



UNIWERSYTET ROLNICZY
im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

DR INŻ. AGNIESZKA JÓZEFOWSKA

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie
Wydział Rolniczo-Ekonomiczny
Instytut Gleboznawstwa i Agrofizyki
Zakład Gleboznawstw i Ochrony Gleb

Tytuł osiągnięcia naukowego:

**PARAMETRY BIOLOGICZNE GLEB ODTWARZANYCH W PROCESIE
REKULTYWACJI NA TERENACH POGÓRNICZYCH**

Autoreferat w języku polskim

Kraków, 2019

**POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE – Z PODANIEM NAZWY,
MIEJSCA I ROKU ICH UZYSKANIA ORAZ TYTUŁU ROZPRAWY
DOKTORSKIEJ**

2003-2008: Uniwersytet Rolniczy im Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział: Rolniczo-Ekonomiczny, Kierunek: Ochrona Środowiska, Specjalność: Ochrona Środowiska Rolniczego.

Temat pracy magisterskiej: „Aktywność dehydrogenaz w różnie użytkowanych glebach Ustronia”. **Promotor:** prof. dr hab. inż. Anna Miechówka **Data obrony:** 24.06.2008 r.

2009-2010: Uniwersytet Pedagogiczny im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie, Studia Podyplomowe przygotowujące do wykonywania zawodu nauczyciela przedmiotów zawodowych.

2008-2012: Studia Doktoranckie, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział: Rolniczo-Ekonomiczny, Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb.

Temat pracy doktorskiej: „Wpływ aktywności biologicznej gleb użytkowanych rolniczo na zawartość różnych form węgla organicznego”. **Promotor:** prof. dr hab. inż. Anna Miechówka, **Recenzenci:** prof. dr hab. Anna Karczewska, dr hab. inż. Krystyna Ciarkowska, **Data obrony:** 20.06.2012 r. data uzyskania stopnia naukowego: 27 czerwca 2012 uchwałą Rady Wydziału Rolniczo-Ekonomicznego.

**INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH
NAUKOWYCH**

01.10.2012 – 2015, asystent, Uniwersytet Rolniczy im Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział: Rolniczo-Ekonomiczny, Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb,

18.07.-19.08.2016, Instytut Biologii Czeskiej Akademii Nauk w Czeskich Budziejowicach, (Biologické centrum AV ČR, v.v.i., VI SoWa)

01.10. 2015 – nadal, adiunkt, Uniwersytet Rolniczy im Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział: Rolniczo-Ekonomiczny, Instytut Gleboznawstwa i Agrofizyki, Zakład Gleboznawstw i Ochrony Gleb

WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA ZGODNIE Z ART. 16 UST. 2 USTAWY Z DNIA 14 MARCA 2003 R. O STOPNIACH NAUKOWYCH I TYTULE NAUKOWYM ORAZ O STOPNIACH I TYTULE W ZAKRESIE SZTUKI (DZ. U. 2016 R. POZ. 882 ZE ZM. W DZ. U. Z 2016 R. POZ. 1311.)

Wykaz prac naukowych wchodzących w skład jednotematycznego cyklu publikacji.

Tytuł osiągnięcia naukowego: „**Parametry biologiczne gleb odtwarzanych w procesie rekultywacji na terenach pogórnicznych**”

- **I.B.1**, Józefowska A., Woś B., Pietrzykowski M., 2016, Tree species and soil substrate effects on soil biota during early soil forming stages at afforested mine sites, *Applied Soil Ecology* 102, 70–79, **35 pkt MNiSW, IF = 2,786**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na ustaleniu koncepcji badań, przeprowadzeniu badań terenowych, poborze próbek glebowych i zwierzęcych i ich przygotowaniu do badań, wykonaniu analiz (oznaczenie aktywności dehydrogenaz i zawartości węgla biomasy mikroorganizmów glebowych), określenie zagęszczenia wazonkowców i dżdżownic, identyfikacji składu gatunkowego dżdżownic, utworzeniu bazy danych, przeprowadzeniu i interpretacji analiz statystycznych, interpretacji uzyskanych wyników, przygotowaniu manuskryptu wraz z tabelami i rycinami. Mój udział procentowy w publikacji wynosi 60%.

- **I.B.2**, Józefowska A., Pietrzykowski M., Woś B., Cajthaml T, Frouz J 2017, The effects of tree species and substrate on carbon sequestration and chemical and biological properties in reforested post-mining soils, *Geoderma* 292 9–16, **35 pkt MNiSW, IF = 3,74**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na ustaleniu koncepcji badań, przeprowadzeniu badań terenowych, poborze próbek glebowych i ich przygotowaniu do badań, utworzeniu bazy danych, przeprowadzeniu i interpretacji analiz statystycznych, interpretacji uzyskanych wyników, przygotowaniu manuskryptu wraz z tabelami i rycinami. Mój udział procentowy w publikacji wynosi 60%.

- **I.B.3**, Józefowska A., Pietrzykowski M., Woś B., Cajthaml T, Frouz J 2017, Relationships between respiration, chemical and microbial properties of afforested mine soils with different soil texture and tree species: Does the time of incubation matter, *European Journal of Soil*, 80, 102-109 **30 pkt MNiSW, IF = 2,068**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na ustaleniu koncepcji badań, przeprowadzeniu badań terenowych, poborze próbek glebowych i ich przygotowaniu do badań, utworzeniu bazy danych, przeprowadzeniu i interpretacji analiz statystycznych, interpretacji uzyskanych

Dr inż. A. Józefowska, „Parametry biologiczne gleb odtwarzanych w procesie rekultywacji ...” - autoreferat

wyników, przygotowaniu manuskryptu wraz z tabelami i rycinami. Mój udział procentowy w publikacji wynosi 60%.

Łączna liczba punktów za publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego, zgodnie z punktacją MNiSW w poszczególnych latach wydania publikacji wynosi **100**, natomiast ich sumaryczny współczynnik wpływu Impact Factor **IF** wynosi **8,594**. Oświadczenia współautorów o ich szczegółowym wkładzie w przygotowanie w/w publikacji znajdują się w załączniku nr 2c do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego.

OMÓWIENIE CELU NAUKOWEGO WW. PRAC I OSIĄGNIĘTYCH WYNIKÓW WRAZ Z OMÓWIENIEM ICH EWENTUALNEGO WYKORZYSTANIA

Wprowadzenie w tematykę badań

W wyniku pozyskiwania surowców metodą odkrywkową przekształceniu ulega krajobraz jak i gleba występująca w danym miejscu. W tych miejscach naturalna pokrywa glebowa jest zdegradowana lub zdewastowana, a roślinność przestaje istnieć. Nowe gleby formuje się na powstałych zwałowiskach lub w wyrobiskach, z występujących tam materiałów macierzystych, które czasami nie mają swoich odpowiedników w przyrodzie (np. skała popiołowa) (Gilewska 2004; Pietrzykowski i Krzaklewski, 2007). Zgodnie z obowiązującym prawem (Dz.U. 2017 poz. 1161) takie tereny poddawane są procesowi rekultywacji, mającemu na celu przywrócenie przekształconego terenu do stanu w jak największym stopniu odpowiadającemu naturalnym ekosystemom występującym w niezmiennym środowisku (Bradshaw, 1997; Pietrzykowski, 2014). Bardzo często pogórnice utwory są ubogie w składniki pokarmowe, mają niekorzystne warunki wodno-powietrzne, niewielką zawartość materii organicznej, skrajne (niskie lub wysokie) wartości pH, są pozbawione agregatowej struktury glebowej lub występuje w nich niekorzystna masywna struktura (Chodak i Niklińska, 2010; Frouz i in., 2013; Weber i in., 2015).

