



# UNIwersytet PRZYRODniczy WE WROcławIU

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
Wydział Przyrodniczo - Technologiczny  
Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska

Dr inż. Bernard Gałka

**Załącznik 3a**

**Autoreferat**

**Opis dorobku i osiągnięć naukowych  
w języku polskim**

Wrocław 2016

## SPIS TREŚCI

1. Przebieg pracy zawodowej	3
2. Omówienie osiągnięcia naukowego - jednotematyczny cykl publikacji pod wspólnym tytułem: Wpływ jednogatunkowych drzewostanów świerkowych na właściwości gleb górskich i spodziewane efekty przebudowy składu drzewostanu na przykładzie Gór Stołowych	4
3. Omówienie pozostałych osiągnięć badawczo – naukowych	14

## Przebieg pracy zawodowej

1. Imię i nazwisko: **Bernard Andrzej Gałka**

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

- magister inżynier rolnictwa, 1992, Wydział Rolniczy Akademii Rolniczej we Wrocławiu

- doktor nauk rolniczych w zakresie agronomi, 1999, Wydział Rolniczy Akademii Rolniczej we Wrocławiu

Tytuł rozprawy doktorskiej: **Właściwości wodne gleb i ich wpływ na plonowanie roślin w warunkach badań lizymetrycznych**

Promotor: prof. dr hab. Tadeusz Chodak

Recenzenci: prof. dr hab. Stanisław Drzymała AR Poznań  
prof. dr hab. Leszek Szerszeń

- **Studia Podyplomowe Hodowla Lasu**, 2003, Akademia Rolnicza im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu, Wydział Leśny

3. Przebieg pracy zawodowej w jednostkach naukowych

15.03.1994 – 31.10.1999, asystent, Instytut Gleboznawstwa i Ochrony Środowiska Rolniczego, Akademia Rolnicza we Wrocławiu (mianowanie, umowa o pracę)

1.11.1999 – do chwili obecnej, adiunkt, Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu ( mianowanie, umowa o pracę na czas nieokreślony)

Tytuł osiągnięcia naukowego (jednotematyczny cykl publikacji pod wspólnym tytułem):

**WPLYW JEDNOGATUNKOWYCH DRZEWOSTANÓW ŚWIERKOWYCH  
NA WŁAŚCIWOŚCI GLEB GÓRSKICH  
I SPODZIEWANE EFEKTY PRZEBUDOWY SKŁADU DRZEWOSTANU  
NA PRZYKŁADZIE GÓR STOŁOWYCH**

Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe:

1. Gałka B., Podlaska M., Kabała C. 2013. Siedliskotwórcze właściwości gleb brunatnych kwaśnych wytworzonych z granitoidów w Górach Stołowych. Sylwan 157, 5, 385-394; **15 pkt - IF 0,295** (udział - 60%: koncepcja pracy, badania terenowe i laboratoryjne, przygotowanie pracy do druku)
2. Gałka B., Kabała C., Łabaz B., Bogacz A. 2014. Wpływ drzewostanów o zróżnicowanym udziale świerka na gleby różnych typów siedliskowych lasu w Górach Stołowych. Sylwan 158, 9, 684-694; **15 pkt – IF 0,322** (udział - 60%: koncepcja pracy, badania terenowe i laboratoryjne, przygotowanie pracy do druku)
3. Gałka B., Łabaz B., Bogacz A., Bojko O., Kabała C. 2014. Conversion of Norway spruce forests will reduce organic carbon pools in the mountains soils of SW Poland. Geoderma 213, 287-295; **40 pkt - IF 2,772** (udział - 60%: koncepcja pracy, badania terenowe i laboratoryjne, przygotowanie pracy do druku)
4. Łabaz B., Gałka B., Bogacz A., Waroszewski J., Kabała C. 2014. Factors influencing humus forms and forest litter properties in the mid-mountains under temperate climate of southwestern Poland. Geoderma 230-231, 265-273; **40 pkt - IF 2,772** (udział - 35%: koncepcja pracy, badania terenowe i laboratoryjne, przygotowanie pracy do druku)
5. Gałka B., Łabaz B. 2014. Skład frakcyjny materii organicznej powierzchniowych poziomów próchnicznych gleb leśnych Gór Stołowych. Sylwan 158, 1, 18-25; **15 pkt – IF 0,322** (udział - 50%: koncepcja pracy, badania terenowe i laboratoryjne, przygotowanie pracy do druku)

## **Wprowadzenie i cel**

Skutki ingerencji człowieka w ekosystemy specyficznie przejawiają się w glebach leśnych, w których, przy względnie dobrze zachowanej morfologii profilu glebowego można obserwować chemiczne przejawy tych zmian. Względnie dobrze rozpoznane są negatywne siedliskowe skutki zakładania monokulturowych upraw zarówno na powierzchniach już wcześniej zalesionych, jak i na gruntach porolnych. Jako sposób na zahamowanie procesów zakwaszenia i ługowania składników pokarmowych zaleca się przebudowę drzewostanów iglastych przez wprowadzenie odpowiednich gatunków drzew liściastych. O ile jednak już dość dobrze rozpoznano efektywność przyrostu drzewostanu przebudowywanego, jak i podsadzanych drzew, o tyle skutki zmiany składu drzewostanu w środowisku glebowym są nadal niewystarczająco poznane dla różnych siedlisk i zbiorowisk leśnych, szczególnie na terenach górskich.

Podstawowym celem badań podjętych na obszarze Parku Narodowego Gór Stołowych (PNGS) była weryfikacja hipotezy roboczej o negatywnym wpływie jednogatunkowych (plantacyjnych) drzewostanów świerkowych na właściwości fizykochemiczne i chemiczne gleb oraz ich wartość troficzną (siedliskotwórczą), niezależnie od rodzaju podłoża geologicznego, a także o możliwości relatywnie szybkiej naprawy zniekształconych właściwości gleb poprzez przebudowę monokultur świerkowych na drzewostany mieszane lub liściaste. Ustalenia te pomogą zweryfikować politykę przebudowy górskich drzewostanów iglastych w Polsce oraz mogą być przydatne przy formowaniu zaleceń dla pro-środowiskowo zorientowanej gospodarki leśnej. Ponadto, w badaniach zwrócono uwagę na charakterystykę materii organicznej oraz na kształtowanie się zasobów materii organicznej (w kontekście polityki zapobiegania zmianom klimatycznym poprzez zwiększanie wiązania CO<sub>2</sub> w glebach).

