

dr inż. Katarzyna Sołek-Podwika
Zakład Gleboznawstwa i Ochrony Gleb
Instytut Gleboznawstwa i Agrofizyki
Wydział Rolniczo-Ekonomiczny
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie
Al. Mickiewicza 21

Załącznik 2

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

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

1. **Imię i nazwisko** Katarzyna Sołek-Podwika
2. **Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania**

magister inżynier ogrodnictwa, Akademia Rolnicza im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Ogrodniczy, 1993 r.

Tytuł pracy: Oddziaływanie zbiorowisk grzybów środowiska glebowego spod uprawy ziemniaka na *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl.

Opiekun naukowy: prof. dr hab. Halina Kurzawińska

Recenzent: prof. dr hab. Jan Kućmierz

doktor nauk rolniczych z zakresu agronomii, specjalność naukowa: gleboznawstwo, Akademia Rolnicza im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Rolniczo-Ekonomiczny, 2003 r.

Tytuł rozprawy: Wpływ eksploatacji siarki na właściwości gleb w rejonie byłej kopalni siarki „Grzybów”

Promotor: prof. dr hab. Joanna Niemyska-Lukaszuk

Recenzenci: prof. dr hab. Stefan Skiba

prof. dr hab. Piotr Skłodowski

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych

1995 - 2005 asystent naukowo-dydaktyczny, Zakład Gleboznawstwa, Wydział Rolniczy, Akademia Rolnicza im. Hugona Kołłątaja w Krakowie,

2005- obecnie adiunkt naukowo-dydaktyczny, Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb (obecnie Zakład Gleboznawstwa i Ochrony Gleb, Instytut Gleboznawstwa i Agrofizyki), Wydział Rolniczo-Ekonomiczny, Akademia Rolnicza im. Hugona Kołłątaja w Krakowie (obecnie Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie)

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm.):

a) tytuł osiągnięcia naukowego:

Jako osiągnięcie wskazuję:

dzieło opublikowane w całości pt.:

Wpływ wieloletniej uprawy wierzby krzewiastej (*Salix viminalis* L.) na właściwości fizyczne, fizykochemiczne i chemiczne oraz aktywność enzymatyczną gleb ornych

Autor: Katarzyna Sołek-Podwika

Pracę opiniowali:

Prof. dr hab. Anna Wójcikowska-Kapusta
Zakład Rekultywacji Gleb i Gospodarki Odpadami
Instytut Gleboznawstwa, Inżynierii i Kształtowania Środowiska
Wydział Agrobiotechnologii
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. kr. St. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin

dr hab. Danuta Czępińska-Kamińska prof. nadzw.
Katedra Nauk o Środowisku Glebowym,
Wydział Rolnictwa i Biologii
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
ul. Nowoursynowska 159, budynek 37, 02-776 Warszawa

Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie

Rok wydania 2019 Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, 552, no. 429, pp.160.

b) omówienie celu naukowego ww. pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Wprowadzenie i cel badań

Od końca XX w. wiele uwagi poświęca się problemom zmian klimatu, które zachodzą pod wpływem działalności człowieka. W celu redukcji emisji szkodliwych gazów, w coraz większym stopniu wykorzystuje się energię z odnawialnych źródeł (OZE), które są doskonałą alternatywą dla tradycyjnych i nieodnawialnych źródeł. Do OZE zalicza się stałą biomasę pochodzącą z plantacji roślin uprawianych na cele energetyczne.

Z uwagi na wzrost zainteresowania uprawą tych roślin, należy pamiętać o tym, że wykorzystanie energii z OZE ma chronić środowisko, a długoletnia uprawa roślin energetycznych na gruntach rolnych powinna uwzględnić ochronę ich jakości. W przedstawionej monografii postawiono hipotezę, że uprawa wierzby krzewiastej (*Salix*

viminalis), na gruntach ornym powoduje poprawę lub co najmniej utrzymanie dotychczasowej jakości gleb.

Celem badań była ocena wpływu wieku plantacji *S. viminalis* na właściwości fizyczne, chemiczne i fizykochemiczne oraz biologiczne gleb, decydujące o ich jakości. Cel ten został zrealizowany poprzez określenie właściwości gleb rolnych przekształconych przez jednogatunkowe uprawy wierzby krzewiastej oraz ich porównanie z właściwościami gleb pozostających w tym czasie w tradycyjnym użytkowaniu ornym. Ocenę jakości gleb przeprowadzono na podstawie porównania oznaczonych parametrów glebowych (odczyn, skład kompleksu sorpcyjnego, zawartość węgla organicznego i azotu ogółem oraz składników przyswajalnych, skład frakcyjny połączeń próchnicznych, aktywność: dehydrogenaz, ureazy, inwertazy) oraz obliczonych syntetycznych wskaźników, takich jak MGea (enzymatyczny wskaźnik jakości gleb), SEF (zmodyfikowany współczynnik oceny jakości gleby) i SQI (indeks jakości gleby). Wykonane badania pozwoliły określić, w jakim stopniu różnowiekowe monokultury wierzby krzewiastej wpływają na zawartość i jakość związków organicznych, właściwości sorpcyjne, udostępnianie składników odżywczych, aktywność enzymatyczną oraz jakość gleb. Pozwoliły także na próbę oszacowania aktualnego stanu oraz kierunku przekształceń środowiska glebowego w wyniku zmiany użytkowania.

Material i metody badań

Do badań wytypowano 12 obiektów, a w każdym z nich plantację *S. viminalis* oraz występujące w jej bezpośrednim sąsiedztwie pole orne. Obiekty zostały wybrane tak, aby różnie użytkowane gleby spełniały możliwie najwięcej przyjętych kryteriów: te same warunki fizjograficzne, ten sam rodzaj i typ gleby oraz zbliżone uziarnienie i morfologia profilu. Założono, że właściwości gleb przed zmianą użytkowania były zbliżone, a obecne zróżnicowanie ich właściwości jest wynikiem różnego sposobu użytkowania. Na podstawie rozmów z właścicielami gruntów uzyskano informacje o wieku plantacji *S. viminalis*, wykonanych zbiorach biomasy wierzbowej oraz zmianowaniu i nawożeniu przeprowadzonym zarówno na plantacjach wierzby, jak i polach ornym. Wiek plantacji *S. viminalis* wynosił od 4 do 14 lat. Wszystkie uprawy *S. viminalis* zostały utworzone na gruntach ornym według tego samego schematu, czyli zrzesy wierzby sadzono w rozstawie rzędów 70 cm i odległości w rzędzie 35 cm. Po pierwszym roku wegetacji rośliny ścięto w celu zwiększenia liczby pędów wyrastających z karpny. Dalej zbiór biomasy wierzby odbywał się w różnych latach. Nawożenie mineralne zostało wykonane tylko na dwóch plantacjach *S. viminalis*. Na polach

ornych dominowała uprawa zbóż (głównie pszenicy) oraz ziemniaków. Stosowane było nawożenie mineralne, mineralne i naturalne lub nawozy zielone.

W każdym obiekcie wykonano po 2 profile glebowe, po jednym na plantacji wierzby i polu ornym. Próbkę do badań pobierano ze wszystkich wydzielonych poziomów glebowych do głębokości 150 cm. W celu precyzyjnego przeanalizowania zmian właściwości gleb orných, spowodowanych uprawą wierzby, z poziomów powierzchniowych gleb pól i plantacji *S. viminalis* pobrano do badań próbki z 4 warstw: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm i 15 cm do naturalnej granicy poziomu. Oprócz punktowych badań terenowych (profile glebowe) pobrano świdrem 2 próby zbiorcze utworzone z pojedynczych prób pobranych z wszystkich wydzielonych warstw i poziomów. Każda z nich powstała przez zmieszanie 4 pojedynczych prób glebowych. Dodatkowo z poziomu powierzchniowego i podpowierzchniowego, (występującego bezpośrednio pod poziomem powierzchniowym) w celu oznaczenia gęstości objętościowej gleby, pobrano do cylindrów o objętości 100 cm³ materiał o nienaruszonej strukturze (5 powtórzeń). Ze względu na sezonowe zmiany aktywności enzymatycznej próbki gleb do oznaczenia aktywności dehydrogenaz, ureazy i inwertazy z wydzielonych warstw poziomu powierzchniowego oraz z poziomu podpowierzchniowego, pobrano dwukrotnie, wiosną i jesienią.

We wszystkich próbkach pobranych z wydzielonych warstw poziomu powierzchniowego i kolejnych poziomów oznaczono: pH, kwasowość hydrolityczną (Kh), zawartość węgla organicznego (Corg.), azotu ogółem (Nog.), zasadowych kationów wymiennych (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ i Na⁺) oraz przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu. Dodatkowo w wydzielonych warstwach poziomu powierzchniowego i w poziomie podpowierzchniowym oznaczono skład frakcyjny połączeń próchnicznych oraz aktywność enzymatyczną - dehydrogenaz (DHA), ureazy (URE) i inwertazy (INW). W poziomach powierzchniowych i podpowierzchniowych oznaczono także gęstość objętościową gleby (ρ_c). We wszystkich wydzielonych poziomach oznaczono skład granulometryczny gleby.