Rozwój gleb i naturalna sukcesja na terenach zdegradowanych w wyniku działalności górniczej przebiega bardzo wolno (Żołnierz i in., 2016). Frouz i in. (2001) badali rozwój organizmów glebowych w różnowiekowych glebach objętych procesem rekultywacji po odkrywkowym wydobyciu węgla w Cottbus (Niemcy) oraz w pobliżu Sokolova (Republika Czeska). Autorzy (Frouz i in. 2001) zauważyli, że zagęszczenie i różnorodność organizmów glebowych zwiększa się wraz z wiekiem rekultywowanych terenów, jednak rozwój organizmów glebowych i tworzenie poziomu organicznego i próchnicznego, przebiega w różnym tempie w zależności od rekultywowanego substratu. W pobliżu Cottbus około 1 cm warstwa świeżej ściółki i warstwa fermentacyjna powstała po 15 latach, w pobliżu Sokolova już po 3 latach. Badania te wskazują, że nie bez znaczenia jest roślinność wykorzystana w procesie rekultywacji oraz utwór mineralny, który był rekultywowany. W pobliżu Cottbus znajdowały się zasobny w węgiel brunatny trzeciorzędowy piasek (lignite rich tertiary sand) porośnięty sosną (*Pinus silvestris* L.) a w okolicach Sokolova występował trzeciorzędowy ił (tertiary clay) porośnięty olszą czarną (*Alnus glutinosa*). Strączyńska i in. (2009) w swoich badaniach odnotowali, że w miejscu składowania popiołów z elektrowni Bełchatów dopiero w 12-letnich nasadzeniach robinii akacjowej (*Robinia pseudoacacia* L.), sosny zwyczajnej (*Pinus*

sylvestris) i brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.) wykształcił się poziom detrytusowy (Olf) o miąższości około 3 cm.

Kluczowym parametrem w technosolach i glebach inicjalnych tworzących się na pogórnicych zwałowiskach i wyrobiskach jest stosunek C:N deponowanych resztek roślinnych, dlatego w początkowym okresie rekultywacji stosuje się odpowiednie mineralne nawożenie startowe zawierające azot, fosfor i potas oraz obsiew roślinami motylkowatymi przeznaczonymi na zielony nawóz, np. *Lupinus* sp. (Krzaklewski i Pietrzykowski, 2009). Następnym krokiem jest wprowadzanie roślin pionierskich, fitoremediacyjnych lub docelowych. Wprowadzenie tych ostatnich musi być poprzedzone intensywnymi zabiegami agrotechnicznymi. Poszczególne gatunki drzew dostarczają do gleby materiał organiczny o różnym składzie chemicznym (Cole i in., 1990; Prescott i Grayston, 2013). Opad z drzew liściastych, zwłaszcza żyjących w symbiozie z organizmami wiążącymi azot atmosferyczny (np. *Alnus* sp. i bakterie z rodzaju *Frankia*) powoduje tworzenie się ściółki typu *mull*, która ma wąski stosunek C:N. Drzewa iglaste przyczyniają się do tworzenia próchnicy typu *mor*, a stosunek C:N jest dużo szerszy niż w przypadku drzew liściastych (Frouz i in., 2013; De Marco i in., 2013; Galka i in., 2014). Roczny przyrost poziomu organicznego w glebie porośniętej drzewami iglastymi jest niewielki, a materiał organiczny jest gromadzony głównie w wierzchniej warstwie gleby (Cools i in., 2014).

Geneza gleby jest związana z rozwojem i funkcjonowaniem całego ekosystemu. Z jednej strony gleba stanowi podstawę do wzrostu roślin oraz magazynowania składników pokarmowych, z drugiej, to dzięki obecności roślin w glebie mogą zachodzić procesy glebotwórcze takie jak np. akumulacja poziomu próchnicznego. Wbudowywanie resztek roślinnych w glebę nie miałyby miejsca bez organizmów glebowych. Mikroorganizmy są kluczowe w wielu cyklach biogeochemicznych i są niezbędne do uruchamiania pierwiastków wchodzących w struktury komórkowe (tj. N, S, P). Fauna glebowa zapewnia wprowadzanie resztek roślinnych do gleby, przyspiesza ich dekompozycję i przyczynia się do wykształcenia trwałej struktury agregatowej w glebie (Boyer i Wratten, 2010; Frouz, 2014).

Gleba jest uważana za magazyn węgla i odgrywa ważną rolę w jego obiegu w ekosystemie (Guo i Gifford, 2002). Do czynników wpływających na zasoby węgla w glebie należą między innymi: uziarnienie i struktura gleby, zawartość kationów np. wapnia i magnezu, roślinność, obecność organizmów glebowych, sposób użytkowania, ukształtowanie terenu i klimat (Wiesmeier i in., 2019). Dzięki aktywności fauny glebowej więcej węgla może być wprowadzanie i magazynowane w głębszych częściach profilu glebowego. Spośród edafonu

aktywność dżdżownic jest ściśle związana ze stosunkiem C:N w ściółce (Frouz 2014). Gleby rekultywowane stanowią duży potencjał do magazynowania węgla ale tylko przy prawidłowo przeprowadzonych zabiegach rekultywacyjnych i dobrym doborze roślinności (Amichev i in., 2004).

OMÓWIENIE GŁÓWNYCH WĄTKÓW SERII PUBLIKACJI SKŁADAJĄCYCH SIĘ NA OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE

Cel i obiekty badań

Celem badań w pierwszej pracy włączonej do jednotematycznego cyklu pt. „Parametry biologiczne gleb odtwarzanych w procesie rekultywacji na terenach pogórnicznych” było określenie w jaki sposób substrat glebowy i różne gatunki drzew kształtują aktywność biologiczną gleby (**I.B.1^a**). Kolejnym celem pracy było sprawdzenie jak kształtuje się zagęszczenie skąposzczetów glebowych (dżdżownic i wazonkowców) w zależności od substratu glebowego i gatunku drzewa. W pracy określono, pośrednio, aktywność mikrobiologiczną poprzez pomiar aktywności dehydrogenaz oraz zawartości węgla biomasy mikroorganizmów.

W drugiej pracy (**I.B.2**) celem badań było określenie wpływu gatunków drzew, materiału macierzystego (substratu) i aktywności biologicznej gleby na sekwestrację węgla i azotu w glebach rekultywowanych oraz poznanie zależności pomiędzy zasobami węgla i azotu a aktywnością mikroorganizmów i fauny glebowej.

W trzeciej pracy (**I.B.3**) celem badań było sprawdzenie czy pomiar respiracji gleby w świeżo przygotowanych próbkach gleby jest miarodajny. Kolejnym celem badań było wskazanie związku respiracji gleby z właściwościami gleby i różnorodnością mikroorganizmów glebowych.

W pracach zostały przedstawione wyniki badań z trzech rekultywowanych miejsc:

- wyrobisko po eksploatacji piasków podsadzkowych kopalni „Szcakowa” (**I.B.1; I.B.2; I.B.3**),
- zwałowisko zewnętrzne po odkrywkowej kopalni siarki „Piaseczno” (**I.B.1; I.B.2; I.B.3**),
- zwałowisko zewnętrzne kopalni odkrywkowej węgla brunatnego „Bełchatów” (**I.B.2; I.B.3**).

^a oznaczenia odpowiadają pozycją z załącznika 3 „Wykaz dorobku ...”

Do badań pobrano próby glebowe z obiektów w różnych układach substrat glebowy – gatunek drzewa (Tab. 1).