Wybór PNGS jako obszaru testowego podyktowany został dużą różnorodnością geologiczną, glebową i siedliskową Gór Stołowych, a także występowaniem drzewostanów o różnym składzie i stopniu dopasowania do warunków siedliskowych.

## **Najważniejsze wyniki**

### **Wartość troficzna gleb górskich i ocena stopnia jej przekształcenia pod monokulturami świerkowymi na przykładzie gleb wytworzonych z granitoidów**

(Gałka B. Podlaska M., Kabała C. 2013. Siedliskotwórcze właściwości gleb brunatnych kwaśnych wytworzonych z granitoidów w Górach Stołowych. Sylwan 157, 5, 385-394)

Jeszcze na etapie inwentaryzacyjnych prac gleboznawczych po utworzeniu PNGS zwrócono uwagę, że gleby brunatne wytworzone z granitoidów w południowej części Gór

Stołowych tworzą siedliska zróżnicowane, ale na ogół wskazujące na wyższą zasobność niż siedliska borowe. A mimo to niemal w całości pokryte były monokulturami świerkowymi. Jednocześnie zwrócono uwagę, że gleby te nie są wcale, lub są tylko w minimalnym stopniu są zbielicowane [Kabała 2005], co wskazywałoby, że monokulturowe drzewostany świerkowe są elementem sztucznym i młodym na tych glebach. Podjęte bardziej szczegółowe badania, obejmujące analizę gleboznawczą, fitosocjologiczną i siedliskoznawczą, miały na celu określenie siedliskotwórczej (przede wszystkim troficznej) wartości gleb brunatnych wytworzonych z granitoidów, a także ocenę stopnia przekształcenia ich właściwości (degradacji?) przez monokultury świerkowe.

W odróżnieniu od obszarów granitowych Karkonoszy, w masywie Czarnej i Kruczej Kopy w PNGS przeważają gleby głębokie i bardzo głębokie, o uziarnieniu gliny piaszczystej w całym profilu, lub gliny przechodzącej stopniowo w szkieletowy piasek gliniasty, a następnie w utwór piaszczysto - szkieletowy. Gleby te są słabo zróżnicowane pod względem typologicznym i w większości należą do gleb brunatnych kwaśnych (wg klasyfikacji gleb leśnych Polski 2000), według Systematyki PTG5 (2011) - gleb brunatnych dystroficznych, w klasyfikacji międzynarodowej WRB - Dystric Skeletic Cambisols. W analizowanych glebach występuje na ogół próchnica typu moder świeży z ektopróchnicą o grubości 3–6 cm. U podnóżu stoków, szczególnie przy wkraczaniu gatunków liściastych, występuje próchnica mul–moder lub nawet mul świeży. Zawartość węgla organicznego jest relatywnie wysoka w warstwach powierzchniowych i maleje z ok. 4,9% w poziomie A do ok. 0,7% w poziomie C. Zawartość azotu jest względnie wysoka tylko w płytkim poziomie A (średnio 0,24%), ale stosunek C:N w poziomie A, około 20–22, świadczy o dużej aktywności biologicznej oraz wyjaśnia występowanie próchnic typu moder i mul–moder. Wszystkie analizowane gleby, odznaczają się odczynem silnie kwaśnym. W poziomie skały macierzystej gleby mają pH H<sub>2</sub>O 4,3–5,4 i ku powierzchni obniża się do pH H<sub>2</sub>O 3,4–4,2 w poziomie A. Obserwacje roślinności runa dały zróżnicowane wyniki w zależności od składu gatunkowego drzewostanów, a szczególnie od udziału świerka. Pod drzewostanami z dominacją świerka dominuje roślinność siedlisk borowych z *Vaccinium myrtillus*, *Deschampsia flexuosa*, *Dicranum scoparium*, a także z *Maianthemum bifolium*, *Oxalis acetosella* i *Senecio fuchsii*. Niemal wszędzie można jednak zauważyć *Rubus idaeus*, wietlicę *Athyrium filix–femina* i *Gymnocarpion dryopteris*, a nawet *Galium odoratum*, których udział wyraźnie rośnie przy większym udziale buka i zmianie rodzaju ektopróchnicy. Znaczny udział gatunków o większych wymaganiach wskazuje na zniekształcenie siedlisk o potencjalnie wyższej troficzności, „maskowanej” w efekcie dominacji świerka. Inaczej kształtuje się roślinność runa pod drzewostanami mieszanymi z bukiem, gdzie

udział gatunków o większych wymaganiach siedliskowych jest zdecydowanie wyższy. Wartości SIG wahały się w wąskim zakresie od 29 do 31 pod monokulturami świerkowymi i od 30 do 33 pod drzewostanami mieszanymi z bukiem. Oznacza to, że wszystkie analizowane gleby tworzą siedliska mezotroficzne, właściwe dla lasów mieszanych (górskich). Jednocześnie, niewielka różnica między wartościami SIG pod drzewostanami świerkowymi i mieszanymi wskazuje, że monokultury świerkowe nie spowodowały znaczącej degradacji tych siedlisk pod względem troficznym.

### **Wpływ monokultur świerkowych na właściwości gleb w różnych typach siedlisk leśnych**

(Gałka B., Kabała C., Łabaz B., Bogacz A. 2014. Wpływ drzewostanów o zróżnicowanym udziale świerka na gleby różnych typów siedliskowych lasu w Górach Stołowych. Sylwan 158, 9, 684-694)

Rozwinięciem badań w granitowej części Gór Stołowych były prace na 373 powierzchniach monitoringu środowiska leśnego rozmieszczonych równomiernie na powierzchni całego PNGS. Badania porównawcze były możliwe dzięki temu, że drzewostany świerkowe pokrywają nie tylko większość gleb bielicowych wytworzonych z piaskowców, ale zostały także wprowadzone na część gleb brunatnych i płowych wytworzonych z mułowców i piaskowcach permskich, tworzących siedliska sprzyjające gatunkom liściastym. Dla uzyskania większej porównywalności i przejrzystości wyników, zbiór danych poklasyfikowano według typów siedliskowych lasu oraz dominującego składu drzewostanu.

Pod drzewostanami świerkowymi odnotowano znaczące obniżenie pH we wszystkich analizowanych warstwach, najsilniej warstwie 0–10 cm. Różnice między drzewostanami iglastymi i liściastymi są najmniejsze na siedliskach borowych, a największe na siedliskach lasowych. Oznacza to, że domieszka lub nawet przewaga gatunków liściastych na siedlisku borowym nie jest w stanie znacząco podwyższyć pH gleby, podczas gdy dominacja świerka na siedliskach eutroficznych powoduje istotne ich zakwaszenie, przynajmniej do głębokości 20 cm. Kwasowość wymienna oraz stężenie glinu wymiennego również są wyższe pod monokulturami świerkowymi, ale prawidłowości te nie są tak czytelne jak w przypadku pH.