Na podstawie wyników przeprowadzonych oznaczeń dla warstwy 0-10 cm, poziomu powierzchniowego oraz łącznie rozpatrywanych 2 poziomów, powierzchniowego i podpowierzchniowego obliczono zasoby Corg. (Z_C), Nog. (Z_N), MGea, SEF i SQI. Wpływ plantacji *S. viminalis* na parametry gleb orných wyrażono w formie wskaźnika zmian parametrów gleby – Wz, glebami referencyjnymi były gleby orne pozostające w tradycyjnym użytkowaniu. Do prezentowania średniej wartości poszczególnych parametrów obliczono średnią ważoną.

Wyniki oznaczeń zostały opracowane przy zastosowaniu analizy statystycznej. Obliczono dwa współczynniki korelacji: Pearsona (r_p) i Spearmana (r_s). Współczynnik korelacji Pearsona (r_p) zastosowano wówczas, gdy oba analizowane parametry miały charakter ilościowy. Natomiast w celu wyznaczenia związku między wiekiem plantacji *S. viminalis*, a poszczególnymi właściwościami gleby zastosowano współczynnik korelacji Spearmana (r_s) z racji faktu, iż wiek plantacji wierzby był zmienną porządkową. Przy obliczaniu SQI do wyboru parametrów gleby oraz ich współczynników wagowych, wykorzystano analizę składowych głównych (PCA). W pracy wykonano cztery analizy PCA. W PCA I uwzględniono tylko właściwości gleb, a w kolejnych PCA II-III-IV dodatkowo wartości wskaźnika zmian (W_z) właściwości gleb, wiek plantacji *S. viminalis*, liczbę zbiorów biomasy wierzby oraz nawożenie stosowane na polach ornych i plantacji wierzby. Zależności między nawożeniem (dawką obornika), a określonymi właściwościami gleb zostały ujęte syntetycznie w postaci równań regresji wielokrotnej wyprowadzonych przy użyciu regresji krokowej postępującej.

W celu znalezienia podobieństwa pomiędzy poszczególnymi analizowanymi glebami *S. viminalis* zastosowano hierarchiczną analizę skupień metodą aglomeracji Warda.

Ważniejsze wyniki badań

Skład granulometryczny i gęstość objętościowa gleby

Według kategorii ciężkości agrotechnicznej podanej przez PTG [2009] badane gleby należały głównie do gleb ciężkich (69%) i średnich (28%). W częściach ziemistych najczęściej dominowała frakcja pyłu, której udział często wynosił powyżej 50%, niekiedy przekraczał 80%. W glebach brak było szkieletu.

Gęstość objętościowa, była mniejsza w glebach plantacji wierzby niż w referencyjnych glebach ornych. W poziomach powierzchniowych W_z wynosił od 6 do 10 %, a w poziomach podpowierzchniowych od 1 do 9 %.

Zawartość Corg. i Nog. oraz ich zasoby i skład frakcyjny połączeń próchnicznych

Średnia ważona zawartość Corg. w poziomach powierzchniowych gleb ornych różnie użytkowanych (plantacji *S. viminalis* i pól ornych) z reguły mieściła się w zakresie od 11,10 do 18,18 $g \cdot kg^{-1}$, co według kryteriów przyjętych w Unii Europejskiej pozwoliło sklasyfikować je jako gleby o niskiej zawartości. Powyżej 20,00 $g \cdot kg^{-1}$ Corg. było tylko w glebie jednej plantacji wierzby, którą zaliczono do gleb o średniej zawartości. Bardzo niską, poniżej 11,00 $g \cdot kg^{-1}$ zawartością Corg., charakteryzowały się gleby 3 pól ornych. W wyniku

zmiany użytkowania zawartość Corg. w tych glebach zwiększyła się i wynosiła około 13 g·kg⁻¹.

Zasoby Corg. (Z_C) w różnie użytkowanych glebach obliczono dla warstwy 0-10 cm, poziomu powierzchniowego i łącznie rozpatrywanych 2 poziomów, powierzchniowego i podpowierzchniowego. W wyniku zmiany użytkowania z reguły mniejsze Z_C w warstwie i poziomach stwierdzono w glebach najmłodszych, 4-6-letnich plantacji. W glebach starszych, co najmniej 7-letnich plantacji wierzby Z_C były już zazwyczaj większe niż w referencyjnych glebach ornych. Na większe zasoby Corg. w poziomie powierzchniowym oraz łącznie rozpatrywanych poziomach powierzchniowych i podpowierzchniowych miała wpływ wysoka akumulacja tego składnika w powierzchniowej, dziesięciocentymetrowej warstwie.

Pomiędzy wartościami wskaźnika zmian (W_z) dla zasobów Corg. i wieku plantacji *S. viminalis* stwierdzono statystycznie istotną dodatnią wysoką korelację, która dla warstwy 0-10 cm była opisana największym współczynnikiem korelacji Spearmana $r_s = 0,74$ przy poziomie istotności $\alpha < 0,05$. Dla poziomów powierzchniowych i łącznie rozpatrywanych poziomów, powierzchniowego i podpowierzchniowego, wynosiła odpowiednio $r_s = 0,66$ oraz $r_s = 0,68$ przy $\alpha < 0,05$.

Zasoby Nog. (Z_N) obliczono w tych samych warstwach i poziomach, co Z_C . W glebach najmłodszych 4-6-letnich plantacji wierzby, w których stwierdzono mniejsze Z_C w stosunku do gleb referencyjnych występowały z reguły mniejsze Z_N . W_z obliczony dla Z_N był często większy niż dla Z_C . W glebach plantacji *S. viminalis* pozostałych obiektów Z_N w warstwie 0-10 cm były z reguły większe niż w glebach referencyjnych. Gdy W_z w tej warstwie wynosił poniżej 15% to w poziomach powierzchniowych i łącznie rozpatrywanych poziomach powierzchniowych i podpowierzchniowych zasoby tego pierwiastka były zbliżone lub mniejsze niż w analogicznych poziomach gleb ornych.

Na większe zasoby węgla (Z_C) i azotu (Z_N) w glebach plantacji miała wpływ gęstość objętościowa (ρ_c), która była mniejsza w tych glebach niż w referencyjnych glebach ornych.

W różnie użytkowanych glebach poszczególnych obiektów warstwy poziomów powierzchniowych charakteryzowały się mniejszym zaawansowaniem procesów humifikacji i udziałem węgla humin (Hu) oraz niższym stopniem humifikacji (Hd) niż poziomy podpowierzchniowe. W składzie połączeń próchnicznych we wszystkich warstwach i poziomach gleb niezależnie od sposobu użytkowania dominował węgiel humin (Hu) nad zawartością węgla innych frakcji. Procentowy udział C humin w całkowitej zawartości węgla w glebach plantacji *S. viminalis* był z reguły mniejszy niż w referencyjnych glebach ornych. Odwrotnie do zawartości Hu kształtował się procentowy udział C frakcji lekkiej (Re) w

całkowitej zawartości węgla. W glebach plantacji wierzby największa akumulacja Re była zawsze w warstwie 0-5 cm i stopniowo zmniejszała się w kolejnych warstwach poziomu powierzchniowego. Uprawa *S. viminalis* na glebach ornym przyczyniła się do akumulacji próchnicy o dużej zawartości Re i w związku z tym niższym niż w glebach pozostających nadal w użytkowaniu tradycyjnym stopniu humifikacji. Gleby plantacji wierzby charakteryzowały się z reguły mniejszym stosunkiem węgla kwasów huminowych (CKH) do węgla kwasów fulwowych (CKF), a więc mniej stabilną formą próchnicy, niż referencyjne gleby nadal pozostające w tradycyjnym użytkowaniu.

Odczyn i właściwości sorpcyjne oraz zawartość składników przyswajalnych

Gleby plantacji *S. viminalis* z reguły charakteryzowały się mniejszymi wartościami pH niż gleby referencyjne, nie tylko w warstwach poziomu powierzchniowego, ale także w głębszych poziomach. *Wz* kształtował się od mniej niż 5 do 20%. W badanych glebach nie stwierdzono wyraźnej tendencji zmniejszania wartości pH w zależności od wieku rosnącej na nich *S. viminalis*.

Zawartość Ca^{2+} , Mg^{2+} i K^+ w glebach plantacji *S. viminalis* w warstwie 0-10 cm oraz w poziomach powierzchniowych była z reguły większa, niż w analogicznej warstwie i poziomie gleb pól ornym.

Uprawa *S. viminalis* wpłynęła na mniejsze zawartości składników odżywczych (P, K i Mg) w profilach gleb plantacji w stosunku do profili gleb ornym pozostających nadal w tradycyjnym użytkowaniu. To dlatego, że szybko rosnące gatunki drzew, takie jak *Salix* sp. pobierają duże ilości substancji odżywczych. Niektóre z tych składników nie mogą być w przyszłości wykorzystane, gdyż nie powracają do gleby, ponieważ są wynoszone wraz z plonem pozyskiwanej biomasy pędów.