Tabela 1. Zestawienie badanych wariantów w poszczególnych terenach pogórnicych (**I.B.1, I.B.2, I.B.3**)

Lokalizacja	Gatunek drzewa	Substrat glebowy	Badane warianty
Piaseczno	<i>Pinus sylvestris</i> (P), <i>Larix decidua</i> (L), <i>Betula pendula</i> (B),	Mieszanka piasków czwartorzędowych, neogeńskich iłów (w tym iłów krakowieckich) (QsNc) i neogeńskie iły (Nc)	P-QsNc, B-QsNc, L-QsNc, Q-QsNc, A-Nc, Q-Nc
Szczakowa	<i>Quercus robur</i> lub <i>Quercus rubra</i> (Q) <i>Alnus glutinosa</i> (A)	Czwartorzędowe piaski (Qs); czwartorzędowe piaski i gliny (Qls);	P-Qls, B-Qls, L-Qls, A-Qls, P-Qs, B-Qs
Bełchatów		Neogeńskie piaski, gliny i iły, węglanowe i zasiarczone (Ns)	P-Ns, B-Ns, A-Ns, Q-Ns

Sposoby oceniania aktywności biologicznej gleby

Aktywność mikroorganizmów może być mierzona w sposób pośredni np. poprzez pomiar aktywności dehydrogenaz (DHA), zawartości węgla biomasy mikroorganizmów (MBC) lub ocenę respiracji gleby a także bezpośrednio poprzez pomiar konkretnych grup mikroorganizmów np. liczenie żywych kultur bakterii lub oznaczenie PLFA (fosfolipidowe kwasy tłuszczowe). Mikroorganizmy glebowe biorą udział w wielu procesach przemiany materii na przykład w obiegu węgla i azotu, które to z kolei związane są z szeregiem różnych elementów przyrody od bilansowania CO₂ w atmosferze przez utrzymanie ekosystemów w równowadze, a kończąc na dostarczaniu niezbędnych składników do rozwoju roślin i zwierząt. Mikroorganizmy glebowe są ważnym elementem funkcjonowania gleby jako żywego elementu ekosystemu, zapewniającego utrzymanie produktywności, jakości środowiska i zdrowia ludzi (Winding i in., 2005), dlatego ocena aktywności mikrobiologicznej gleb przekształconych (zdegradowanych lub zdewastowanych) przez człowieka jest wykorzystywana jako wskaźnik jakości tej gleby oraz zaawansowania przemian materii organicznej (Schloter i in., 2003; Smith i in., 1995).

Pomiar aktywności fauny glebowej można wykonać bezpośrednio, pobierając próby glebowe i ekstrahując z nich organizmy, a następnie określić ich liczebność, biomasę a także skład gatunkowy. Innym sposobem jest ocena śladów ich bytowania w glebie, na przykład poprzez oszacowanie ilości ekskrementów i korytarzy w glebie. Do tego celu możemy używać cienkich szlifów glebowych (preparatów mikromorfologicznych), w których można obserwować ślady aktywności fauny glebowej oraz obliczyć jej procentowy udział w powierzchni preparatu (FitzPatrick 1993). W ten sposób można także dokonać pewnej analizy składu fauny glebowej, ponieważ organizmy takie jak dżdżownice, wazonkowce, skoczogonki, roztocza czy larwy owadów pozostawiają ekskrementy różniące się kształtem i wielkością (FitzPatrick 1993).

W każdej z omawianych publikacji (**I.B.1, I.B.2, I.B.3,**) została określona aktywność mikrobiologiczna gleby oraz aktywność przedstawicieli fauny glebowej jedną z wymienionych powyżej metod. Jak wynika z badań prezentowanych w opracowaniu (**I.B.3**), przy analizie aktywności mikrobiologicznej metodami pośrednimi należy prawidłowo przygotować próby glebowe z uwzględnieniem odpowiedniego czasu inkubacji. Przykładem może być pomiar respiracji gleby. Z badań wynika (**I.B.3**), że respiracja gleby mierzona w świeżo przygotowanym materiale była prawie dwa razy wyższa niż w ośmioletnim, ustabilizowanym materiale. Pomiar respiracji w świeżym materiale pozwolił zaobserwować zależności pomiędzy oddychaniem gleby a obecnością bakterii i grzybów w ściółce. W warstwie mineralnej gleby takie zależności były obserwowane dopiero po ośmiu tygodniach. Głównym powodem różnic jest ograniczona ilość materii organicznej w mineralnej części gleby. Dodatkowo ściółka, jako wierzchnia warstwa, jest ekspozycja na czynniki takie jak dostęp powietrza, wahania temperatury oraz bioturbacje. Uwzględnienie dwóch czasów pomiaru respiracji gleby pozwoliło uchwycić zależności pomiędzy tym procesem a mikroorganizmami glebowymi. Odnotowano, że w procesie respiracji grzyby odgrywają najważniejszą rolę w warstwie ściółki, z kolei w warstwie mineralnej są to bakterie (**I.B.3**).

Wpływ substratu glebowego i roślinności na aktywność mikrobiologiczną gleby

W glebach naturalnych lub w niewielkim stopniu przekształconych przez człowieka aktywność mikroorganizmów zależy od właściwości gleb, m.in. składu granulometrycznego, wartości pH, zawartości węgla organicznego i azotu ogółem, a także innych makro- i mikroelementów. Część z wymienionych właściwości gleb, np. pH, i uziarnienie, są w dużej

mierze uwarunkowane typem materiału macierzystego. Inne właściwości, np. zawartość węgla organicznego i azotu ogółem, podyktowane są głównie okrywą roślinną i resztkami roślinnymi, wprowadzanymi do gleby. We wszystkich pracach (**I.B.1**, **I.B.2**, **I.B.3**) wykazano dodatnią korelację pomiędzy aktywnością mikroorganizmów a zawartością węgla organicznego i azotu ogółem, zawartością frakcji ilowej oraz pH gleby.

Aktywność mikroorganizmów w zreultywowanych glebach w Szczakowej i Piasecznie była związana zarówno z gatunkiem drzewa wprowadzonym na daną glebę jak i utworem macierzystym (substratem) (**I.B.1**). Związek pomiędzy aktywnością mikrobiologiczną a gatunkiem drzewa był najsilniejszy w powierzchniowych (0-5 cm) warstwach gleby. W głębszych warstwach gleby (5-30 cm) aktywność mikroorganizmów (wyrażona poprzez MBC) była związana z dostępnością węgla organicznego, a aktywność enzymatyczna (DHA) była związana z ilością drobnych korzeni (o średnicy poniżej 2 mm) (**I.B.1**). Na podstawie omówionych badań stwierdzono, że drzewa liściaste (*Alnus glutinosa*, *Quercus spp.*), w porównaniu do drzew iglastych (*Pinus sylvestris*, *Larix decidua*), zwiększają aktywność mikrobiologiczną gleb, niezależnie od substratu na którym zostały posadzone (**I.B.1**).

Czynnikiem ograniczającym rozwój mikroorganizmów w glebach rekultywowanych jest dostępność azotu, a dokładniej stosunek C:N zarówno w glebie jak i w resztkach roślinnych wprowadzanych do gleby (**I.B.2**; Chodak i in., 2015). Wszystkie badane grupy bakterii (Promieniowce, Gram+, Gram-) jak i biomasa mikroorganizmów była dodatnio skorelowana z zawartością azotu w glebie, a korelacje te były silniejsze, niż korelacje z zawartością węgla organicznego. W badaniach dowiedziono także, że gdy stosunek C:N jest wysoki, lepiej rozwijają się grzyby w porównaniu do bakterii (**I.B.2**).

Wpływ substratu glebowego i roślinności na obecność skąposzczetów glebowych

Aktywność skąposzczetów (zagęszczenie wazonkowców i dżdżownic oraz biomasa dżdżownic) podobnie jak aktywność mikrobiologiczna, była większa w glebach pod drzewostanami liściastymi w porównaniu do gleb pod drzewostanami iglastymi (**I.B.1**). Fakt ten jest w głównej mierze podyktowany rodzajem i składem liści/szpilek dostających się na powierzchnię gleby, ponieważ to resztki organiczne są głównym pożywieniem skąposzczetów glebowych. Obecność skąposzczetów glebowych jest związana z warunkami wodno-powietrznymi gleby, dlatego zagęszczenie i biomasa tych organizmów była zależna od

substratu glebowego, a zagęszczenie zarówno dżdżownic jak i wazonkowców było dodatnio skorelowane z zawartością frakcji iłowej i pyłowej w substracie glebowym (**I.B.1**).