Suma wymiennych kationów zasadowych w powierzchniowej warstwie gleb siedlisk lasowych była pod drzewostanami bukowymi dwukrotnie większa niż pod mieszanymi i 3–4-krotnie wyższa niż pod świerkowymi. Jednocześnie na siedliskach borowych nie stwierdzono istotnej różnicy w zawartości kationów wymiennych między drzewostanami świerkowymi, mieszanymi i bukowymi.

Zawartość przyswajalnych form najważniejszych makroskładników w powierzchniowej warstwie gleb pod różnymi drzewostanami kształtuje się w niejednakowy sposób. Ma-

gniez przyswajalny różnicuje się w sposób podobny do sumy kationów zasadowych, czyli jego zawartość ogólnie zmniejsza się w gradiencie troficznym LG>LMG>BMG>BG i jest istotnie wyższa pod drzewostanami bukowymi niż świerkowymi na siedliskach lasowych oraz brak różnicy na siedliskach borowych. Zawartość potasu przyswajalnego również zmniejsza się w podobnym gradiencie siedliskowym, jednak istotnie wyższe stężenia potasu pod drzewostanami liściastymi (w porównaniu do iglastych) występują nie tylko w glebach siedlisk lasowych, ale i boru mieszanego. W przypadku fosforu przyswajalnego nie stwierdzono jednoznacznego gradientu siedliskowego ani jednoznacznego wpływu świerka (na siedlisku BG zawartość fosforu pod świerkiem jest mniejsza niż pod bukiem, ale na siedliskach LG i LGM – odwrotnie). Relatywnie wysoka zawartość fosforu pod drzewostanami świerkowymi na siedliskach lasowych na podłożu mułowców kredowych może być pozostałością dawnego rolniczego użytkowania tych gleb przed ich zalesieniem (na przykład w rejonie tzw. Sawanny Łężyckiej).

W profilach glebowych zestawionych parami na tym samym podłożu geologicznym i typie gleby, ale pod odmiennymi drzewostanami (monokultura świerkowa vs. drzewostan liściasty, najczęściej bukowy), obliczono wartości SIG. Średnie wartości SIG na wszystkich podłożach geologicznych były niższe pod drzewostanami świerkowymi niż bukowymi. Różnica między analizowanymi parami profili wynosiła od 0 do 3 jednostek, ale zawsze wahała się w ramach tej samej klasy troficzności, a więc w żadnej z par nie stwierdzono na tyle istotnego obniżenia wartości troficznej, by niezbędna była weryfikacja typu siedliskowego lasu.

### **Wpływ monokultur świerkowych na zasoby węgla organicznego w glebach. Przewidywane skutki „renaturyzacji” drzewostanów górskich**

(Gałka B., Łabaz B., Bogacz A., Bojko O., Kabała C. 2014. Conversion of Norway spruce forests will reduce organic carbon pools in the mountains soils of SW Poland. *Geoderma* 213, 287-295)

Większość wskaźników fizykochemicznych w glebach oraz obserwacje fitosocjologiczne wskazują na niekorzystne pod względem przyrodniczym przekształcenie siedlisk przez monokultury świerkowe. Jednakże w trakcie badań potwierdzono bardzo korzystną funkcję tych monokultur – mianowicie zwiększenie ilości węgla organicznego trwale związanego w glebie. Jest to efekt bardzo pożądaný w kontekście globalnego ocieplenia klimatu spowodowanego wzrostem stężenia gazów cieplarnianych w atmosferze (w tym dwutlenku węgla) oraz postulowanym zwiększeniem sekwestracji CO<sub>2</sub> w glebach poprzez odpowiednie kształtowanie ekosystemów. Zasoby węgla organicznego w glebach (SOC) Gór Stołowych analizowane były o dane z 373 powierzchni monitoringowych, uzupełnione o wyniki z głębokich



profilu. W celu uzyskania porównywalności wyników w glebach różnych typów i pod różnymi drzewostanami, zasoby węgla zostały „zestandardyzowane” dla warstw o stałej głębokości: ściółka leśna (niezależnie od miąższości), 0-10, 10-20, 20-50 i 50-100 cm. Analizowano wpływ różnych czynników, w tym wysokość n.p.m., podłoże skalne (materiał macierzysty gleb), typ gleby oraz skład drzewostanu. Na wszystkich podłożach geologicznych i na wszystkich (podstawowych) typach gleb, zasoby węgla organicznego są najniższe w drzewostanach bukowych, a najwyższe – w monokulturach świerkowych. Przyczyną tego stanu może być większa produkcja i dopływ biomasy (igliwia) w drzewostanach iglastych niż w liściastych, albo mniejsza dynamika rozkładu martwych szczątków organicznych i narastanie warstwy ektopróchnicy leśnej pod świerkiem w porównaniu do buka. Za tym drugim wytłumaczeniem przemawia wyraźny trend wzrostu zasobów SOC z wysokością n.p.m. w drzewostanach świerkowych: z całą pewnością produktywność biomasy (w tym igliwia) nie jest większa w najwyższych (i najchłodniejszych) partiach górskich, a tymczasem zasoby SOC rosną z wysokością. Oznacza to, że igliwie świerkowe, ze względu na niedostatek określonych składników, albo z powodu obecności substancji hamujących rozkład, podlega wolniejszemu rozkładowi w porównaniu z liśćmi buka i innych gatunków liściastych, co przyczynia się do zwiększenia zasobów SOC. Największa różnica w zasobach, dochodząca do 50%, występuje w warstwie ściółek leśnych. Jest to bardzo istotna informacja, gdyż wynika z niej, że przebudowa drzewostanu świerkowego w bukowy może wiązać się z raptownym zmniejszeniem zasobów węgla organicznego w ekosystemie wskutek mineralizacji materii organicznej w ściółce. Zasoby SOC w profilu glebowym wynoszą, odpowiednio w drzewostanach świerkowych i bukowych, 181 i 133 Mg ha<sup>-1</sup> (gleba mineralna 0-50 cm plus ściółka leśna) oraz 202 i 152 Mg ha<sup>-1</sup> (gleba mineralna 0-100 cm plus ściółka leśna). Te obliczenia pokazują, że pełna wymiana świerka na buka raczej nie wiąże się z 50% ubytkiem całkowitych zasobów SOC (co by wynikało z danych dla ściółek), ale maksymalnie około 25%, i to w ujęciu długofalowym. Jednakże, stwierdzone różnice między średnimi zasobami SOC w glebie pod monokulturami świerkowych i drzewostanami bukowymi nie mogą być traktowane jako wskaźnik oczekiwanych strat węgla w skali regionalnej, które nastąpią w efekcie „renaturyzacji” drzewostanów górskich, to jest ich przebudowy składu gatunkowego na bardziej dopasowany do warunków siedliskowych (co najczęściej wiąże się ze zmniejszeniem udziału świerka na rzecz gatunków liściastych). Biorąc pod uwagę strukturę siedlisk leśnych w Górach Stołowych, której przyporządkowano określone składy gatunkowe drzewostanów, a także istniejącą i docelową strukturę drzewostanów obliczono, że długoterminowy (w perspektywie przebudowy do docelowego składu drzewostanów i osiągnięcia przez nie dojrzałości) regionalny spadek

