kwietniu mieściła się w wysokiej klasie zmienności (wariancja samorodka $< 25\%$). Zawartość fosforu nieorganicznego oznaczoną w kwietniu zaliczono do niskiej klasy zmienności (wariancja samorodka $> 75\%$), natomiast inne badane właściwości gleby należały do średniej klasy zmienności (efekt samorodka między 25% a 75%). Zakresy autokorelacji badanych zmiennych wynosiły od 16,5 do 50,0 m. Mapy przestrzennego rozmieszczenia wyników zawartości P nieorganicznego i C organicznego oraz aktywności fosfatazy kwaśnej wykazały, że zmienność przestrzenna była zróżnicowana w zależności od terminu pobrania próbek glebowych.

6. Zestawienie dorobku naukowego z uwzględnieniem danych naukometrycznych

Wyniki badań własnych opublikowałam w postaci prac naukowych oraz prezentacji podczas konferencji. Były one prezentowane w formie posterów lub prezentacji ustnych na **35** konferencjach i sympozjach naukowych (**17** międzynarodowych: Niemcy, Austria, Słowacja, Polska oraz w **18** krajowych).

Mój dotychczasowy dorobek publikacyjny obejmuje:

- **78** oryginalnych prac (**23** prace przed doktoratem, **55** prac po doktoracie) w recenzowanych czasopismach naukowych, w tym: **21** prac z listy JCR (**11** prac w 7 czasopismach zagranicznych z listy JCR oraz **10** prac w 7 krajowych czasopismach z listy JCR) oraz **57** prac w czasopismach spoza JCR (**19** w języku angielskim oraz **38** w języku polskim)
- **2** rozdziały w monografii;
- **2** prace popularno-naukowe.
- **47** streszczenia i komunikaty umieszczone w materiałach konferencyjnych.

W **5** pracach jestem jedynym, natomiast w **29** pracach pierwszym autorem.

Oryginalne prace twórcze opublikowałam w **36** czasopismach naukowych i **2** rozdziałach w monografii. Suma punktów za publikacje wg ujednocionej listy MNiSW z 23.12.2015 r. wynosi **870** (w tym **143** dla prac stanowiących osiągnięcie naukowe i **727** dla pozostałych prac).

Sumaryczny Impact Factor dla **21** prac opublikowanych w czasopismach indeksowanych w Web of Science wynosi **20,625** (wszystkie opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora) zgodnie z rokiem opublikowania, w tym **7,187** dla 6 publikacji włączonych do cyklu prac powiązanych tematycznie, stanowiących osiągnięcie naukowe i **13,438** dla pozostałych publikacji. Publikacjom tym łącznie odpowiada **403** pkt MNiSW.

Liczba cytowań publikacji wg bazy ISI Web of Science (bez autocytowań) wynosi **14**. Indeks Hirscha dla opublikowanych prac wynosi **3**.

Zestawienie liczbowe dorobku naukowego (z uwzględnieniem prac dokumentujących osiągnięcie naukowe^a):

Lp.	Nazwa czasopisma	Liczba prac	IF ^b	IF ^c	Punkty MNiSW ^d	Suma punktów	Numer publikacji ^e
1	Journal Soils and Sediments	1	2,139	2,598	30	30	2.1.10
2	Enviromental Earth Science	3	1,765	2,010	25	75	4; 7; 2.1.12
3	Plant Soil Enviroment	2	1,113	1,410	25	50	2; 3
4	International Journal of Environmental Research	2	1,100	1,130	15	30	2.1.6 2.1.14
5	International Agrophysic	2	1,117	1,142	25	50	2.1.7; 2.1.15
6	Zemdirbyste-Agriculture	1	0,420	0,469	20	20	2.1.8
7	Polish Journal Environmental Studies	1	0,871	0,888	15	15	2.1.5
8	Archives of Environmental Protection	1	0,901	0,619	15	15	1
9	Sylvan	1	0,410	0,321	15	15	2.1.11
10	Acta Societatis Botanicorum Poloniae	1	0,360	0,925	15	15	2.1.2
11	Journal of Elementology	4	1-/ 2-0,643 1-0,719	0,569	15	9 30 15	1.1.15; 2.1.3; 2.1.4, 2.1.13
12	Ecological Chemistry and Engineering S	1	0,294		13	13	2.1.1
13	Eurasian Soil Science	1	0,740	0,680	15	15	2.1.9
14	Baltic Forestry	1	0,530	0,382	15	15	6
15	Forest Research Papers	1			13	13	5
16	Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych	6			13	78	1.1.18; 1.1.19; 2.2.6; 2.2.10; 2.2.13; 2.2.27
17	Roczniki Gleboznawcze	4			13	52	1.1.13; 2.2.1; 2.2.5; 2.2.12
18	Polish Journal Soil Science	2			14	28	2.2.9; 2.2.18
19	Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska	5			10	50	2.2.24; 2.2.25 2.2.28; 2.2.32; 2.2.33
20	Ekologia i Technika	5			3	15	2.2.8; 2.2.19; 2.2.14; 2.2.26; 2.2.30
21	Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej Chemia	5			10	50	1.1.3; 1.1.9; 1.1.10; 2.2.2; 2.2.3
22	Ecological Chemistry and Engineering A	4			11	44	2.2.11; 2.2.21; 2.2.22; 2.2.23
23	Proceedings of ECOpole	2			9	18	1.1.23; 2.2.20
24	Nauka Przyroda Technologie	1			9	9	2.2.17
25	Polish Journal of Agronomy	1			10	10	2.2.16
26	Woda-Srodowisko-Obszary Wiejskie	1			10	10	2.2.7
27	Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych	2			12	24	1.1.22; 2.2.4
28	Fragmenta Agronomica	1			12	12	1.1.14
29	Fertilizers and Fertilization	1			-	-	1.1.6
30	Acta Agrophysica	1			14	14	1.1.5
31	Prace Komisji Nauk Rolniczych i Biologicznych BTN	1			-	-	1.1.8
32	Journal of Research Applications Agricultural Engineering	1			12	12	2.2.15
33	Annales UMCS, E,	1			9	9	1.1.12
34	Humic Substances in Ecosystems	4			-	-	1.1.7; 1.1.16; 1.1.20; 1.1.21
35	Macro and Trace Elements, Mengen- und Spurenelemente	5			-	-	1.1.1; 1.1.2; 1.1.4; 1.1.11; 1.1.17
36	Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska	2			-	-	2.2.29; 2.2.31
Inne publikacje							
37	Rozdziały w monografii w języku angielskim	2			5	10	2.3.1; 2.3.2
38	Popularno-naukowe (<i>Ekonatura</i>)	2			-	-	3.1; 3.2
RAZEM		81 (7)	20,625 (7,187)	19,771 (7,319)		870 (143)	

^a Liczby wyróżnione pogrubioną czcionką dotyczą prac dokumentujących osiągnięcie naukowe

^b IF z ISI Journal Citations Reports w roku ukazania się pracy

^c IF – 5-letni IF z ISI Journal Citations Reports

^d Liczba punktów wg ujednoliconego wykazu czasopism punktowanych MNiSW z 23.12.2015 r.

^e Numer publikacji w wykazie opublikowanych prac (załącznik 1)



Joanna Lemanowicz