Dżdżownice wkraczają na tereny rekultywowane wolniej niż wazonkowce (Józefowska i in. w recenzji). Dżdżownice zasiedlające tereny zrekultywowane należą do gatunków powszechnie występujących w Polsce np. w badanych glebach występowały takie gatunki jak: *Dendrobaena octaedra*, *Lumbricus rubellus*, *Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea rosea* i *Octolasion lacteum* (**I.B.1**). Zagęszczenie dżdżownic w glebach wytworzonych z ciężkich utworów (iły neogeńskie) i porośniętych olszą i dębem (*Alnus glutinosa*, *Quercus spp.*) jest większe w porównaniu do zagęszczenia dżdżownic pod drzewostanami iglastymi (*Pinus sylvestris*, *Larix decidua*), i brzozowymi (*Betula pendula*), porastającymi utwory lekkie (piaski i gliny czwartorzędowe).

Fauna glebowa, zwłaszcza dżdżownice, rozdrabnia resztki roślin i wprowadza je do gleby w postaci charakterystycznych koprolitów glebowych. Same dżdżownice asymilują niewielką część resztek (Frouz i Nováková, 2005), ale poprzez ich rozdrabnianie sprawiają, że są one łatwo dostępne dla mikroorganizmów. Dżdżownice tworzą również pory glebowe, które zwiększają udział mezo- i makroporów glebowych w strukturze porowatości gleb. Aktywność fauny glebowej i bakterii jest dodatnio skorelowana z zasobami węgla i azotu w glebie (**I.B.2**). Przytoczone badania potwierdzają, że obecność fauny glebowej sprzyja gromadzeniu zasobów węgla glebowego, z kolei zasoby azotu ogółem w glebie są w większym stopniu regulowane obecnością mikroorganizmów. Aktywność fauny glebowej i mikroorganizmów jest w dużym stopniu uzależniona od gatunku drzewa i rodzaju materiału macierzystego (substratu), co potwierdza, że przy planowaniu zakresu i kierunku rekultywacji powinny być uwzględniane wspólnie roślinność i rekultywowany substrat i właściwości oraz aktywność biologiczna gleb (**I.B.2**).

Zasoby węgla w glebach rekultywowanych

Zgodnie z najnowszym raportem Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu - IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) do 2030 roku emisja gazów cieplarnianych do atmosfery powinna być zredukowana o połowę, a do roku 2050 świat powinien stać się zeroemisyjny, dlatego kluczowe są badania, które przedstawiają sposoby na zwiększenie magazynowania węgla w glebie. Dotychczasowe doniesienia naukowe (np. John i in., 2019; Zhang i in., 2013) wskazują, że fauna glebowa jest niezbędnym elementem w procesach

magazynowania węgla w glebie. Przykładem mogą być badania John i in. (2019), którzy w eksperymencie polegającym na wprowadzeniu do gleby słomy ryżowej, dowiedli, że wazonkowce należące do gatunku *Enchytraeus buchholzi* przyspieszały rozkład słomy i dodatkowo, uwalniały o 35% mniej CO₂ w porównaniu do wariantów kontrolnych.

W pracy Józefowska i in. (I.B.2) stwierdzono, że zasoby węgla glebowego nie były jednoznacznie związane z substratem glebowym lub gatunkiem drzewa. Spośród badanych wariantów największe zasoby węgla odnotowano w powierzchniach porośniętych dębem czerwonym (*Quercus rubra*) na kwaśnych utworach neogeńskich oraz olszą czarną (*Alnus glutinosa*) na czwartorzędowych glinach i piaskach. Stwierdzono, że obecność fauny glebowej, a dokładnie efekty jej bytowania (korytarze, koprolity) oraz biomasa bakterii, promieniowców i bakterii gram+ i gram- sprzyjała akumulacji węgla i azotu w glebie (I.B.2), jednak dokładniejsza analiza statystyczna (korelacja cząstkowa) wykazała, że organizmy glebowe czyli badana fauna glebowa, grzyby i bakterie są ze sobą istotnie skorelowane. Na zasoby węgla w glebie ma wpływ przede wszystkim aktywność fauny glebowej, która wprowadza resztki roślinne do gleby, a zasoby azotu są najsilniej związane z biomasą bakterii. Rozwój gleb w terenach rekultywowanych zaczyna się od przemiany zdeponowanych na powierzchni liści i igieł, które stanowią pożywienie dla organizmów glebowych. Fauna glebowa poprzez wprowadzenie resztek roślinnych bogatych w węgiel inicjuje proces sekwestracji węgla, oraz ułatwia jego przemianę przez mikroorganizmy glebowe (I.B.2).

Podsumowanie i omówienie potencjalnego wykorzystania uzyskanych wyników badań

Celem badań było określenie jakimi parametrami biologicznymi charakteryzują się gleby poddane procesowi rekultywacji oraz jakie są zależności pomiędzy tymi parametrami a właściwościami fizyko-chemicznymi gleb. Ważnym aspektem poruszonym w opracowaniach było określenie w jaki sposób substrat glebowy i gatunek drzewa determinuje rozwój organizmów glebowych oraz wpływa na sekwestrację węgla w glebie. Przeprowadzone badania wpisują się w zakres badań gleboznawczych opisując szeroko rozumiane właściwości biologiczne gleb jako jeden z kluczowych czynników glebotwórczych. Badania te, poza wymiarem aplikacyjnym, polegającym na ocenie procesu rekultywacji i/lub sformułowaniu zaleceń dotyczących rekultywacji terenów bezglebowych, mają też wymiar badań podstawowych. Gleby tworzące się na obszarach pogórnicych dają wyjątkową możliwość pomiaru aktywności biologicznej na różnych etapach formowania gleby, począwszy od stanu

zerowego, dlatego stanowią bardzo dobry model do obserwacji podstawowych zależności pomiędzy roślinami, materiałem macierzystym a właściwościami gleby.

Z przeprowadzonych badań wynika, że aktywność biologiczna odgrywa istotną rolę w procesie rekultywacji gleb pogórnicych i sekwestrowaniu w nich węgla, dlatego należy kłaść większy nacisk na badanie organizmów glebowych w terenach objętych procesem rekultywacji. Mikroorganizmy (np. bakterie i grzyby) oraz fauna glebowa (np. wrotki, nicienie, skoczogonki, dżdżownice) wchodzi w interakcje ze sobą, z roślinami i ze środowiskiem, a ponadto są elementem sieci troficznej oraz biorą udział w obiegu pierwiastków. Badanie aktywności biologicznej gleby dostarcza informacji na temat procesu tworzenia się gleb rekultywowanych, biogeochemicznego obiegu pierwiastków oraz magazynowania węgla w glebie.

W badaniach przedstawionych w publikacjach (**I.B.1, I.B.2, I.B.3**) dowiedziono, że przywrócenie aktywności biologicznej gleb odgrywają główną rolę w odtworzeniu funkcji ekologicznych gleb tworzących się na terenach pogórnicych i powinno być jednym z wyznaczników udanego procesu rekultywacji. Dobrze przeprowadzona rekultywacja powinna w pierwszej kolejności doprowadzić do zaktywizowania mikrobiologicznego gleby, co w konsekwencji powinno umożliwić ponowną kolonizację przez organizmy glebowe.