zasobów SOC nie będzie większy niż 7-7,5% zasobów SOC (obliczanych dla profilu glebowego o miąższości 50 lub 100 cm) lub 10% - w górnej 20 cm warstwie gleby. Tak niewielkie przewidywane zmniejszenie zasobów SOC wynika stąd, że 40% powierzchni leśnej w PNGS nie wymaga transformacji (drzewostany mają skład w przybliżeniu zgodny z siedliskiem), a na dalszych 50% powierzchni wystarczająca jest przebudowa do drzewostanów mieszanych a nie czystych liściastych. Ponadto, na niektórych siedliskach górskich buk może być wypierany przez jodłę lub drzewostany mogą być celowo wzbogacane w ten gatunek, który podobnie jak buk jest tu gatunkiem naturalnym i podobnie jak buk został wytrzebiony w XVIII-XIX wieku. Jodła jako gatunek iglasty posiada podobny do świerka potencjał akumulacji węgla organicznego w ściółce i warstwach powierzchniowych gleby mineralnej.

### **Wpływ monokultur świerkowych na formy próchnic leśnych i środowiskowe funkcje ściółek leśnych**

(Łabaz B., Gałka B., Bogacz A., Waroszewski J., Kabała C. 2014. Factors influencing humus forms and forest litter properties in the mid-mountains under temperate climate of southwestern Poland. *Geoderma* 230-231, 265-273)

W trakcie prac terenowych rejestrowano również formę próchnic leśnej, co wynika z dużej wartości diagnostycznej, jaką przypisuje się formom próchnicy w siedliskoznawstwie leśnym. Uważa się, że typ próchnicy leśnej pozostaje w równowadze ze stałymi i zmiennymi elementami ekosystemu i dość szybko reaguje na zmiany któregokolwiek z tych elementów. Ponadto, poziom ściółki (ektopróchnicy), który jest jednym z elementów próchnicy leśnej, odgrywa istotną rolę w obiegu/wiązaniu składników pokarmowych i toksycznych, a także w ochronie powierzchni gleby przez erozją wodną (w szczególności pluwiąlną). Wszystkie pięć podstawowych lądowych typów próchnicy leśnej stwierdzono w glebach PNGS, co potwierdza dużą różnorodność warunków siedliskowych. Próchnice mull występują głównie w glebach brunatnych wylugowanych i płowych wytworzonych z mułowców pod drzewostanami bukowymi. Próchnice mull-moder najczęściej występują w glebach brunatnych kwaśnych/dystroficznych wytworzonych z granitu i piaskowca permskiego pod drzewostanami mieszanych (z przewagą gatunków liściastych). Próchnice mor dominują w glebach bielico-wych wytworzonych z piaskowców kwarcytowych pod drzewostanów świerkowych, szczególnie w najwyższej strefie wysokościowej (> 800 m a.s.l.). Próchnice moder i moder-mor nie są ściśle przypisane do konkretnego zestawu zmiennych siedliskowych, ale zawsze są związane z wysokim udziałem świerka w drzewostanie. Wysoka częstotliwość ich występowania na różnych podłożach geologicznych i w różnych strefach wysokościowych jest więc wyni-

kiem nadmiernego udziału świerka w drzewostanach (spowodowanego gospodarką leśną ukierunkowaną na ten gatunek).

Gleby zawierające próchnice mull charakteryzują się znacznie lepszym stanem troficznym (w warstwie 0-10 cm) w porównaniu do innych gleb, co jest wyrażone w wąskim stosunku C: N, najwyższym nasyceniu kationami zasadowymi, a także najwyższą zawartością przyswajalnych form Mg, K, i P. Jednocześnie, mają najmniejsze zasoby węgla organicznego. Wszystkie istotne właściwości warstwy ściółki, w tym jej grubość, zasób SOC, pH, ale także akumulacja metali ciężkich (Pb, Zn i Cu) są ściśle zależne od typu próchnicy leśnej.

Spośród analizowanych czynników środowiskowych, podłoże geologiczne miało najmniejszy, a skład drzewostanu - największy wpływ zarówno na typ próchnicy leśnej, jak i na cechy warstwy ściółki leśnej.

Wyniki analiz dowodzą, że przebudowa składu drzewostanów, silnie wpływająca na rodzaj biomasy dopływającej do gleby, istotnie wpłynie na tempo przeobrażenia szczątków organicznych i doprowadzi do przekształcenia dominujących obecnie próchnic typu moder i moder-mor w próchnice mull-moder i moder (odpowiednio) w tych drzewostanach, gdzie świerk został w przeszłości wprowadzony w miejsce buka, niezgodnie z wartością troficzną siedliska. Transformacja ta przywróci naturalne relacje ekologiczne w ekosystemach leśnych gór południowej Polski i innych krajów Europy Środkowej, gdzie od XIX wieku dominował podobny model gospodarki leśnej. Proces ten będzie się jednak nieuchronnie wiązał ze zmniejszeniem zasobów węgla organicznego w glebach "renaturyzowanych" drzewostanów.

### **Wpływ monokultur świerkowych na charakterystykę materii organicznej w glebach górskich**

(Gałka B., Łabaz B. 2014. Skład frakcyjny materii organicznej powierzchniowych poziomów próchnicznych gleb leśnych Gór Stołowych. Sylwan 158, 1, 18-25)

W związku ze stwierdzeniem wyraźnych różnic w ilości zakumulowanego węgla organicznego w powierzchniowych poziomach (ściółki leśnej i poziomach próchnicznych) gleb w drzewostanach świerkowych i bukowych, co w literaturze związane jest najczęściej z odmiennym składem substratu (dopływających szczątków biomasy) i produktu (związków humusowych) przeobrażenia, podjęto próbę oceny wpływu odmiennego składu drzewostanów na skład frakcyjny związków humusowych. Do badań porównawczych wybrano trzy pary profili gleb brunatnych kwaśnych (dystroficznych) wytworzonych z trzech różnych skał macierzystych (granit, mułowiec górnokredowy, piaskowiec permski), zlokalizowanych odpowiednio pod drzewostanami iglastymi i liściastymi. Analizę składu związków próchnicznych

wykonano metodą Duchaufoura i Jaquina po uprzednim rozdzieleniu frakcji pod względem ich gęstości (na granicy  $2 \text{ g cm}^{-3}$ ).