Enzymatyczny wskaźnik jakości gleby (MGea)

Poziom aktywności enzymatycznej analizowanych gleb, wyrażony w formie enzymatycznego wskaźnika jakości gleby (MGea), jest średnią geometryczną aktywności DHA, URE i INW. MGea obliczono dla tej samej warstwy i poziomów C_Z i Z_N . Przyjęto zasadę, że im większa wartość MGea, tym większa aktywność enzymatyczna gleb. Porównując poziom aktywności enzymatycznej różnie użytkowanych gleb stwierdzono większe, z wyjątkiem gleb najmłodszych (4-6-letnich plantacji wierzby), wartości MGea w glebach *S. viminalis* niż w referencyjnych glebach ornym. W glebach plantacji wierzby występowała wysoka dodatnia korelacja pomiędzy *Wz* obliczonym dla MGea, a wiekiem *S. viminalis* wyrażona współczynnikami korelacji Spearmana $r_s = 0,61$ dla warstwy oraz $r_s = 0,59$ i $r_s = 0,64$ (odpowiednio dla poziomów powierzchniowych oraz łącznie rozpatrywanych

poziomów powierzchniowych i podpowierzchniowych) istotnymi przy poziomie istotności $\alpha < 0,05$.

Na podstawie współczynników korelacji między aktywnością enzymów, a zawartością węgla organicznego i azotu ogółem można przypuszczać, że główną przyczyną wzrostu aktywności enzymatycznej w glebach *S. viminalis*, w porównaniu do gleb referencyjnych, była większa zawartość węgla organicznego. Takie spostrzeżenie potwierdzają większe wartości współczynników korelacji Pearsona pomiędzy poziomem aktywności URE i INW, a zawartością Corg. (odpowiednio 0,37 i 0,52), niż między badanymi enzymami, a Nog. (odpowiednio 0,27 i 0,24). Dla aktywności DHA i Corg. oraz Nog. obliczone współczynniki były zbliżone (0,63 i 0,61 istotne przy poziomie $\alpha < 0,05$).

Indeks jakości gleby (SQI) i zmodyfikowany współczynnik jakości gleby (SEF)

Do kompleksowej oceny jakości gleb plantacji *S. viminalis* i pól ornych wykorzystano SQI (indeks jakości gleby) i SEF (zmodyfikowany współczynnik oceny jakości gleby). Na podstawie przeprowadzonej analizy PCA I w SQI uwzględniono: pH w KCl, Nog., Ca^{2+} i K^+ , Hd, DHA, URE, przyswajalny Mg oraz ρ_c . Do obliczenia SEF wykorzystano wyniki zawartości materii organicznej, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ oraz wartość Kh. Wartości SQI i SEF obliczono dla warstwy 0-10 cm, poziomów powierzchniowych oraz łącznie rozpatrywanych poziomów powierzchniowych i podpowierzchniowych.

Zmianę użytkowania uznano za korzystną, gdy W_z miał wartości dodatnie. Gdy W_z miał wartości ujemne uznano wpływ plantacji wierzby za niekorzystny. Rozkłady W_z obu wskaźników w różnej części profilu wykazywały zbliżone trendy. Początkowo po założeniu plantacji wierzby krzewiastej obserwowano zmniejszenie ich wartości, a później w miarę upływu czasu z reguły zwiększenie. Wartości W_z dla SEF były często większe niż dla SQI i wynikały ze sposobu obliczeń oraz ilości uwzględnionych parametrów glebowych. Do obliczenia SEF wykorzystano wyniki tylko 5, a w SQI więcej, bo 9 różnych właściwości. Dodatkowo przy obliczaniu SQI uwzględniono różny ich wkład w wartość wskaźnika, co spowodowało mniejsze zróżnicowanie wartości.

Dla wszystkich wyróżnionych głębokości stwierdzono statystycznie istotną dodatnią wysoką korelację pomiędzy W_z , a wiekiem *S. viminalis*. Przy czym wartości obliczonych współczynników korelacji Spearmana statystycznie istotne przy poziomie istotności $\alpha < 0,05$ wynosiły $r_s = 0,74$ dla warstwy 0-10 cm, $r_s = 0,69$ i $r_s = 0,72$ dla poziomów powierzchniowych oraz łącznie rozpatrywanych poziomów powierzchniowych i podpowierzchniowych.

Analizując wpływ wieku (8-14 lat) *S. viminalis* na właściwości gleb ornych, zaobserwowano zależności między SQI referencyjnych gleb ornych, a W_z . Gdy wartości SQI

były duże to wartości W_z małe i odwrotnie. Można przypuszczać, iż wpływ plantacji wierzby na właściwości okresowo wyłączonych z uprawy tradycyjnej gleb ornych był mniejszy na glebach lepszej jakości, a większy na glebach gorszej jakości.

W przypadku oceny wpływu wieku plantacji *S. viminalis* na jakość gleb ornych wyrażoną zmodyfikowanym współczynnikiem SEF stwierdzono statystycznie istotną dodatnią słabą korelację pomiędzy W_z , a wiekiem roślin dla warstwy 0-10 cm ($r_s = 0,32$ przy $\alpha < 0,05$). Dla poziomów powierzchniowych i łącznie rozpatrywanych poziomów powierzchniowych i podpowierzchniowych stwierdzona korelacja była bardzo słaba i wynosiła poniżej 0,2 przy $\alpha < 0,05$.

Hierarchiczna analiza skupień metodą Warda

Zastosowanie hierarchicznej analizy skupień metodą Warda umożliwiło kolejne syntetyczne ujęcie badanych parametrów glebowych. W warstwie 0-10 cm, w poziomie powierzchniowym i łącznie rozpatrywanych poziomach powierzchniowych i podpowierzchniowych, gleby tworzyły trzy skupienia. Głównym czynnikiem skupiającym był wiek plantacji wierzby. Pierwsze skupienie stanowiły gleby najmłodszych 4-7-letnich oraz 9-letniej plantacji *S. viminalis*. Drugie powstało w wyniku połączenia gleb najstarszych 12-14-letnich plantacji wierzby. Trzecie skupienie utworzyły gleby 10- i 11-letnich oraz 6-letniej plantacji. Drugie i trzecie skupienie w warstwie 0-10 cm i poziomach zostało połączone razem. W kolejnych skupieniach zostały połączone gleby o najmniejszym zróżnicowaniu badanych parametrów. Jako miarę powinowactwa przyjęto dystans euklidesowy.

Na podstawie wyników przeprowadzonej analizy można przypuszczać, iż czas jaki upłynął od założenia plantacji *S. viminalis* na glebach ornych był ważnym czynnikiem kształtującym poszczególne właściwości gleb oraz ich jakość. Można wnioskować o dwufazowym procesie kształtowania właściwości gleb plantacji wierzby. W pierwszej fazie po założeniu plantacji następowało pogorszenie właściwości gleb w stosunku do gleb pozostających w tradycyjnym użytkowaniu. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że gleby najmłodszych, 4-5-letnich plantacji wierzby charakteryzowały się największą odmiennością w stosunku do gleb pozostałych plantacji. Wartości ρ_c , pH w H_2O , Corg., Nog., Ca^{2+} , K^+ , form przyswajalnych P i K, CKH:CKF, Hd oraz aktywności enzymatycznej w glebach plantacji *S. viminalis* były zazwyczaj mniejsze niż w referencyjnych glebach ornych. W_z obliczone dla MGea, SQI i SEF były z reguły ujemne. Można stwierdzić, że *S. viminalis* po wysadzeniu pobiera z gleby więcej niż wnosi składników, a bilans zysków i strat jest ujemny.

W drugiej fazie wystąpiła stopniowa poprawa właściwości gleb, przy tym tempo zmian uwzględnionych parametrów glebowych było różne. W glebach najstarszych (12-14-letnich)

plantacji wierzby stwierdzono większą aktywność enzymów, zawartość: Corg, Nog. i K przyswajalnego oraz z reguły K^+ i Mg przyswajalnego, niż w analogicznych glebach referencyjnych. Można wnioskować, że bilans zysków i strat był dodatni, niemniej przyjmował on różne wartości. Wyróżnione fazy miały indywidualny przebieg w glebach poszczególnych plantacji *S. viminalis*, który zależał nie tylko od wieku roślin, ale także od innych czynników, wśród których należy wymienić warunki siedliskowe charakterystyczne dla danego obszaru.

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań, nie udało się dokładnie określić okresu czasu, w którym zachodzi poprawa poszczególnych właściwości gleb ornych porośniętych wierzbą. Niemniej w dłuższym czasie zaznaczył się korzystny wpływ plantacji *S. viminalis* na jakość środowiska glebowego, o czym świadczyły z reguły dodatnie wartości W_z dla wskaźników jakości gleb: MGea, SQI i SEF.