Kluczowym elementem udanej rekultywacji gleb, czyli m.in. przywrócenia glebie właściwości biologicznych, jest odpowiedni dobór roślin do właściwości fizycznych i chemicznych rekultywowanego substratu glebowego. Wybrane gatunki roślin powinny zapewnić szybką inicjację procesów glebotwórczych, m.in. formowanie się poziomów próchnicznych, przywrócić aktywność biologiczną gleby, a w konsekwencji zapewnić w nowoutworzonej glebie odpowiednie warunki do stabilizacji i sekwestracji węgla. Wyższa aktywność mikrobiologiczna oraz większe zagęszczenie organizmów glebowych występuje w glebach, na których w procesie rekultywacji zastosowano gatunki liściaste (zwłaszcza olszę czarną) w porównaniu do gleb rekultywowanych przy pomocy gatunków iglastych. Po udanej rekultywacji można wprowadzić gatunki docelowe, zgodne z wymaganiami siedliskowymi danego miejsca, lub przeznaczyć gleby na cele rolnicze.

Literatura

Amichev, B.Y., Burger, J.A. and Rodrigue, J.A. (2004) Carbon sequestration by forests and soils on mined land in the midwestern and Appalachian coalfields: Preliminary results, in Proceedings of the 21st Meeting of the American Society for Mining and Reclamation, and 25th West Virginia Surface Mine Drainage Task Force Symposium,

- R.I. Barnhisel (ed), April 18-22, 2004, American Society of Mine Reclamation, 3134 Montavesta Rd., Lexington, KY, pp. 20–46.
- Boyer, S., Wratten, S.D., 2010. The potential of earthworms to restore ecosystem services after opencast mining - A review. *Basic Appl. Ecol.* 11, 196–203.
- Bradshaw, A., 1997. Restoration of mined lands—using natural processes. *Ecol. Eng.* 8, 255–269.
- Chodak, M., Niklińska, M., 2010. Effect of texture and tree species on microbial properties of mine soils. *Appl. Soil Ecol.* 46, 268–275.
- Chodak, M., Pietrzykowski, M., Sroka, K., 2015. Physiological profiles of microbial communities in mine soils afforested with different tree species. *Ecol. Eng.* 81, 462–470.
- Cole, D.W., Compton, J., Vanmiegroet, H., Homann, P., 1990. Changes in soil properties and site productivity caused by red alder. *Water Air Soil Pollut.* 54, 231–246.
- Cools, N., Vesterdal, L., De Vos, B., Vanguelova, E., Hansen, K., 2014. Tree species is the major factor explaining C: N ratios in European forest soils. *For. Ecol. Manage.* 311, 3–6.
- De Marco, A., Esposito, F., Berg, B., Giordano, M., Virzo De Santo, A., 2013. Soil C and N sequestration in organic and mineral layers of two coeval forest stands implanted on pyroclastic material (Mount Vesuvius, South Italy). *Geoderma* 209–210, 128–135.
- Dz.U. 2017 poz. 1161 Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych z późniejszymi zmianami
- FitzPatrick, E. A., 1993, *Soil microscopy and micromorphology* (Vol. 158). Chichester: John Wiley & Sons.
- Frouz, J., B. Keplin, V. Pižl, K. Tajovský, J. Starý, A. Lukešová, A. Nováková, V. Balík, L. Háněl, J. Materna, C. Düker, J. Chalupský, J. Rusek and T. Heinkele. 2001. Soil biota and upper soil layer development in two contrasting post-mining chronosequences. *Ecol. Eng.* 17, 275–284.
- Frouz, J., Nováková, A., 2005. Development of soil microbial properties in topsoil layer during spontaneous succession in heaps after brown coal mining in relation to humus microstructure development, *Geoderma*, 129, 54–64.
- Frouz, J., 2014. The Role of Soil Macrofauna in Soil Formation and Carbon Storage in Post-mining Sites. *Soil Biota Ecosyst. Dev. Post Min. Sites* 236–249.
- Frouz, J., Jílková, V., Cajthaml, T., Pižl, V., Tajovský, K., Háněl, L., Burešová, A., Šimáčková, H., Kolaříková, K., Franklin, J., Nawrot, J., Groninger, J.W., Stahl, P.D., 2013. Soil biota in post-mining sites along a climatic gradient in the USA: Simple communities in shortgrass prairie recover faster than complex communities in tallgrass prairie and forest. *Soil Biol. Biochem.* 67, 212–225.

- Galka, B., Labaz, B., Bogacz, A., Bojko, O., Kabala, C., 2014. Conversion of Norway spruce forests will reduce organic carbon pools in the mountain soils of SW Poland. *Geoderma*, 213, 287-295.
- Gilewska M., 2004. Rekultywacja biologiczna składowisk popiołowych z węgla brunatnego, *Biological reclamation of power plant lignite ash dump sites*, *Soil Science Annual*, 55/2, 103-110.
- Guo, L.B., Gifford, R.M., 2002. Soil carbon stocks and land use change: A meta analysis. *Glob. Chang. Biol.* 8, 4, 345-360.
- John, K., Degtyarev, M., Gorbunova, A., Korobushkin, D., Knöss, H., Wolters, V., Zaitsev, A.S., 2019. Enchytraeids simultaneously stimulate rice straw degradation and mitigate CO₂ release in a paddy soil. *Soil Biol. Biochem.* 131, 191–194.
- Krzaklewski, W., Pietrzykowski, M., 2007. An assessment of energy efficiency in reclamation to forest. *Ecol. Eng.* 30, 341–348.
- Pietrzykowski, M., 2014. Soil quality index as a tool for Scots pine (*Pinus sylvestris*) monoculture conversion planning on afforested, reclaimed mine land. *J. For. Res.* 25, 63–74.
- Pietrzykowski, M., Krzaklewski, W., 2009. Rekultywacja leśna terenów wyrobisk po eksploatacji piasków podsadzkowych na przykładzie kopalni Szczakowa: monografia. Uniwersytet Rolniczy. Wydział Leśny. Katedra Ekologii Lasu.
- Prescott, C.E., Grayston, S.J., 2013. Tree species influence on microbial communities in litter and soil: Current knowledge and research needs. *For. Ecol. Manage.* 309, 19–27.
- Schlöter, M., Dilly, O., Munch, J.C., 2003. Indicators for evaluating soil quality. *Agric. Ecosyst. Environ.* 98, 255–262.
- Smith, J.L., Halvorson, J.J., Papendick, R.I., Schlöter, M., Dilly, O., Munch, J.C., Marinari, S., Mancinelli, R., Campiglia, E., Grego, S., Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., Schuman, G.E., Huddleston, J.H., Doran, J.W., Zeiss, M.R., Baja, S., Chapman, D.M., Dragovich, D., Arshad, M.A., Martin, S., Rinot, O., Levy, G.J., Steinberger, Y., Svoray, T., Eshel, G., Bünemann, E.K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R.E., De Deyn, G., de Goede, R., Flesskens, L., Geissen, V., Kuyper, T.W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J.W., Brussaard, L., Steinhardt, G.C., 1995. Soil quality – A critical review. *Soil Biol. Biochem.* 120, 1484–1491.
- Strączyńska, S., Strączyński, S., Cieścińska, B., Gwiżdż, M., 2009. Właściwości materii organicznej poziomu powierzchniowego gleb antropogenicznych w rejonie Bełchatowa, *Organic matter properties in the surface layer anthropogenic soils in Bełchatów region*, *Soil Science Annual*, 60, 3, 139–144.
- Weber, J., Strączyńska, S., Kocowicz, A., Gilewska, M., Bogacz, A., Gwiżdż, M., Debicka, M., 2015. Properties of soil materials derived from fly ash 11 years after revegetation of post-mining excavation *Catena*, 133, 250-254.