Wśród podstawowych własności materii organicznej, najistotniej różni się ilość frakcji wolnej i związanej w poziomach Ah, która przyjmuje znacznie większe wartości w glebach pod bukiem niż świerkiem. Może to być interpretowane jako dowód większej aktywności fauny glebowej, która w dużym stopniu odpowiada za tworzenie trwałych połączeń próchniczno-mineralnych. Podobnie istotne różnice odnotowano w udziale frakcji rezydualnej (nieulegającej ekstrakcji pirofosforanem sodu) w poziomach Ah (w obrębie tzw. frakcji wolnej). Znacznie większy odsetek reziduum w glebach pod świerkiem, dochodzący do 80,5%, świadczy o akumulacji szczątków nierozłożonych lub przynajmniej znacznie słabiej rozłożonych niż w analogicznych poziomach gleb pod bukiem (R maksymalnie do 60,2%). Co ciekawe, proporcje kwasów huminowych i fulwowych (H/F) we frakcji wolnej nie układały się według jednego schematu. O ile w poziomach Ah gleb wytworzonych z granitów i mułowców proporcja H/F była wyższa pod świerkiem, o tyle w glebach z piaskowców permskich - odwrotnie. Te same proporcje H/F układały się odmiennie we frakcji związanej w poziomach Ah, tzn. w glebach pod bukiem proporcja H/F była wyższa niż pod świerkiem (w glebach z mułowca i piaskowca permskiego, w glebach z granitu – odwrotnie). Udział humin zawsze był wyższy w glebach pod bukiem niż pod świerkiem (we frakcji związanej), co w pewnym stopniu koreluje z ogólnie większym udziałem frakcji związanej w glebach pod bukiem i potwierdza lepsze związanie (a więc stabilność połączeń) związków próchnicznych w poziomach próchnicznych gleb pod bukiem.

## **Wnioski**

Zgromadzony materiał porównawczy, pochodzący z gleb wytworzonych na czterech różnych podłożach geologicznych, współtworzących różne warianty czterech typów siedliskowych (lasu górskiego, lasu mieszanego górskiego, boru mieszanego górskiego oraz boru górskiego), jednoznacznie wskazuje, że drzewostany zdominowane przez świerk negatywnie wpływają na właściwości fizykochemiczne powierzchniowej warstwy gleb, tzn. przede wszystkim przyczyniają się do obniżenia pH, zwiększenia aktywności glinu wymiennego, wylugowania kationów zasadowych, szczególnie wapnia i magnezu, a także zmniejszenia zawartości przyswajalnych form potasu i magnezu. Wpływ drzewostanów świerkowych na zawartość przyswajalnego fosforu nie jest jednoznaczny.

Zmiany te następują w kontekście zmiany typu próchnicy leśnej, w tym zwiększenia miąższości oraz zmiany składu i struktury poziomu ektopróchnicznego, który pod monokulturami świerkowymi osiąga większą miąższość i gromadzi znacznie większe zasoby węgla organicznego niż pod drzewostanami liściastymi (w tych samych siedliskach). Gleby drzewostanów świerkowych w Górach Stołowych gromadzą zatem większe ilości węgla organicznego niż pod drzewostanami liściastymi, co jest prawdopodobnie jedynym przyrodniczym efektem pozytywnym - w kontekście globalnego dążenia do zwiększenia sekwestracji CO<sub>2</sub> metodami naturalnymi. Nagromadzenie materii organicznej w warstwie ściółki gleb pod świerkiem jest efektem słabszego tempa jej rozkładu, w tym humifikacji, a materia organiczna nagromadzona w poziomie próchnicznym tych gleb jest słabo związana z mineralną częścią gleby. Zatem w przypadku zmian środowiskowych sprzyjających aktywności biologicznej gleby, materia organiczna gleb pod świerkiem jest bardziej podatna na rozkład, co stwarza zagrożenie szybkiego zmniejszenia zasobów węgla organicznego w tych glebach.

Monokultury świerkowe wpływają przyczyniają się do obniżenia wartości syntetycznego siedliskowego indeksu glebowego (SIG), a więc pewnego obniżenia troficzności gleby i jej wartości siedliskotwórczej. Jednak niższa wartość SIG nie jest na tyle duża, by wymagała korekty typu siedliskowego lasu. Wynika to stąd, że panowanie monokultur świerkowych jest relatywnie krótkotrwałe i nie przekracza jednego - dwóch pokoleń lasu, przez co wpływ świerka nadal ogranicza się tylko do warstw powierzchniowych gleby. Ponadto, wartość SIG uwzględnia skład granulometryczny gleby, który nie zmienia się pod monokulturą świerkową.

Przebudowa drzewostanów zdominowanych przez świerk, polegająca na zwiększeniu udziału gatunków liściastych zahamuje fizykochemiczną, troficzną i biologiczną degradację siedlisk zasobniejszych, czyli lasu górskiego i lasu górskiego mieszanego, w których drzewostany z dominacją świerka mają wyraźnie niekorzystny wpływ na gleby. Zwiększenie udziału gatunków liściastych spowoduje przyspieszenie rozkładu mineralizacji szczątków roślinnych i obiegu składników, ale nie spowoduje raptownej poprawy właściwości fizykochemicznych gleb zniekształconych przez monokultury świerkowe. Należy również pamiętać, że przebudowa drzewostanów świerkowych na mieszane lub liściaste, wspierająca przyspieszenie obiegu składników związanych w materii organicznej, jednocześnie wiąże się z długofalowym zmniejszeniem zasobów węgla organicznego w glebach.