Uprawa wierzby krzewiastej, technologia uprawy oraz specyfika miejsca a właściwości gleb

W wyniku przeprowadzonej analizy PCA II-III-IV wyszczególniono 3 czynniki główne wraz z grupą przypisanych do nich zmiennych. Umownie zostały określone jako wpływ wierzby, technologia uprawy i specyfika miejsca. Wyniki przeprowadzonej analizy PCA II-III-IV umożliwiły określenie w różnej części profilu związku pomiędzy sposobem użytkowania, a właściwościami gleb. W warstwie 0-10 cm w czynniku przyjętym jako wpływ wierzby uwzględniono pH w KCl, Ca^{2+} , Nog., DHA i URE oraz wiek plantacji, w technologii uprawy - Mg przyswajalny, liczbę zbiorów biomasy wierzby i nawożenie wykonane zarówno na polach ornych, jak i plantacjach *S. viminalis*, a w specyfice miejsca - uziarnienie gleby, które jest charakterystyczne dla danego miejsca oraz stopień humifikacji (Hd). W poziomie powierzchniowym i w łącznie rozpatrywanych poziomach powierzchniowych i podpowierzchniowych, w ramach wydzielonych czynników, uwzględniono te same parametry, które wybrano dla warstwy 0-10 cm, jedynie w czynniku określonym jako technologia uprawy dodatkowo wybrano K^+ . W każdym czynniku poza wymienionymi zmiennymi uwzględniono wskaźnik zmian (W_z) właściwości gleb. Dodatkowo wyróżniono jeszcze czwarty czynnik, który stanowił parametry nie objęte badaniami np. warunki klimatyczne, poziom wody gruntowej na danym terenie oraz różny stopień ewapotranspiracji roślin w zależności od wielkości biomasy roślin, wpływ poprzedniego użytkowania (wielkość nawożenia przed zmianą użytkowania).

Procent wariancji każdego z czterech czynników uznano za wpływ jaki wywiera on w kształtowaniu właściwości gleb w wyniku zmiany użytkowania z ornego na plantacje roślin

energetycznych. Kolejność wydzielonych czynników głównych zmieniała się w zależności od tego jakiej części profilu dotyczyła. W kolejnych częściach profilu zmniejszał się wpływ wierzby i technologii uprawy, natomiast wpływ czynnika określonego jako specyfika miejsca i wpływ niewyjaśniony zwiększał się. Około 5% różnicę w warstwie 0-10 cm i w poziomie powierzchniowym między wyróżnionymi czynnikami uznano za zbliżony ich wpływ w kształtowaniu właściwości gleb. W warstwie 0-10 cm porównywalne oddziaływanie było pomiędzy dwoma czynnikami określonymi jako: specyfika miejsca i wpływ niewyjaśniony, natomiast w poziomie powierzchniowym między trzema czynnikami: wpływ wierzby, specyfika miejsca i wpływ niewyjaśniony.

Wnioski z przeprowadzonych badań

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Plantacje wierzby krzewiastej przyczyniają się do zmiany właściwości gleb użytkowanych wcześniej jako gleby orne. Na podstawie przeprowadzonej analizy składników głównych (PCA) wykazano, że są one najwyraźniejsze w powierzchniowej warstwie (0-10 cm). W poziomach powierzchniowych i łącznie rozpatrywanych poziomach powierzchniowych i podpowierzchniowych nie są tak silnie zaznaczone, ponieważ wpływ *S. viminalis* jest modyfikowany przez inne czynniki takie jak: warunki specyficzne dla danego miejsca, technologię uprawy oraz parametry nie objęte badaniami.
2. Na podstawie wyników przeprowadzonej hierarchicznej analizy skupień metodą Warda stwierdzono, że wielkość i kierunek zmian (w górnej części profilu) wywołanych uprawą wierzby krzewiastej na polach ornych zależy od wieku *S. viminalis*. Początkowo po zmianie użytkowania (4–5 lat) następuje zmniejszenie aktywności enzymatycznej (wyrażonej MGea), gęstości objętościowej, odczynu, zawartości węgla organicznego, azotu ogółem, wymiennego wapnia i potasu, przyswajalnego fosforu i potasu, stosunku węgla kwasów huminowych i węgla kwasów fulwowych, stopnia humifikacji, a następnie, w miarę upływu lat (12–14), zwiększenie tylko niektórych właściwości: aktywności enzymów, zawartości Corg., Nog., K przyswajalnego, często K^+ i Mg przyswajalnego.
3. Uprawa wierzby krzewiastej na początku powoduje pogorszenie jakości gleb (wyrażonej wskaźnikami MGea, SQI i SEF) okresowo wyłączonych z tradycyjnej uprawy. W dłuższym okresie czasu często sprzyja jej poprawie.
4. Spośród obliczonych wskaźników, za jeden z najlepiej odzwierciedlających jakość różnie użytkowanych gleb można uznać SQI, uwzględniający najwięcej różnych właściwości gleb (aktywność enzymatyczną, właściwości fizyczne, fizykochemiczne i chemiczne), wybranych na podstawie analizy składników głównych (PCA).

5. Plantacje wierzby krzewiastej założone na polach ornym przyczyniają się do sekwestracji węgla organicznego. Większe zasoby węgla organicznego w glebach plantacji *S. viminalis* niż w porównywanych glebach ornym można traktować, jako pozytywny wpływ upraw roślin energetycznych na środowisko glebowe.
6. Zmiana użytkowania gleb powoduje pogorszenie jakości próchnicy, która w glebach plantacji *S. viminalis* charakteryzuje się niższym stopniem humifikacji oraz mniejszym stosunkiem węgla kwasów huminowych do węgla kwasów fulwowych, niż w glebach ornym.
7. Długoletnia uprawa wierzby krzewiastej wpływa na zmniejszenie gęstości oraz wzrost aktywności enzymatycznej i zakwaszenia w glebach *S. viminalis* w stosunku do referencyjnych gleb ornym.
8. Zmiana sposobu użytkowania gleb, z ornego na plantację wierzby krzewiastej, przyczynia się do obniżenia w nich zawartości przyswajalnego potasu i magnezu w profilach gleb.
9. Mniejsza zawartość fosforu przyswajalnego oraz azotu ogółem w profilach gleb plantacji *S. viminalis*, niż w profilach gleb pól ornym wskazuje na skuteczne wykorzystanie przez rośliny drzewiaste obecnych w glebie pierwiastków, co może sprzyjać ochronie wód powierzchniowych i gruntowych przed eutrofizacją.

Omówienie możliwości wykorzystania wyników pracy

Według mojej wiedzy przedstawiona praca jest pierwszą, w której opisano na tak szeroką skalę zagadnienie związane z wpływem uprawy *S. viminalis* na właściwości gleb czasowo wyłączonych z użytkowania ornego. Wnioskowanie przeprowadziłam w oparciu o wyniki szeregu właściwości fizycznych, fizykochemicznych, chemicznych i aktywności enzymatycznej gleb 4-14-letnich plantacji wierzby krzewiastej uprawianej na cele energetyczne oraz referencyjnych gleb ornym. Uzyskane tego typu dane posiadają wartość w związku ze wzrostem znaczenia udziału energii z zasobów odnawialnych (jaką jest biomasa pochodząca z plantacji wierzby krzewiastej) w ochronie środowiska. Stanowią wskazówkę dla praktyki rolniczej, że ewentualne niebezpieczeństwo negatywnego wpływu plantacji *S. viminalis* zakładanych na glebach ornym w dłuższym czasie nie występuje. Na podstawie przedstawionych wyników można wnioskować, że uprawa *S. viminalis* na glebach ornym często sprzyja poprawie ich jakości, niemniej wielkość zmian zależy głównie od lokalnych warunków glebowych.

Możliwości zastosowania wyników przeprowadzonych przeze mnie badań upatruję także w wykorzystaniu syntetycznych wskaźników oceny jakości gleb. Szczególnie przydatne może

być stosowanie SQI (indeks jakości gleby), który reprezentuje złożoną zmienność właściwości gleb. Umożliwia także ograniczenie ilości oznaczanych parametrów w monitoringu jakości środowiska glebowego w dłuższym okresie czasu.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

Prowadzone przeze mnie badania, poza wpływem wieloletniej uprawy wierzby krzewiastej (*Salix viminalis* L.) na właściwości fizyczne, fizykochemiczne i chemiczne oraz aktywność enzymatyczną gleb ornych przedstawionymi w monografii, koncentrują się głównie wokół zagadnień dotyczących:

- degradacji chemicznej gleb, jej mechanizmów i skutków oraz rekultywacji środowiska glebowego,**
- aktywności enzymatycznej gleb jako wskaźnika ich przemian,**
- kształtowania właściwości gleb w zależności od sposobu ich użytkowania oraz oceny jakości gleb poprzez zintegrowane wskaźniki.**

W trakcie mojej pracy badawczej w Zakładzie Gleboznawstwa i Ochrony Gleb jednym z pierwszych problemów jakimi się zajmowałam była degradacja chemiczna gleb, jej mechanizmy i skutki w środowisku glebowym oraz rekultywacja terenów zdegradowanych (II.D.5¹, II.D.6, II.D.12, II.D.17, II.D.19).