- Wiesmeier, M., Urbanski, L., Hobbey, E., Lang, B., von Lützow, M., Marin-Spiotta, E., van Wesemael, B., Rabot, E., Ließ, M., Garcia-Franco, N., Wollschläger, U., Vogel, H.J., Kögel-Knabner, I., 2019. Soil organic carbon storage as a key function of soils - A review of drivers and indicators at various scales. *Geoderma* 333, 149–162.
- Winding, A., Hund-Rinke, K., Rutgers, M., 2005. The use of microorganisms in ecological soil classification and assessment concepts. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 62, 230–248.
- Zhang, W., Hendrix, P.F., Dame, L.E., Burke, R.A., Wu, J., Neher, D.A., Li, J., Shao, Y., Fu, S., 2013. Earthworms facilitate carbon sequestration through unequal amplification of carbon stabilization compared with mineralization. *Nat. Commun.* 4, 1–9.
- Żołnierz, L., Weber, J., Gilewska, M., Straczyńska, S., Pruchniewicz, D., 2016. The spontaneous development of understory vegetation on reclaimed and afforested post-mine excavation filled with fly ash. *Catena* 136, 84–90.

OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH

Moje kierunki badań, poza tym zaprezentowanym w osiągnięciu naukowym pt. „Parametry biologiczne gleb odtwarzanych w procesie rekultywacji na terenach pogórnich”, wynikają z własnych zainteresowań naukowych i realizacji projektów prowadzonych w macierzystej jednostce oraz w ramach współpracy z innymi jednostkami krajowymi i zagranicznymi. W trakcie 7 lat pracy w Zakładzie Gleboznawstwa i Ochrony Gleb głównym nurtem moich badań była ocena parametrów biologicznych gleb przekształconych w wyniku rolniczej i przemysłowej działalności człowieka. Główne kierunki moich badań zawierają się w tematach:

- 1. *Rozwój gleb i sukcesja roślin na terenach rekultywowanych;***
- 2. *Wpływ sposobu użytkowania gleb na właściwości biologiczne i przemiany węgla;***
- 3. *Geneza, właściwości, klasyfikacja gleb obszarów górskich;***
- 4. *Zanieczyszczenie gleb metami ciężkimi;***
- 5. *Trwałość agregatów glebowych.***

1. *Rozwój gleb i sukcesja roślin na terenach rekultywowanych*

Badania na terenach rekultywowanych realizuję głównie wraz z pracownikami Zakład Ekologii Lasu i Rekultywacji (ZELR), Wydziału Leśnego Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie. Współpraca ta zaowocowała jak do tej pory 6 publikacjami (**I.B.1, I.B.2, I.B.3, II.A.2, II.A.4, II.A.8^a**) zrealizowanymi w ramach grantów pozyskiwanych przez pracowników ZELR. W jednym z grantów byłam wykonawcą (**II.I.11**).

Na terenach pogórnich, poza badaniami opisanymi w osiągnięciu naukowym, uczestniczyłam w realizacji projektu, który dotyczył zależności pomiędzy korzeniami drobnymi (poniżej 2 mm) a zasobami węgla i składników pokarmowych (N, S, P, K, Ca, Mg, Na) w glebach pod nasadzeniami różnych gatunków olsz (*Alnus glutinosa* Gaertn., *Alnus incana* L. Moench i *Alnus viridis* Chiaz D.C.) (**II.A.2**). Głównym celem badań było sprawdzenie przyrostu korzeni drobnych pod nasadzeniami olsz na technosolach wykształconych z odpadów po spalaniu węgla brunatnego oraz inicjalnych glebach powstałych

^a oznaczenia odpowiadają pozycją z załącznika 3 „Wykaz dorobku ...”

z ubogich piasków czwartorzędowych. Na podstawie przeprowadzonych badań udowodniono ważną rolę korzeni drobnych w dostarczaniu węgla i składników pokarmowych zwłaszcza w glebach inicjalnych na ubogich piaskach oraz glebach technogenicznych.

Na terenach pogórnicznych, zajmowaliśmy się również badaniem wpływ substratu glebowego (piasek czwartorzędowy, ił neogeński, glina czwartorzędowa) i gatunku drzewa (*Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth, *Larix decidua* Mill, *Alnus glutinosa* Gaertn.) na rozwój roślinności runa leśnego (II.A.4). Bogactwo gatunkowe i różnorodność zbiorowisk roślinności runa scharakteryzowano za pomocą liczb wskaźnikowych Ellenberga (wilgotności, troficzności i kwasowości gleb). Najmniejszą różnorodność gatunkową zbiorowisk roślin naczyniowych przy jednoczesnym najwyższym wskaźniku troficzności stwierdzono pod olszą na łąkach neogeńskich i glinach czwartorzędowych oraz pod sosną na piaskach czwartorzędowych. Zasobność w azot gleb pod olszami spowodowała, że dominowały tam gatunki o największej sile konkurencyjnej np. *Aegopodium podagraria* i *Geranium robertianum* (na łąkach neogeńskich) oraz *Calamagrostis epigejos* (na glinach czwartorzędowych). Niewielkie bogactwo gatunkowe pod sosną było podyktowane ograniczonym dostępem do światła w warstwie runa. Nie stwierdzono istotnych modyfikacji wskaźnika trofizmu pod wpływem pozostałych badanych gatunków drzew.

W dalszych badaniach, które ukarzą się w czerwcu 2019 roku (II.A.8) oceniliśmy zdolność buforową gleb rekultywowanych. Podobnie jak w poprzednich pracach w tej także badano wpływ dwóch czynników - gatunku drzewa i rodzaju substratu, na zdolność buforową gleb. Badaniami objęto gleby powstałe w procesie rekultywacji wyrobiska po eksploatacji piasków podsadzkowych i zwałowiska zewnętrznego po odkrywkowej kopalni siarki, na których znajdowały się nasadzenia *Pinus sylvestris*, *Betula pendula*, *Quercus robur* lub *Quercus rubra* i *Alnus glutinosa*. Stwierdzono, że pojemność buforowa gleb rekultywowanych, jest dodatnio skorelowana z zawartością materii organicznej oraz frakcji łu i pyłu. Pojemność buforowa gleb jest związana zarówno z substratem glebowym jak i gatunkiem drzewa. Zauważono, że wpływ gatunku drzewa na pojemność buforową gleb jest najsilniejszy w warstwie 0-5 cm, w głębszych warstwach 5-30 cm pojemność buforowa jest związana przede wszystkim z rodzajem substratu glebowego. W badaniach dowiedziono, że spośród wszystkich badanych wariantów, gleby pod nasadzeniami olszy czarnej najlepiej przeciwstawiają się gwałtownym zmianom pH, ponieważ mają największą pojemność buforową.

2. *Wpływ sposobu użytkowania na właściwości biologiczne gleb i przemiany węgla w glebie*

Badania związane z wpływem dwóch sposobów użytkowania gleb w terenach górskich – użytków zielonych i gruntów ornych, na właściwości gleb rozpoczęłam w trakcie studiów doktorskich, najpierw jako wykonawca w granicie *Wpływ sposobu użytkowania na zasoby węgla organicznego, azotu i siarki w glebach górskich zagospodarowanych rolniczo (II.I.13)*, a następnie jako główny wykonawca w granicie promotorskim *Wpływ aktywności biologicznej gleb użytkowanych rolniczo na zawartość różnych form węgla organicznego (II.I.12)*. W latach 2008-2012 w trakcie realizacji pierwszego projektu byłam współautorką dziewięciu prac naukowych z tego zakresu (**II.D.5, II.D.6, II.D.7, II.D.8, II.D.10, II.D.11, II.D.12, II.D.14, II.D.16**). Grant promotorski zakończyłam obroną pracy doktorskiej w formie monografii pt. *Wpływ aktywności biologicznej gleb użytkowanych rolniczo na zawartość różnych form węgla organicznego*, na podstawie której opublikowałam dwa artykuły (**II.A.7, II.D.4**). Po rozpoczęciu pracy w Katedrze Gleboznawstwa i Ochrony Gleb (obecnie Zakład Gleboznawstwa i Ochrony Gleb) kontynuowałam badania związane z wpływem sposobu użytkowania na właściwości gleb. Od 2015 roku realizuję badania na terenie Pienińskiego Parku Narodowego dotyczące różnych sposobów gospodarowania na półnaturalnych łąkach oraz wpływu sukcesji leśnej na właściwości gleb. Wymienione badania realizuję w ramach środków pozyskanych z dotacji celowej na prowadzenie badań naukowych lub prac rozwojowych oraz zadań z nimi związanych, służących rozwojowi młodych naukowców oraz uczestników studiów doktoranckich finansowanych w wydziałowym trybie konkursowym (**II.I.2, II.I.3, II.I.4, II.I.10**). Wyniki badań dotyczące tego tematu opisałam wraz z współautorami w jednej publikacji naukowej (**II.A.3**).