## **OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ BADAWCZO - NAUKOWYCH**

Poza pracami, które posłużyły do przygotowania osiągnięcia naukowego pt. „Wpływ jednogatunkowych drzewostanów świerkowych na właściwości gleb górskich i spodziewane efekty przebudowy składu drzewostanu na przykładzie Gór Stołowych”, aktywność badawcza Habilitanta skupiała się w czterech obszarach tematycznych:

1. Ocena zanieczyszczenia gleb i osadów;
2. Czynniki wpływające na rozpuszczalność metali i metaloidów oraz ich pobieranie z gleb zanieczyszczonych;
3. Rekultywacja terenów zdegradowanych przez górnictwo i przemysł w tym z wykorzystaniem przetworzonych odpadów;
4. Kształtowanie właściwości fizykochemicznych i żyzności gleb w warunkach użytkowania rolniczego;
5. Geneza, właściwości, klasyfikacja i kartografia gleb

### **Ocena zanieczyszczenia gleb i osadów**

Górnictwo, przemysł, komunikacja i transport należą do powszechnie występujących źródeł zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego, w tym gleb oraz osadów dennych w jeziorach i rzekach. Zanieczyszczenie gleb i osadów stwarza określone ryzyko ekologiczne lub ryzyko dla zdrowia człowieka, dlatego wymaga właściwego rozpoznania. Różne aspekty zanieczyszczenia gleb były przedmiotem badań na obszarze Dolnego Śląska.

Transport samochodowy stwarza różnorodne zagrożenia dla środowiska w efekcie stosowania do napędu pojazdów etyliny, oleju napędowego i olei silnikowych, których spalanie lub eksploatacja prowadzi do uwalniania szeregu szkodliwych substancji. W warunkach nieustannego wzrostu natężenia ruchu na obszarach zurbanizowanych, dużego znaczenia nabiera budowa obwodnic tras tranzytowych przebiegających przez obszary miejskie. Zaletą płynnego ruchu pojazdów na obwodnicach jest zmniejszenie jednostkowej emisji spalin i towarzyszących odpadów eksploatacyjnych. Badaniami objęto trasę nr 8 w rejonie Oleśnicy [23]<sup>1</sup> oraz nr 5 w rejonie Trzebnicy [49]. Przy drodze krajowej nr 8 stwierdzono wyraźne zróżnicowanie zawartości metali ciężkich, zwłaszcza ołowiu, zależne od natężenia ruchu oraz odle-

---

<sup>1</sup> Liczby w nawiasach kwadratowych odnoszą się do numerów publikacji w wykazie badań i osiągnięć naukowych ( załącznik 4, część A)

głości od drogi. Jednak najwyższe stwierdzone stężenia metali nie przekraczały wartości zagrożających produkcyjnej funkcji gleb. Przy drodze krajowej nr 5 w rejonie Trzebnicy w ciągu 10 letniego okresu eksploatacji nowego odcinka drogi zawartość ołowiu, cynku i miedzi w powierzchniowej warstwie gleb w odległości 10-100 m od szosy nie uległa istotnej zmianie. Zawartości metali są niskie (wg wytycznych IUNG), dlatego mimo sąsiedztwa ruchliwej trasy komunikacyjnej, gleby nadają się pod wszystkie uprawy rolnicze.

Mimo głębokich zmian społecznych i ekonomicznych, ogrody działkowe nadal odgrywają dużą rolę na obszarach miejskich, gdzie dla różnych grup społecznych są miejscem wypoczynku lub amatorskiej produkcji warzyw i owoców. Gleby ogrodów działkowych powinny więc spełniać rygorystyczne kryteria jakościowe, które pozwalają unikać ryzyka dla zdrowia człowieka. Ocenę stopnia zanieczyszczenia gleb ogrodów działkowych wykonano w miejscowościach o różnej wielkości i odmiennym potencjalnym narażeniu na presję ze strony przemysłu, m.in. we Wrocławiu, Legnicy, Jeleniej Górze i Bielawie.

Ogródki działkowe „Zabobrze” w Jeleniej Górze [56] oraz w POD im. Staszica w Bielawie [13] położone są na terenach miejskich, ale poza bezpośrednim oddziaływaniem przemysłu i komunikacji. Gleby tych ogrodów charakteryzowały dobre właściwości użytkowe, wynikające z ich składu granulometrycznego i znacznej zawartości próchnicy. Zawartości Pb, Cu i Zn w glebach oraz w korzeniach marchwi z ogrodów w Jeleniej Górze mieściły się w zakresie wartości uznawanych za naturalne (według wytycznych IUNG), natomiast w Bielawie koncentracja metali ciężkich w niektórych glebach istotnie przekraczała dopuszczalne zawartości Cu, Zn, i Cd. Porównanie to wykazało, że czynniki lokalne (o niewielkim zasięgu oddziaływania), związane np. z nawożeniem organicznym i mineralnym oraz wapnowaniem mogą być przyczyną zanieczyszczenia gleb nawet wobec braku silnych przemysłowych źródeł antropopresji.

Ogrody działkowe położone w ośrodkach przemysłowych Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego narażone są na emisje gazowe i pyłowe z hut lub składowisk odpadów przemysłowych, ale też na bezpośrednie zanieczyszczenie odpadami poflotacyjnymi, np. wskutek awarii instalacji hydrotransportu drobnoziarnistych odpadów. W 1998 roku, w wyniku awarii rurociągu uległa zalaniu odpadami poflotacyjnymi część ogrodów działkowych „Miedzianka” przy trasie Polkowice – Rudna [27]. Na terenie ogrodów przeprowadzono badania celem określenia stopnia przekształcenia właściwości gleb w miejscu zalania. Stwierdzono, że gleby ogródków działkowych uległy zanieczyszczeniu miedzią w stopniu przekraczającym standard jakości gleby, co oznacza istotne ograniczenie dopuszczalnych upraw.

Skażenie ołowiem gleb nie osiągnęło poziomu, który uzasadniałby ograniczenia w uprawach, natomiast skażenie gleb pozostałymi badanymi metalami nie wystąpiło. Istotnej zmiany nie uległy też pozostałe badane (podstawowe) fizykochemiczne właściwości gleb. Z kolei we Wrocławiu badania prowadzono na terenach położonych w północnej, przemysłowej dzielnicy Różanka [42]. Badane gleby zasadniczo odpowiadają standardom jakości gleb i ziem, choć lokalnie stwierdzono punktowe występowanie zanieczyszczenia przekraczającego standard jakości gleby. Całkowite zawartości Cu, Pb oraz Zn były ogólnie skorelowane ze składem granulometrycznym tych gleb i ich pojemnością sorpcyjną, co oznacza, że określone właściwości gleb mogą utrzymywać stan zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi.