Początkowo obszarem moich badań było Tarnobrzeskie Zagłębie Siarkowe, gdzie w latach 60. XX wieku rozpoczęto eksploatację złóż siarki. Badania terenowe w trakcie, których pobrano próby glebowe przeprowadziłam na obszarze i w sąsiedztwie nieczynnej kopalni siarki Grzybów. Była ona pierwszą w Polsce kopalnią, w której w 1966 roku rozpoczęto eksploatację złoża metodą otworową Frasha. Wyniki przeprowadzonych przeze mnie badań w ramach grantu „Wpływ siarki na właściwości fizyczne i chemiczne pól górniczych byłej kopalni siarki Grzybów” (projekt finansowany przez KBN, numer 6 PO4G 080 21, którego byłam kierownikiem) zostały zawarte w pracy doktorskiej pt: Wpływ eksploatacji siarki na właściwości gleb w rejonie byłej kopalni siarki „Grzybów”. Badania te były kontynuacją zagadnień dotyczących problemów gleb przekształconych w wyniku górniczej działalności człowieka, które zostały zapoczątkowane w Katedrze Gleboznawstwa, Akademii Rolniczej pod koniec lat 60. XX w. Wówczas, po stosunkowo krótkim okresie działalności kopalni problemy związane z konsekwencją zasiarczenia gleb tego obszaru rozpatrywano przede

¹ numeracja cytowanych prac jest zgodna z załącznikiem 4

wszystkim na podstawie wyników doświadczeń modelowych oraz wpływu stosunkowo krótkiego (około 10 lat) okresu czasu na środowisko przyrodnicze. Badania pozwoliły stwierdzić, że eksploatacja i składowanie siarki spowodowały silną degradację chemiczną środowiska glebowego wywołaną zanieczyszczeniem siarką. Po 30-40 latach od rozpoczęcia prac górniczych stwierdzono znaczne jej nagromadzenie w glebie. Zasiarczenie gleb obszaru kopalni, było przestrzennie bardzo zróżnicowane. Zawartość siarki ogółem była determinowana odległością od punktów eksploatacyjnych i czasem zakończenia procesu technologicznego. Najwyższe zawartości siarki ogółem oznaczono w glebach pobranych z miejsc składowania siarki oraz pól górniczych, na których niedawno (w latach 90.) zakończono eksploatację i rozpoczęto zabiegi rekultywacji technicznej (obejmującej wapnowanie gleb). W glebach reprezentujących pola górnicze, na których w okresie od 1970 do 1990 roku zakończono eksploatację i przeprowadzono rekultywację, zawartość siarki ogółem w wydzielonych warstwach była bardziej wyrównana, ale nadal wysoka. W badanych glebach obok siarki ogółem oznaczono także siarkę siarczanową. Ta forma siarki ma największe znaczenie ekologiczne, gdyż sygnalizuje o zagrożeniu środowiska glebowego nadmierną imisją tego pierwiastka wskutek antropopresji. W wierzchnich warstwach badanych gleb procentowy udział siarki siarczanowej w zawartości siarki ogółem był najmniejszy i zwiększał się wraz z głębokością przekraczając niekiedy 90% w spągowych warstwach profilów. Wobec ograniczenia dopływu zanieczyszczeń siarki elementarnej do gleb badanego terenu, było to spowodowane głównie przemieszczeniem siarczanów z warstw stropowych. Efektem "zasiarczenia" gleb kopalni siarki był silnie kwaśny odczyn. Oznaczone wartości pH w 1 mol KCl poniżej 2,0 nie spotyka się w naturalnych, nie zdegradowanych warunkach glebowych. W następstwie zasiarczenia gleb, spowodowanego wieloletnim dopływem siarki, zaszły także niekorzystne zmiany w obsadzie jonowej kompleksu sorpcyjnego. W jego składzie przeważały kationy o charakterze kwaśnym (głównie glin) nad kationami zasadowymi. Jest to jeden z najgroźniejszych skutków degradacji środowiska glebowego. Wyniki tych badań zostały przedstawione w pracach (II.D.6, II.D.12, II.D.17).

Ważnym aspektem przeprowadzonych badań była ocena efektów prac rekultywacyjnych wykonanych po zakończeniu eksploatacji złóż siarki (II.D.5, II.D.19). Początkowo opracowano projekt rolniczego zagospodarowania, później, ze względu na brak zainteresowania w przejmowaniu przez rolników zrehabilitowanych gruntów, kierunek zagospodarowania zmieniono na leśny o funkcjach krajobrazowo-ochronnych. Eksploatacja siarki metodą otworową spowodowała ujemny wpływ na środowisko przyrodnicze wyrażający się nie tylko przekształceniami chemicznymi, ale także geochemicznymi i

hydrologicznymi. Ocena efektów rekultywacji przeprowadzona została w oparciu o porównanie właściwości gleb z okresu kiedy prowadzono prace wydobywcze oraz po 30-latach od zakończenia eksploatacji i przeprowadzonej rekultywacji technicznej i biologicznej. Odtworzenie właściwości gleb kopalni z okresu, kiedy nie prowadzono eksploatacji siarki wydaje się w przypadku tych gleb, przekształconych geomechanicznie, bardzo trudne. Narastające od powierzchni silne zasiarczenie gleb badanego terenu spowodowało przekształcenie ich pierwotnych właściwości fizykochemicznych. Efekty zabiegów rekultywacyjnych były bardzo zróżnicowane. Neutralizujący wpływ wapna (wprowadzanego podczas rekultywacji do zasiarczonych gleb pól górniczych) stwierdzono z reguły tylko w powierzchniowych warstwach. Głębsze charakteryzowały się nadal niskimi wartościami pH. Wysoka zawartość siarczanów w tych glebach była konsekwencją zakwaszenia ich przez kwas siarkowy wytworzony w warunkach tlenowych przemian siarki elementarnej. Jest to proces złożony i zależy od zawartości siarki w glebie. Przy dużej ilości siarki, jej utlenienie zostaje zahamowane w wyniku bardzo silnego zakwaszenia i dezaktywacji bakterii siarkowych. Z chwilą zneutralizowania kwasu proces utleniania zostaje ponownie uruchamiany, aż do wyczerpania siarki, stąd zachodziła potrzeba przeprowadzania kilkakrotnych zabiegów neutralizacji gleb silnie zasiarczonych.

Ocenę efektów rekultywacji przeprowadzono także w oparciu o porównanie właściwości utworzonych, różnowiekowych ekosystemów z właściwościami sąsiedniego niezdegradowanego terenu reprezentującego warunki z okresu przed degradacją. Do badań pobrano gleby ze zreultywowanych powierzchni kopalni siarki Grzybów, porośniętych 15-letnim i 40-letnim lasem liściastym oraz gleby z obszaru porośniętego 70-letnim lasem położonego w sąsiedztwie kopalni. Korzystniejszymi właściwościami charakteryzowały się gleby, których rekultywację zakończono 15 lat przed rozpoczęciem badań aniżeli gleby, na których las posadzono 40 lat wcześniej. Świadczy to o tym, że przeprowadzone zabiegi rekultywacji nie spowodowały trwałej poprawy fizykochemicznych i chemicznych właściwości (odczyn, zawartość S-SO₄ i glinu wymiennego) zreultywowanych gleb. Stwierdzone z upływem czasu zmniejszenie zawartości węgla organicznego w zreultywowanych glebach pól górniczych kopalni siarki Grzybów było bardzo wyraźnym wskaźnikiem postępującej degradacji oraz wskazywało na ogromne trudności rekultywacji gleb tego terenu.

Kolejnym czynnikiem powodującym degradację chemiczną środowiska glebowego jest obecność pierwiastków stwarzających ryzyko środowiskowe, szczególnie metali ciężkich. Badania dotyczące zawartości pierwiastków śladowych w glebach oraz ich profilowego

rozmieszczenia, a także koncentracji w roślinach prowadzono na terenach objętych oddziaływaniem pyłowo-gazowych zanieczyszczeń bliskiego i dalekiego transportu, na obszarach miejskich poddanych działaniu różnych czynników antropogenicznych oraz w strefie zakładów przemysłowych, takich jak kopalnia siarki (II.A.3, II.D.1, II.D.2, II.D.3, II.D.4, II.D.8, II.D.15, II.D.18).

Środowisko przyrodnicze południowej Polski było i jest narażone na oddziaływanie pyłowo-gazowych emisji przemysłowych i komunalnych bliskiego i dalekiego transportu. Są one potencjalnym źródłem zanieczyszczeń gleb metalami ciężkimi tego regionu. Pierwsze badania w ramach tego zagadnienia przeprowadzono na obszarze Pogórza Wielickiego i Podhala (II.D.1, II.D.2). Ich celem było oznaczenie całkowitej zawartości cynku, ołowiu, niklu i kadmu w profilach glebowych i roślinności runi użytków zielonych oraz określenie wpływu niektórych fizykochemicznych właściwości gleb na pobieranie kadmu przez rośliny. Całkowita zawartość metali w badanych glebach była zbliżona, choć nieco wyższa w glebach Podhala. Mieściła się w granicach kwalifikujących je według IUNG do gleb nie zanieczyszczonych lub o podwyższonej zawartości metali. Jedynie węglanowe gleby Podhala były słabo zanieczyszczone Ni i Cd. W zdecydowanej większości akumulacja Zn, Pb i Cd wystąpiła w poziomach próchnicznych, a wielkość współczynników akumulacji (WA) w wielu przypadkach świadczyła o antropogenicznym pochodzeniu tych metali. Wartości współczynników WA były na ogół wyższe w glebach Pogórza Wielickiego niż w glebach Podhala, co wynikało z mniejszej ich koncentracji w skałach macierzystych tych gleb. W ramach badań określono także wartość paszową roślin runi użytków zielonych. Stwierdzono, że wartość paszowa runi z Pogórza Wielickiego była obniżona w wyniku nadmiernego nagromadzenia metali ciężkich (Cd, Pb i Zn), szkodliwych dla zwierząt. Zaobserwowano także, że zawartość kadmu w częściach nadziemnych roślin użytków zielonych obu rejonów była determinowana głównie odczynem, pojemnością kompleksu sorpcyjnego gleby i zawartością próchnicy.