Celem prac realizowanych na terenie Pogórza Ciężkowickiego, Pogórza Śląskiego, Beskidu Małego i Beskidu Śląskiego (**II.D.7, II.D.11, II.D.12, II.D.14**) było określono aktywność mikrobiologiczną gleb, na podstawie zawartości węgla i azotu biomasy mikroorganizmów oraz aktywności dehydrogenaz w różnie użytkowanych glebach rolniczych – grunty orne - użytki zielone. W pracach Miechówki i innych (**II.D.6, II.D.8, II.D.16**) głównym celem badań było określenie zasobów węgla, azotu i siarki w różnie użytkowanych glebach. Stwierdzono, że w warstwie 0-30 cm zdeponowana jest największa część zasobów węgla i azotu. Udowodniono, że warstwa 0-30 cm jest wystarczająca przy porównywaniu różnego sposobu użytkowania gruntów rolnych, a przy obliczaniu zasobów w glebach terenów

górkich należy uwzględnić obecność szkieletu w glebie. W badaniach wykazano również, że zasoby węgla i azotu są zróżnicowane nie tylko w zależności od sposobu użytkowania, ale także pomiędzy badanymi mezoregionami. W terenach górskich, w kierunku z zachodu na wschód, obserwuje się zmniejszenie zasobów węgla i azotu. Takie różnice mogą być podyktowane m.in. różną ilością opadów w poszczególnych mezoregionach. Niższe opady powodują mniejsze uwilgotnienie gleby, co przyczynia się do spowolnienia humifikacji przy jednoczesnej szybszej mineralizacji próchnicy, co w konsekwencji ma wpływ na akumulację węgla i azotu w glebie. W glebach o różnych sposobach użytkowania odnotowano również dodatnią korelację badanych zasobów z porowatością gleby, przy czym w glebach gruntów ornych zależności ta była silniejsza.

Celem prac powstałych z kolejnego projektu (**II.I.12, II.D.4, II.A.7**) było zbadanie wpływu sposobu użytkowania na właściwości biologiczne gleb. Stwierdzono, że na aktywność biologiczną wyrażoną poprzez zawartość węgla biomasy mikroorganizmów, aktywność enzymatyczną, obecność dżdżownic i wazonkowców największy wpływ ma dostępność pokarmu czyli zawartość materii organicznej. W przypadku aktywności mikrobiologicznej jest ona ściśle związana z obecnością w glebie węgla rozpuszczalnego w wodzie. Aktywność biologiczna poziomów powierzchniowych zależy od sposobu użytkowania gleb i jest wyższa w glebach użytków zielonych niż gruntów ornych. Uznano, że zarówno aktywność enzymów – dehydrogenaz, ureaz i inwertaz, jak i liczebność mezo- i makrofauny glebowej – wazonkowców i dżdżownic, jest dobrym wskaźnikiem jakości gleby i zmian gleby zachodzących pod wpływem różnorodnego użytkowania rolniczego.

Półnaturalne łąki i pastwiska są elementem niezbędnym do zachowania w terenach górskich cennych przyrodniczo siedlisk m.in. łąk mieczykowo-mietlicowych (*Gladiolo-Agrostietum*) lub ciepłolubnych łąk pienińskich (*Anthyllidi-Trifolietum montani*), które cechują się bardzo dużą bioróżnorodnością. Półnaturalne łąki podlegają ochronie aktywnej w ramach projektu PL0108 sieci Natura 2000. Do utrzymania takich siedlisk w panujących w Karpatach warunkach klimatycznych niezbędna jest ekstensywna działalność człowieka polegająca na wypasie lub koszeniu. W dzisiejszych czasach, kiedy utrzymanie niskoplonujących łąk jest nieopłacalne z ekonomicznego punktu widzenia zasadne jest pytanie jaki wpływ na właściwości gleb ma alternatywne do ręcznego koszenia, koszenie mechaniczne lub zaprzestanie koszenia. Na podstawie interdyscyplinarnych badań (**II.A.3**) obejmujących analizę składu gatunkowego roślin, wazonkowców, dżdżownic oraz badania mikrobiologiczne a także ocenę właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych gleby udowodniono, że

nie ma optymalnego sposobu użytkowania dla rozwoju wszystkich badanych grup organizmów. Dla roślin najważniejsze jest niezaprzestanie użytkowania kośnego, dżdżownice w większej ilości występują na łąkach koszonych, wazonkowce preferują obiekty nieużytkowane kośnie, a sposób gospodarowania na łąkach nie wpływa istotnie na liczebność badanych grupy mikroorganizmów (**II.A.3**).

Oceniałam również wpływ zadrzewień śródpolnych na aktywność dehydrogenaz w glebach na sąsiadujących z zadrzewieniami polach uprawnych (**II.D.9**). W badaniach dowiedziono, że najwyższa aktywność dehydrogenazy występowała w strefie 0-2 m od zadrzewień robinii akacjowej, a największy wpływ na aktywność tych enzymów miała zawartość węgla organicznego, wartość stosunku C:N oraz pojemność sorpcyjna gleby.

W ciągu mojej dotychczasowej pracy naukowej napisałam dwa artykuły dotyczące badania materii organicznej gleb, jeden przeglądowy dotyczący głównie form materii organicznej (**II.D.15**) a drugi na temat zagadnień metodycznych oznaczania węgla organicznego w glebie (**II.D.10**).

W pracy Józefowska i Miechówka (**II.D.10**) wykazano, że metoda Tiurina daje porównywalne wyniki zawartości węgla organicznego z aktualnie stosowanymi metodami suchego spalania w analizatorach TOC (np. TOC-TN 1200), a jedynie w glebach ze śladami oglejenia metoda Tiurina może dawać średnio o 3% wyższe wyniki niż metoda suchego spalania.

3. Geneza, właściwości i klasyfikacja gleb górskich

W ramach współpracy mojej macierzystej jednostki ZGiOG z Pienińskim Parkiem Narodowym od 2015 roku biorę udział w zespołowych badaniach gleboznawczych kierowanych przez dra hab. Tomasz Zaleskiego, mających na celu aktualizację mapy gleb Pienińskiego Parku Narodowego oraz określenie przynależności systematycznej gleb znajdujących się na leśnych powierzchniach monitoringowych Parku (**II.I.3-6, II.E.1-4**). Tematem kolejnego projektu realizowanego przez zespół kierowany przez dra hab. Tomasz Zaleskiego jest ocena wpływu sukcesji leśnej na właściwości gleb (**II.I.3**). Badania gleboznawcze w PPN będą kontynuowane do końca 2019 roku.