Nowym, nieznanym wcześniej zagrożeniem dla jakości gleb ogrodów działkowych była „powódź stulecia”, która w 1997 roku nawiedziła szereg miast Dolnego Śląska. W niektórych ogrodach działkowych Legnicy [26] woda stagnowała przez 3 tygodnie, a głębokość wód powodziowych osiągała 50 cm. Stwierdzono istotne zanieczyszczenie niektórych gleb miedzią, jednak jego skala sugeruje, że przyczyną może być zarówno powódź, jak również wcześniejsza emisja z huty miedzi „Legnica”. Po ustąpieniu wód powodziowych nie stwierdzono zanieczyszczenia badanych gleb substancjami ropopochodnymi i związkami aromatycznymi.

Wpływ przemysłu miedziowego na obszarze LGOM analizowany był też w otoczeniu największego w Polsce i w Europie nadpoziomowego składowiska odpadów poflotacyjnych Żelazny Most koło Rudnej, działającego od 1977 roku. W związku z charakterem składowiska istnieją obawy niekontrolowanego oddziaływania na gleby poprzez pylenie z powierzchni osadów oraz przez infiltracje zasolonych wód nadosadowych. Zagrożeniem dla jakości powietrza i gleb są drobnoziarniste osady zawierające do 0,2% Cu, do 0,03% Pb i do 100 ppm As, które po przeschnięciu w zewnętrznej części składowiska stają się podatne na rozwiewanie. W celu ograniczenia pylenia, podejmowane są różne działania, m.in. pokrywanie suchych osadów emulsją asfaltową oraz wytwarzanie „kurtyny wodnej” na koronie składowiska. W ciągu 12-letniego [39] oraz 18-letniego [70] cyklu badań monitoringowych wokół składowiska wykazano statystycznie istotne zmniejszenie zawartości Cu i As w powierzchniowej warstwie gleb wokół składowiska (w stosunku do zawartości stwierdzonych w latach 1995-1996). Wieloletnie badania monitoringowe wskazują, że funkcjonowanie składowiska nie powoduje obecnie wzrostu zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi, co świadczy o wysokiej skuteczności stosowanych metod stabilizacji osadów składowiska.

Zjawisko zasalania gleb jest związane z lokalną podziemną infiltracją wód nadosadowych ze zbiornika odpadów poflotacyjnych „Żelazny Most” [78]. W efekcie na przedpolu



składowiska utworzyła się strefa podziemnych wód zdegradowanych (wysokozmineralizowanych). Stwierdzono, że podsiąk zmineralizowanych wód gruntowych, a także powierzchniowe rozlewy wód z systemów melioracyjnych składowiska powodują lokalne zasolenie gleb, szczególnie położonych w obniżeniach terenu (nieckach i dolinkach). Stopień zasolenia gleb jest słaby lub średni i jeszcze nie powoduje znaczącej obniżki plonowania roślin uprawnych.

W Sudetach i na Przedgórzu Sudeckim, wiele jest obszarów, gdzie na przestrzeni wieków eksploatowano surowce metaliczne (miedź, ołów, cynk srebro, złoto, nikiel, chrom oraz arsen). Jednym z ważnych ośrodków górnictwa metali był rejon wzgórza Żelaźniak w Górach Kaczawskich. Z budową geologiczną tego pasma wiąże się zasobność w rudy metali eksploatowane tu od średniowiecza. Rozkwit górnictwa na tym obszarze przypadł na przełom XV i XVI, a następnie w XIX wieku. W największych ilościach wydobywano tu galenę, arsenopiryty i chalkopiryty. Rudy miedzi i ołowiu kierowane były do hut śląskich, a rudy arsenu przetwarzano w hucie na miejscu. Ostatnią kopalnię zamknięto w 1925 roku. Liczne ślady robót górniczych widoczne na powierzchni świadczą o rozległych pracach poszukiwawczych i eksploatacyjnych. W wyniku tych działań znajdujące się sąsiedztwie gleby, wody, rośliny są w różnym stopniu zanieczyszczane arsenem i metalami ciężkimi, co stwarza ryzyko dla zdrowia ludzi i zwierząt [18, 30]. Szczególną uwagę zwrócono na arsen, który miejscami występuje w ilościach wielokrotnie przekraczających standard jakości gleby. Stwierdzono jednak, że arsen i metale ciężkie obecne w glebach uprawnych na badanym obszarze charakteryzują się niskim udziałem form rozpuszczalnych i ograniczoną fitoprzyswajalnością, czego dowodem są niewielkie koncentracje tych pierwiastków, a zwłaszcza arsenu, w roślinach uprawnych. Podwyższone zawartości arsenu w nadziemnych częściach niektórych gatunków roślin łąkowych, a zwłaszcza mniszka pospolitego i skrzypów wskazują, że celowe jest ograniczenie użytkowania terenów zanieczyszczonych jako łąk lub pastwisk oraz przeznaczenie tych obszarów do zalesienia [34, 36]. Również arsen w osadach dennych strumieni charakteryzuje się bardzo niskim udziałem form rozpuszczalnych. Wody powierzchniowe niektórych strumieni zawierają podwyższone koncentracje arsenu, wyklucza ich wykorzystywanie do celów konsumpcyjnych, pojenia zwierząt a także zaopatrywania kąpielisk. Badania laboratoryjne wykazały, że wzrost rozpuszczalności arsenu następuje w warunkach odczynu bardzo silnie kwaśnego lub alkalicznego [32].

Istotnym i powszechnym problemem środowiskowym są tzw. dzikie wysypiska odpadów. W przeciwieństwie do składowisk odpadów komunalnych zakładanych zgodnie z pozwoleniem środowiskowym i podstawie zatwierdzonego projektu, „dzikie wysypiska” nie są w żaden sposób zabezpieczone, a w szczególności nie oddziela ich od podłoża geomembrana oraz nie posiadają one uszczelnienia hydroizolacyjnego. W konsekwencji „dzikie wysypiska” stanowią źródło substancji toksycznych, w tym metali ciężkich, migrujących w głąb profilu glebowego. W ich obrębie i bezpośrednim otoczeniu notuje się podwyższone koncentracje miedzi, niklu, cynku, chromu, a także rtęci. Na terenie powiatu jeleniogórskiego zlokalizowano 11 nielegalnych składowisk odpadów komunalnych i przemysłowych, na których pobrano próbki gleb z terenów składowisk oraz z gleb rolnych w ich otoczeniu. Z kolei w powiecie wrocławskim próbki pobrano z gleb rolnych położonych w otoczeniu legalnych składowisk odpadów [53]. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że gleby zlokalizowane w otoczeniu legalnych składowisk nie wykazywały podwyższonej w stosunku do tła zawartości badanych metali ciężkich, natomiast gleby zlokalizowane w otoczeniu składowisk nielegalnych w powiecie jeleniogórskim charakteryzowały się istotnie wyższymi zawartościami cynku, miedzi, ołowiu, arsenu i rtęci. Składowiska nielegalne niezabezpieczone, mimo wielokrotnie mniejszych ilości zgromadzonych na nich odpadów niż na składowiskach zorganizowanych i zabezpieczonych, w większym stopniu oddziałują negatywnie na gleby znajdujące się w ich otoczeniu, dlatego wymagają pilnych działań likwidacyjnych i rekultywacyjnych.