Zawartość mikroelementów (Zn, Cu, Ni, Mn i Fe) w różnych organach (kwiatostany, źdźbła i liście) 4 gatunków traw (*Festuca pratensis* Huds., *Festuca rubra* L., *Poa pratensis* L. *Phleum pratense* L.- 2 odmiany) oceniono w ramach doświadczenia polowego założonego w Skrzyszowicach pod Krakowem (II.D.3, II.D.4, II.D.18). Cykl tych publikacji powstał dzięki współpracy z pracownikami Katedry Łąkarstwa UR w Krakowie. Stwierdzono, że zawartość mikroelementów była zależna od właściwości gatunkowych i organu rośliny. Koncentracja Zn, Cu i Mn w *Poa pratensis* L. *Festuca pratensis* Huds. i *Festuca rubra* L. była zbliżona do optymalnej zawartości pokrywającej zapotrzebowanie na mikroelementy w paszy

przeznaczonej dla zwierząt, a Fe szczególnie w liściach, powyżej tej wartości. W obu odmianach *Phleum pratense* L. zawartość Cu (we wszystkich organach) i Fe (w liściach i kwiatostanach) były zbliżone do optymalnych, natomiast Zn i Mn kształtowały się poniżej ilości uznawanych za wystarczające.

Kolejne badania przeprowadzone w południowo-zachodniej części Krakowa miały na celu określenie zawartości pierwiastków śladowych w glebach o różnym sposobie użytkowania (las i łąka, II.D.15). Reprezentowały one dwa typy gleb, murszowate i rędziny. Porównanie zawartości Cd, Pb i Cr w glebach różnie użytkowanych stało się możliwe dzięki wykonaniu profili gleb zadarniowych w bezpośrednim sąsiedztwie profili gleb leśnych. Na podstawie obliczonych współczynników wzbogacenia, stwierdzono antropogeniczne nagromadzenie Cd i Pb wyższe w glebach murszowatych niż rędzinach. Koncentracja wybranych metali ciężkich pozostawała w zakresie wartości uznanych za dopuszczalne dla tych metali według Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleb oraz standardów jakości ziemi obowiązującego do 2016 roku. Nie stwierdzono związku między całkowitą zawartością badanych pierwiastków, a różnym sposobem użytkowania badanych gleb.

Ocenę skażenia metalami ciężkimi przeprowadzono także w glebach, które występowały w strefie lokalnych zagrożeń środowiska przyrodniczego (II.D.8). W Tarnobrzeskim Zagłębiu Siarkowym naruszenie równowagi ekologicznej gleb wywołane było silnym ich zasiarczeniem, którego skutkiem była antropogenizacja środowiska wyrażająca się znaczną akumulacją siarki siarczanowej i silnym zakwaszeniem. Wysoki stopień zakwaszenia gleb jest potencjalnym czynnikiem zwiększającym mobilność metali ciężkich. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że duże zakwaszenie gleb kopalni siarki Grzybów sprzyjało przemieszczaniu cynku, niklu, chromu i miedzi w profilu glebowym. Większa ich koncentracja była w warstwach spągowych aniżeli w stropowych. Zaobserwowano, że zwiększonej zawartości pierwiastków śladowych w warstwach spągowych gleb pól górniczych kopalni siarki Grzybów sprzyjało także uziarnienie. Występowały piaski podścielone zwięzłymi utworami gliniastymi. W wyniku przeprowadzonej analizy statystycznej stwierdzono statystycznie istotną silną zależność między zawartością ilu koloidalnego ($<0,002$ mm), a zawartością Ni i Zn. Wykazano także, że zawartość Ni, Zn, Cr i Cu w omawianych glebach była silnie skorelowana z zawartością całkowitego żelaza i glinu.

Negatywny wpływ kopalni siarki w Grzybowie był związany nie tylko z pracami górniczymi i procesami produkcyjnymi, ale również z transportem. Pejoratywne oddziaływanie kopalni nie ograniczało się tylko do pól górniczych, ale także występowało poza jej granicami. Skażeniu ulegało powietrze w wyniku emisji siarkowodoru i pyłów siarki

z otwartych składowisk surowca. Celem badań przeprowadzonych po 20 latach, jakie upłynęły od zakończenia prac górniczych, było oszacowanie szkodliwych dla środowiska glebowego skutków działalności kopalni, poprzez określenie koncentracji pierwiastków śladowych (Pb, Zn, Cd, Cr, Cu i Ni) w glebach zadarnionych (II.A.3). Oceniono także zmiany w zawartościach siarki ogółem (Sog.) i siarczanowej (S-SO₄) w glebach pobranych w latach 70. XX i na początku XXI wieku. Próbki gleb zostały pobrane w odległości 1 km, 3 km i 10 km od źródła emisji związków siarki.

Na podstawie analizy PCA wydzielono trzy grupy metali ciężkich. Do pierwszej zaliczono Cr, Zn, Cu i Ni, które charakteryzowały się wysokimi zawartościami w glebach położonych 1 km od granic kopalni. Wraz ze wzrostem odległości od kopalni ich zawartość wyraźnie zmniejszała się. To pozwoliło sklasyfikować tę grupę metali jako zależną od długoletniej działalności kopalni. Drugą stanowił Pb, którego zawartość we wszystkich wydzielonych obszarach była podobna. Jego obecność w glebach mogła być związana z lokalną emisją, zarówno z tak zwaną „niską emisją” jaka ma miejsce na terenach zabudowanych jak i z ruchem komunikacyjnym. Trzecią grupę stanowił Cd, którego koncentracja była znacznie wyższa w glebach położonych 1 km od kopalni niż w glebach pozostałych terenów. Obecność kadmu powiązano głównie ze zwiększonym ruchem podczas prowadzonych prac górniczych na terenie kopalni. Stopień zanieczyszczenia badanych gleb metalami ciężkimi oceniono za pomocą zintegrowanego wskaźnika zanieczyszczenia zdefiniowanego jako średnia wartość dla sześciu metali. Na podstawie obliczonego wskaźnika, gleby położone w odległości 1 km i 3 km zakwalifikowano do gleb o umiarkowanym zanieczyszczeniu, a w odległości 10 km jako gleby o niskim stopniu zanieczyszczenia.

Przeprowadzone badania dowiodły także, że zawartość poszczególnych form siarki zmniejszała się wraz ze wzrostem odległości od kopalni. Wysoki udział S-SO₄ w zawartości Sog. świadczył o jej antropogenicznym pochodzeniu. W okresie, w którym przeprowadzono badania zawartość oznaczonych form siarki zarówno w poziomach powierzchniowych, jak i spągowych była mniejsza (w odległości 1 km i 10 km) niż w glebach pobranych w latach 70. ubiegłego wieku. W oparciu o liczby graniczne zaproponowane przez IUNG na podstawie zawartości S ogółem, gleby zaliczono do gleb o naturalnej zawartości tej formy pierwiastka (I^o). Pod względem zawartości siarki siarczanowej gleby pobrane najbliżej granic kopalni (1km) zaliczone zostały do IV^o stopnia zanieczyszczenia. Oznacza to, że mimo 20 lat jakie upłynęły od zakończenia eksploatacji złoża zawartość tej formy siarki w glebach nadal jest podwyższona. Obecnie, wraz ze wzrostem odległości od źródła skażenia występowały mniejsze zawartości S ogółem. Na podstawie porównania zawartości S-SO₄ w różnych

okresach czasu stwierdzono zmniejszenie jej ilości w glebach tego obszaru. Zawartość analizowanych pierwiastków śladowych była silnie skorelowana z koncentracją Sog. i S-SO₄ (z wyjątkiem Pb).

Moje zainteresowania badawcze skupiały się także na określeniu aktywności enzymatycznej gleby, która jest jednym ze wskaźników funkcjonowania ekosystemów glebowych. Została ona wykorzystana w prowadzonych przeze mnie badaniach do oceny aktywności mikrobiologicznej gleb terenów przemysłowych, zdegradowanych przez górnictwo złóż siarki, rud cynku i ołowiu, a także poddanych antropopresji w wyniku intensywnej uprawy (II.A.1, II.A.2, II.D.7, II.D.10, II.D.14).