Prace terenowe uzupełnione o wyniki podstawowych właściwości fizyko-chemicznych gleb (miąższość poziomu próchnicznego i profilu glebowego, zawartość węgla organicznego, azotu ogółem i przyswajalnych składników pokarmowych: Mg, P, K, skład granulometryczny

i pH gleby) umożliwiły stworzenie bazy danych, która posłużyła do opracowania cyfrowej Mapy gleb obszarów leśnych Pienińskiego Parku Narodowego (**II.D.2, II.E.1**). Na podstawie zgromadzonych obszernych danych dokonano także oceny trofizmu siedlisk (**II.D.1**) w oparciu o wartość siedliskowego indeksu glebowego dla obszarów górskich SIGg. Z tych badań wynika, że gleby leśne Pienińskiego Parku Narodowego porośnięte głównie przez żyzną buczynę karpacką charakteryzują się większą żyznością w porównaniu do gleb leśnych z innych górskich regionów w Polsce.

W Pieninach i na Podhalu, jako promotor pomocniczy (**III.K**), uczestniczyłam w badaniach doktorantki mgr inż. Joanny Kowalskiej. Celem badań była ocena wpływu procesów stokowych i materiałów macierzystych zasobnych w węglany na formowanie się gleb (**II.A.1**). W badaniach dokonano oceny morfologii i właściwości fizyko-chemicznych poziomów genetycznych z dziesięciu profili glebowych zlokalizowanych w polskich Karpatach Zewnętrznych. Stwierdzono, że gleby zasobne w węglan wapnia formują się *in-situ* jednak przeprowadzone badania wskazują, że na powstawanie tych gleb znaczny wpływ mają procesy stokowe oraz eoliczne, które wzbogacały badane gleby w obcy materiał. We wszystkie glebach, niezależnie od materiału, z którego powstały, zauważono wpływ procesów stokowych, czego wynikiem jest charakterystyczna niejednorodność profilu glebowego. Stwierdzono, że wzbogacenie w wapń takich gleb jest spowodowane przede wszystkim składem mineralnym materiału macierzystego, ale również migracją węglanu wapnia w obrębie profilu glebowego. Na podstawie niniejszych badań (**II.A.1**) określono cztery potencjalne drogi ewolucji gleb wytworzonych z materiałów macierzystych zasobnych w węglan wapnia od Leptosoli do Cambisoli, do Stagnosoli lub do Luvisoli.

4. Zanieczyszczenie gleb metami ciężkimi

W trakcie swojej pracy badawczej zajmowałam się również zagadnieniem zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi (**II.A.6, II.D.3, II.D.5**). Na uwagę zasługuje fakt, że w pracach na temat metali ciężkich, których jestem współautorką skupialiśmy się nie tylko na zawartości metali, ale przede wszystkim na akumulacji w glebach i porównaniu stężeń metali z tłem geochemicznym. Jedna z wymienionych publikacji (**II.A.6**) na trwałe wpisała się do światowej literatury z zakresu zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi i jest często cytowana (WoS 25.02.19 liczba cytowani 29).

W glebach narażonych na zanieczyszczenie metalami ciężkimi najwyższą zawartość metali stwierdzono w warstwach powierzchniowych profilu glebowego (**II.A.6, II.D.3, II.D.5**). W badaniach na obszarze Pogórza Śląskiego i Ciężkowickiego (**II.D.3**) stwierdzono, że zanieczyszczenie gleb cynkiem, kadmem i ołowiem jest większe w warstwach 0-30 cm w porównaniu do poziomów materiału macierzystego. Gleby te charakteryzowały się najczęściej naturalną zawartością ołowiu, kadmu i cynku. Z przeprowadzonych badań wynika, że gleby Pogórza Śląskiego miały wyższy wskaźnik akumulacji ołowiu i kadmu i wyższy współczynnik wzbogacenia w ołów niż gleby zlokalizowane na Pogórzu Ciężkowickim (**II.D.3**).

Badania Mazurka i innych (**II.A.6**) koncentrowały się na ocenie wpływu drogi przebiegającej przez Roztoczański Park Narodowy i zanieczyszczeń gleb metalami ciężkimi będących konsekwencją ruchu samochodowego. Okazało się, że zawartość metali (Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb i Zn) w badanych glebach nie przekracza średniej zawartości metali ciężkich w podobnych do badanych, piaszczystych glebach Europy i Świata. W badaniach, na podstawie policzonych wskaźników (m.in. indeks biogeochemiczny), zauważono, że poziom ektohumusowy spełnia funkcję filtra biogeochemicznego, a wysoka zawartość nierozłożonej materii organicznej w tym poziomie ma dużą zdolność wiązania metali ciężkich oraz utrudnia ich przemieszczanie się w głąb profilu (**II.A.6**).

Inne badania, w których brałam udział (**II.D.3**) wykazały, że w poziomach organicznych ściółki gleb Pienińskiego Parku Narodowego występuje podwyższone, w stosunku do tła geochemicznego, stężenie rtęci.

5. *Trwałość agregatów glebowych*

Znaczące miejsce w moich badaniach zajmuje praca na temat oznaczania trwałości agregatów glebowych metodą dyfrakcji laserowej, która powstała dzięki współpracy pracowników z mojej macierzystej jednostki i pracowników z Instytutu Agrofizyki Polskiej Akademii Nauk w Lublinie. Opracowanie i opublikowanie (**II.A.5**) nowej metody oceny trwałości agregatów dało mi możliwość zastosowania tej metody w następnych pracach naukowo-badawczych. W ramach realizacji projektu (**II.I.7**) uczestniczyłam w stażu naukowym w Instytucie Agrofizyki PAN w Lublinie (**III.L.2**), w trakcie którego z powodzeniem wykorzystałam nową technikę badawczą. Wyniki z projektu zaprezentowane w trakcie 4 Sympozjum Fizyki Gleby (**II.K.1**) zostały dobrze odebrane na forum

międzynarodowym. W przyszłości, wraz z naukowcami z Instytutu Agrofizyki PAN, planujemy opublikować kolejne prace z tego tematu.

W pracy Bieganowskiego i innych (II.A.5) przedstawiono ulepszoną metodę oceny trwałości agregatów glebowych za pomocą pomiaru rozkładu wielkości cząstek uzyskanego metodą dyfrakcji laserowej (ASILD). Autorzy podkreślili, że zaproponowana metoda ma szersze zastosowanie niż powszechnie stosowana do tej pory metoda mokrego przesiewania (wet-sieving method). W trakcie pomiaru metodą ASILD agregaty glebowe rozbijane są całkowicie, co nie ma miejsca w metodzie przesiewania na mokro w przypadku bardzo trwałych agregatów.

Wskaźniki parametryczne dorobku naukowego

Według bazy Web of Science liczba cytowani moich prac wynosi **61**, sumaryczny Impact Factor publikacji naukowych według listy Journal Citation Reports (JCR) zgodnie z rokiem opublikowania wynosi **32,204**, indeks Hirscha opublikowanych publikacji według bazy Web of Science **3** (dane z dn. 11.03.2019). Łączny dorobek naukowy wg punktacji zgodnej z rokiem publikacji w czasopismach z listy czasopism punktowanych MNiSW wynosi **418**, w tym **100** punktów z publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego.

Tabela 2. Dane bibliometryczne osiągniętego dorobku naukowego przed i po uzyskaniu stopnia doktora

Wyszczególnienie	Przed doktoratem			Po doktoracie			Łącznie		
	liczba	pkt. MNiSW	IF	liczba	pkt. MNiSW	IF	liczba	pkt. MNiSW	IF
Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego	-	-	-	3	100	8,594	3	100	8,594
Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie JCR (lista A MNiSW)	-	-	-	7	215	23,61	7	215	23,61
Publikacje naukowe w czasopismach nie znajdujące się w bazie JCR (lista B MNiSW)	9	48	0	4	38	0	13	86	0
Monografie	3	12	0	1	5	0	4	17	0
Razem	12	60	0	15	323	32,204	27	418	32,204