Aktywność enzymów (dehydrogenaz i ureazy), które uczestniczą w rozkładzie materii organicznej i obiegu składników pokarmowych dla roślin, oznaczono w glebach pobranych z obszaru kopalni siarki Grzybów, z różnych stref oddziaływania stałych i gazowych zanieczyszczeń siarkowych (II.D.7, II.D.10). Stwierdzono, że aktywność dehydrogenaz zależała od stopnia zanieczyszczenia siarką i produktów jej przemian (siarczanów i wolnego kwasu siarkowego) oraz prowadzonej na terenie kopalni rekultywacji. Aktywność dehydrogenaz była tym mniejsza, im większe było skażenie gleb. Wykazano, że na ich aktywność miały wpływ nie tylko właściwości gleby, ale również porastająca je roślinność, a szczególnie ilość i jakość nagromadzonej ściółki. Większą aktywność dehydrogenaz oznaczono w warstwie powierzchniowej zreakultywowanej gleby, porośniętej zwartym, 15-20-letnim lasem liściastym niż w analogicznej warstwie gleby rekultywowanej, porośniętej 5-letnią uprawą leśną. W przypadku aktywności ureazy wykazano, że była ona istotnie zróżnicowana w zależności od zawartości węgla organicznego i azotu ogółem. Uzyskane wyniki potwierdziły przydatność aktywności enzymów szczególnie dehydrogenaz, które uważane są w literaturze za miarę całkowitej aktywności mikrobiologicznej, do oceny właściwości środowiska glebowego w warunkach długoletniego zanieczyszczenia związkami siarki oraz postępów procesów rekultywacyjnych. W ramach stypendium JM Rektora Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie aktywność dehydrogenaz oznaczono także w glebach położonych poza granicami kopalni (II.D.14). Przeprowadzone oznaczenia wykazały, że aktywność badanych enzymów była niska, a jej przyczyną mógł być kwaśny odczyn gleb, który był wynikiem długoletniej emisji związków siarki.

Badaniami objęto także zdegradowane gleby obszaru Olkusza, gdzie od XIV wieku prowadzone jest wydobywanie i przetwarzanie rud cynku i ołowiu (II.A.2). W wyniku prac górniczych nastąpiła lokalna transformacja geomechaniczna i zanieczyszczenie środowiska

tymi metalami. Do badań wytypowano obszary, na których nie prowadzono działalności górniczej (łąka i las), tak zwane warpie (miejsca, z których w XIV wieku rudy były wydobywane ręcznie, dziś obszary te są pokryte roślinnością), 100 letnią hałdę utworzoną ze skały płonnej zawierającej Zn i Pb, (porośniętej roślinnością) oraz osadnik flotacyjny gdzie obecnie gromadzone są odpady powstające w wyniku flotacyjnego wzbogacania rud cynku i ołowiu. Przeprowadzone badania miały na celu określenie możliwości wykorzystania aktywności ureazy i inwertazy w opisanu zmian funkcjonowania zbiorowisk mikroorganizmów glebowych w procesie odtwarzania gleb na obszarze wydobywania i przetwarzania rud cynku i ołowiu. Aktywność ureazy była najmniejsza w glebach pobranych z osadnika, większa w glebach warpi i hałdy, a największa w glebach pobranych z terenów, gdzie nie prowadzono działalności górniczej. Aktywność inwertazy była zbliżona w glebach terenów, gdzie nie prowadzono działalności górniczej i w glebach warpi oraz hałd, natomiast znacznie mniejsza w glebach osadnika flotacyjnego. Wykazano, że silne zanieczyszczenie Zn, Pb i Cd nieznacznie obniżyło aktywność obu enzymów. Mogło to wynikać z reakcji enzymatycznych zachodzących w warunkach lekko kwaśnego lub zasadowego odczynu gleby. W takich warunkach metale ciężkie występują głównie w postaciach nierozpuszczalnych. Aktywność enzymów była silnie skorelowana z zawartością materii organicznej i stopniem jej rozkładu w glebie. Wzrastała wraz z ich wzrostem. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań wykazano, że aktywność ureazy i inwertazy może być wykorzystywana jako wskaźnik procesu odtwarzania gleb w obszarach, zdegradowanych przez górnictwo rud cynku i ołowiu.

Publikacja II.A.2 wg. Web of Science jest cytowana 45 razy.

W kolejnych badaniach analizowano wpływ uprawy i związanego z nią intensywnego nawożenia oraz prowadzoną ochroną roślin na aktywność ureazy i inwertazy (II.A.1). Produkcja warzyw i owoców w Polsce jest najczęściej intensywna, a więc polega na wprowadzaniu do gleby dużych dawek nawozów mineralnych, niewielkim nawożeniu nawozami organicznymi oraz bez lub z ograniczonym płodozmianem. Prawdłowo prowadzona uprawa, zgodnie z kodeksem dobrej praktyki rolniczej, nawet intensywna, nie powinna prowadzić do pogorszenia właściwości gleby. Niemniej jednak często popełniane są błędy prowadzące do obniżenia jakości upraw i zdolności produkcyjnych gleby. Badania przeprowadzono w gminie Igołomia - Wawrzeńczyce, położonej w odległości około 10 km od Krakowa. Analizowano próbki gleb z terenów, gdzie warzywa były uprawiane w tunelach foliowych i w gruncie (w miejscu gdzie zdemontowano tunel foliowy). Dla porównania pobrano także glebę z łąki. Aby skrócić czas uprawy, warzywa uprawiane w tunelach

foliowych były nawożone większymi dawkami nawozów w porównaniu do uprawianych w gruncie. W tej uprawie stosowano również intensywniejszą ochronę chemiczną. Uzyskane wyniki wyraźnie wskazały na negatywny wpływ agrotechnicznych zabiegów związanych z uprawą warzyw w gruncie i pod tunelami na aktywność ureazy i inwertazy. Chociaż aktywność tych enzymów zawsze była mniejsza w glebie, gdzie prowadzono uprawę warzyw niż w nieużytkowanej glebie rolniczej, to hamujący wpływ agrotechniki na aktywność enzymatyczną był różny, w zależności od sposobu produkcji warzyw. Aktywność ureazy była najmniejsza w glebie pod tunelami foliowymi, a aktywność inwertazy w glebach, w których uprawiano warzywa w gruncie, po demontażu tuneli foliowych.

W badaniach naukowych zajmowałam się także oceną wpływu sposobu użytkowania, stosowanych zabiegów agrotechnicznych i alternatywnych źródeł materii organicznej na środowisko glebowe w oparciu o zmianę poszczególnych właściwości chemicznych, fizykochemicznych i mikromorfologicznych oraz o zintegrowany wskaźnik jakości gleby - SQI (II.A.4, II.A.5, II.D.9, II.D.11, II.D.13).

Początkowo analizowanym materiałem były próby gleb czarnoziemnych, rejonu Płaskowyżu Proszowickiego, pobrane z gruntów ornych, łąkowych i leśnych, geologicznie jednorodne wytworzone z lessu i niejednorodne powstałe na lessie podścielonym piaskiem (II.D.9). Jednym z głównych czynników warunkujących żyzność gleby jest zawartość składników biogennych dostępnych dla roślin. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że stosowane nawożenie na gruntach ornych przyczyniło się do wzbogacenia poziomów próchnicznych gleb w przyswajalny dla roślin fosfor. Poziomy próchniczne gruntów ornych oraz gleb łąkowych charakteryzowały się również większą zawartością przyswajalnego dla roślin magnezu oraz wymiennych form magnezu i potasu w porównaniu z glebami leśnymi. Oceniono, że podłoże piaszczyste lessu wpłynęło na obniżenie zasobności w pierwiastki biogenne. Zawartość węgla organicznego była zróżnicowana, największą akumulacją charakteryzowały się gleby leśne, a najmniejszą gleby uprawne.

W różnie użytkowanych glebach czarnoziemnych przeprowadzono także badania mikromorfologiczne (II.D.11). Obserwacje mikroskopowe preparatów sporządzonych z nienaruszonych próbek gleby, poparte mikromorfometryczną analizą obrazu, umożliwiły określenie zależności między glebą, a żyjącą w niej fauną na podstawie skutków jej działania czyli porów i odchodów zwierząt glebowych. W przeprowadzonych badaniach podjęto próbę ustalenia różnic w mikrostrukturze gleb lessowych ekosystemów uprawnych, łąkowych i lasów liściastych oraz określenia w jakim stopniu analiza obrazu może być stosowana do

wyznaczania zmian tej właściwości. Wykazano, że gleba uprawiana rolniczo charakteryzowała się najmniejszą mikroporowatością i powierzchnią obrazu zajmowanego przez agregaty materii organicznej pochodzenia zwierzęcego. W glebie łąki, w której oznaczono dużą zawartość materii organicznej, występował największy w porównaniu z glebami leśnymi i ornymi udział dużych ekskrementów przypisywanych dżdżownicom. Rezultaty tej pracy potwierdzają opinie, że uprawa gleby może redukować biomasę i różnorodność organizmów glebowych, podczas gdy użytkowanie łąkowe pomaga w utrzymaniu bioróżnorodności. Metody analizy obrazu stosowane do określania zróżnicowania w mikrostrukturze lessowych gleb, modyfikowanego głównie poprzez sposób użytkowania okazały się skuteczne dla określenia różnic w tych właściwościach.

Badaniami objęto także gleby wykorzystywane w uprawie warzyw, gdzie zabiegi agrotechniczne przyczyniły się nie tylko do zmian aktywności enzymatycznej, ale również chemicznych i fizykochemicznych właściwości gleb w stosunku do gleby nieużytkowanej rolniczo (II.D.13). Rezultaty przeprowadzonych badań wskazały na zakwaszenie gleb pod uprawą warzyw, zwłaszcza w tunelach foliowych w wyniku intensywnego nawożenia mineralnego, które zwiększyło kwasowość hydrolityczną, zmniejszając udział kationów zasadowych w kompleksie sorpcyjnym gleby. W glebach upraw gruntowych i tunelowych warzyw zaobserwowano również zmniejszenie zawartości węgla organicznego i akumulację przyswajalnych form potasu i fosforu w porównaniu do gleby nieuprawianej. Akumulacja fosforu i potasu przyswajalnego w glebach pod uprawą warzyw była tak znaczna, że mogła mieć negatywny wpływ na pobieranie innych składników odżywczych przez warzywa, a także niekorzystnie wpływać na środowisko.

Większość gleb uprawnych w Polsce jest raczej niskiej jakości ze względu na piaszczyste uziarnienie, kwaśny odczyn i niską zawartość substancji organicznej, która uznawana jest za decydujący czynnik żyzności gleb. Jednym ze źródeł materii organicznej w glebie uprawnej jest obornik, którego ilość zmniejsza się ze względu na ograniczenie hodowli bydła. Dlatego od dawna prowadzone są badania alternatywnych źródeł materii organicznej, które nie tylko pozwolą zachować, ale i przyczynią się do poprawy jakości gleby. Źródłem materii organicznej o dużym znaczeniu w nawożeniu, szczególnie gleb lekkich, jest węgiel brunatny oraz jego produkty. W związku z tym pracownicy Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie podjęli próbę oceny, czy produkt zawierający kwasy huminowe wytworzony z węgla brunatnego może zastąpić stosowanie obornika, biorąc pod uwagę jego wpływ na właściwości gleby i plony warzyw. Wpływ produktu zawierającego kwasy huminowe na właściwości gleby lekkiej i średniej oraz plon warzyw sprawdzono w 3-letnim doświadczeniu wazonowym

prowadzonym wspólnie z pracownikami Katedry Chemii Rolnej i Środowiskowej UR w Krakowie (II.A.4). Kwasy huminowe zastosowano w dawce pojedynczej, równoważnej ilości kwasów huminowych wprowadzonych z obornikiem oraz w dawce podwójnej. Testowanymi roślinami przez pierwsze dwa okresy wegetacji był seler naciowy (*Apium graveolens* L. var. Dulce (Mill.) Pers.), a w ostatnim por wczesny (*Allium ampeloprasum* L.). Wpływ zastosowanego produktu na właściwości gleby oraz plon badanych roślin oceniano po każdym okresie wegetacji.

Kwasy huminowe stosowane do gleby w postaci ciekłego produktu przyczyniły się w znacznym stopniu do poprawy żyzności gleby i jej jakości. Wpływ pojedynczej dawki kwasów huminowych był zbliżony do działania obornika, podczas gdy podwójnej znacznie większy. Zaobserwowano większe wartości takich parametrów jak suma kationów zasadowych, zawartość węgla organicznego, węgla związanego z kwasami huminowymi i aktywność dehydrogenaz. Pomimo, że produkt zawierający kwasy huminowe zaaplikowano raz przed rozpoczęciem doświadczenia, to pozytywny wpływ, taki jak zwiększony wskaźnik jakości gleby (SQI), zawartość węgla organicznego i węgla związanego z kwasami huminowymi, jak również wzrost plonu selera naciowego i pora wczesnego, obserwowano jeszcze po trzech latach od zastosowaniu preparatu. Na podstawie poprawy jakości gleb, a także wzrostu plonów uzyskanych w wyniku zastosowania preparatu wykazano, że po dodaniu do gleby kwasów huminowych, zmniejsza się zapotrzebowanie na nawożenie mineralne (NPK). Pozytywne efekty stosowania kwasów huminowych były widoczne w zarówno w glebie lekkiej, jak i średniej. Bardziej zdecydowana poprawa właściwości gleby lekkiej, niż średniej sprawia, że kwasy huminowe pozyskiwane z węgla brunatnego są szczególnie cennym produktem, w przypadku ubogich gleb lekkich.

Kontynuacją tych badań była ocena zastosowania preparatu zawierającego kwasy huminowe w uprawie kukurydzy na glebach lekkich i średnich. Obecnie przygotowywana jest do druku publikacja wyników z tej części doświadczenia.

Innym tematem moich badań była ocena wpływu zalesienia glejowych gleb łąkowych na fizyczne, fizykochemiczne i biologiczne właściwości oraz jakość gleb leśnych w zależności od wysadzonych gatunków drzew (*Pinus sylvestris* L., *Alnus glutinosa* L., *Quercus robur* L., *Betula pendula* Roth., *Acer pseudoplatanus* L., *Acer platanoides* L., *Betula pendula* Roth. i *Ulmus laevis* Pall) II.A.5. Zalesienie spowodowało wzrost zawartości węgla organicznego i azotu ogółem, ale tylko w warstwach wierzchnich (0-10 cm) gleb. Stwierdzono, że nastąpiło również typowe dla gleb leśnych obniżenie wartości pH. Procesowi zakwaszenia towarzyszyły zmiany w jakości próchnicy, takie jak niższy stopień humifikacji i mniejsze

wartości stosunku węgla kwasów huminowych do węgla kwasów fulwowych, a także zmniejszenie wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi i obniżenie aktywności enzymatycznej. Na podstawie wyników przeprowadzonych oznaczeń obliczono wskaźnik jakości gleby (SQI), oparty na analizie czynników głównych (PCA), w którym uwzględniono wybrane parametry gleby. Wśród gleb leśnych największą wartość SQI uzyskano dla drzewostanów zdominowanych przez *Alnus glutinosa* L. Przeprowadzona analiza potwierdziła, że ten gatunek jest najbardziej odpowiedni w zalesianiu gleb wilgotnych. Wyniki badań mogą być pomocne w planowaniu dalszych zalesień wilgotnych gleb łąkowych obszaru Krakowa. Kontynuacją powyższej tematyki badawczej są przygotowywane w roku bieżącym 2 publikacje, dotyczące oceny wpływu zróżnicowanego zalesienia na właściwości gleb łąkowych wytworzonych na wapieniach.

Podsumowanie bibliometryczne osiągniętego dorobku publikacyjnego

Oryginalne prace twórcze publikowane były w czasopismach naukowych o zasięgu ogólnokrajowym i międzynarodowym. Wiele prac zostało opublikowanych w *Ecological Chemistry and Engineering*, *Rocznikach Gleboznawczych (Soil Science Annual)*, *Journal of Elementology* oraz *Zeszytach Problemowych Postępów Nauk Rolniczych*. Ważniejsze z nich to: *Geoderma*, *iForest-Biogeosciences and Forestry*, *Journal of Environmental Management* oraz *Polish Journal of Environmental Studies*, które są indeksowane w *Journal Citation Report* i znajdują się na liście A (MNiSW). Łączna miara oddziaływania IF zgodnie z rokiem opublikowania wynosi 12,18 (zgodnie z rokiem 2016 - 14,47). Pełny wykaz opublikowanych prac znajduje się w załączniku 4. Indeks Hirscha wg. *Web of Science* wynosi 3.

Wyniki swoich badań naukowych prezentowałam w formie referatów i posterów na konferencjach krajowych i zagranicznych (wykaz konferencji w załączniku 4).

Tabela 1. Syntetyczne zestawienie dorobku naukowego przed i po doktoracie

Aktywność naukowa	Przed doktoratem	Po doktoracie	Łącznie
Publikacje naukowe razem (z osiągnięciem naukowym)			
Liczba publikacji	3	22	25
Suma punktów MNiSW ^{*1}	13/31 [*]	255/357 [*]	268/388 [*]
Sumaryczny współczynnik wpływu (ang. Impact Factor)	0/0	12,18/14,47 [*]	12,18/14,47 [*]
Liczba cytowań wg. Web of Science (bez autocytowań)	0	70	70
Indeks Hirscha wg. Web of Science	0	3	3
Liczba wszystkich cytowań bez autocytowań	0	70	70
Publikacje w czasopismach z bazy Journal Citation Reports (JCR)			
Liczba publikacji	0	5	5
Suma punktów MNiSW ^{*1}	0	145/145 [*]	145/145 [*]
Sumaryczny współczynnik wpływu (ang. Impact Factor)	0/0	12,18/14,47 [*]	12,18/14,47 [*]
Liczba cytowań wg. Web of Science (bez autocytowań)	0	70	70
Indeks Hirscha wg. Web of Science	0	3	3
Pozostałe publikacje (z osiągnięciem naukowym)			
Liczba publikacji naukowych	3	17	20
Suma punktów MNiSW	13/31 [*]	110/212 [*]	123/243 [*]

* - wartości zgodne z rokiem opublikowania / wartości za rok 2016

Pozostałe osiągnięcia w zakresie pracy naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej zostały przedstawione w załączniku 4 do niniejszego wniosku.

Kraków, 23.04.2019 r.

K. Sobolewska-Podulka.....
podpis wnioskodawcy