Silnej presji antropogenicznej podlegają też gleby dolin rzecznych. Pomimo że gleby te nie są szczególnie narażone na bezpośrednie emisje przemysłowe lub komunikacyjne, to jednak często docierają do nich zanieczyszczenia transportowane przez rzeki z obszarów intensywnego rolnictwa, przemysłowych i górniczych [17, 69]. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb aluwialnych pierwiastkami śladowymi jest utrudniona, szczególnie na obszarach zalesionych, gdzie w obiegu pierwiastków uczestniczy ektopróchnica o specyficznych zdolnościach akumulacji metali. Okazją dla podjęcia badań nad stopniem zanieczyszczenia gleb aluwialnych w dolinie typowej niewielkiej rzeki nizinnej było utworzenie arboretum UPWr [38]. Stwierdzono, że nagromadzenie pierwiastków śladowych w glebach i ektopróchnicach nawiązuje przestrzennie do typów siedliskowych lasów, co świadczy o naturalnych uwarunkowaniach koncentracji metali i małym stopniu zanieczyszczenia gleb doliny Dobrej. Najniższa koncentracja oraz nagromadzenie pierwiastków śladowych występuje w glebach z próchnicami mull pod drzewostanami jesionowo-olszowymi, wyższe pod drzewostanami dębowymi, a najwyższe w glebach z próchnicami moder-mor pod drzewostanami sosnowymi.

Zbiorniki wodne ze względu na położenie w najniższym miejscu zlewni są odbiornikami zanieczyszczeń spływających z terenu zlewni. Osady denne są ważnym elementem ekosystemów wodnych, przydatnym do oceny jakości wód ze względu na zatrzymywanie przez nie między innymi metali ciężkich. Skład chemiczny osadów dennych zbiornika jest więc uzależniony w dużym stopniu od gospodarki prowadzonej przez człowieka, może zatem posłużyć do charakterystyki chemicznej środowiska wodnego oraz sytuacji geochemicznej panującej w zlewni, dróg rozprzestrzeniania zanieczyszczeń lub identyfikacji ich źródeł. Określenie właściwości osadów jest bardzo ważne szczególnie w małych zbiornikach wodnych między innymi ze względu na szybkie tempo zamulania i konieczność okresowego ich odmulania, gdyż przy odmuleniu ważne jest właściwe zagospodarowanie osadów. Osady denne są potencjalnie cennym materiałem użyźniającym gleby ze względu na zwarte uziarnienie, dużą pojemność sorpcyjną, znaczną zawartość substancji organicznej oraz makro- i mikrośladników. Badania prowadzono na kilku obiektach analizując skład chemiczny osadów dennych, jak i wód, w kierunku możliwości zagospodarowania osadów i wód dla celów rolniczych zgodnie z obowiązującymi aktami prawnymi. Badania osadów dennych wykonanych na terenie zbiornika Mściwojów k. Jawora wykazały, że zawartość kadmu i ołowiu przekracza wartości tła geochemicznego Polski. Zbiornik wodny „Mściwojów” przyczynia się do znacznego zmniejszenia stężeń wszystkich przebadanych metali ciężkich. Stężenia analizowanych metali w osadach dennych rzek: Wierzbak i Zimnik, powyżej zbiornika, były zawsze większe od stężeń tych metali w osadzie dennym poniżej zbiornika [15]. Wody z terenu zbiornika Psurów charakteryzują niewielkie stężenia metali ciężkich. Zawartości miedzi, cynku i chromu nie przekraczają wartości odpowiadających granicznemu wskaźnikowi jakości wód z grupy substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz nie przekraczają wartości granicznych chemicznych wskaźników jakości wód ze względu na zawartość kadmu, niklu i ołowiu. Osady denne zbiornika Psurów wykazały zawartości pierwiastków śladowych zbliżone do wartości tła geochemicznego. W związku z tym istnieje możliwość rolniczego wykorzystania osadów bez ryzyka skażenia środowiska glebowego [51]. Z kolei koncentracje metali ciężkich w osadach dennych stawów parku dworskiego w Pawłowicach, zasilanych wodami ze zlewni rolniczej osiągają 10-60% wartości dopuszczalnej. Mineralne osady denne z odmulania stawów parkowych mogą być wykorzystane lokalnie jako materiał ziemny niwelacyjny przy renowacji samego parku, a także jako materiał użyźniający na zrekultywowanym terenie po eksploatacji piasków i żwirów [47]. Zawartość cynku, ołowiu, miedzi i niklu w osadach dennych zbiornika Młyny jest większa niż w innych zbiornikach wodnych w Polsce, co świadczy

o istnieniu dodatkowych (komunalnych) źródeł zanieczyszczenia w rolniczej zlewni Julianpolki. Zawartość azotu w namulach rejonie Chałupek na rzece Odrze jest porównywalna jak na polu uprawnym rzepaku gdzie stosowano nawożenie. Akumulacja azotu w osadach w strefie korzeniowej stwarza sprzyjające warunki dla intensywnego rozwoju roślinności pionierskiej w obrębie nowo powstałych wysp, przyspieszając tym samym przebieg zmian morfologicznych koryta i doliny rzecznej. Osady denne nie są zanieczyszczone metalami ciężkimi [21].

### **Czynniki wpływające na rozpuszczalność metali i metaloidów oraz ich pobieranie z gleb – w aspekcie fitoremediacji gleb zanieczyszczonych**

W południowo zachodniej Polsce lokalnie występują obszary silnie zanieczyszczone metalami ciężkimi i arsenem, w tym tereny związane z aktualnym wydobywaniem i przetwarzaniem rud metali, a zwłaszcza rud miedzi w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym, z nieczynnymi obiektami przetwarzania rud miedzi, w tym osadnikami poflotacyjnymi w t.zw. Starym Zagłębiu Miedziowym (Złotoryja-Bolesławiec), a także liczne obszary historycznie zanieczyszczone metalami ciężkimi i arsenem, m.in. w rejonach dawnego górnictwa rud polimetalicznych, np. na Wzgorzu Żeleźniak k/ Wojcieszowa oraz górnictwa złota i arsenu w Złotym Stoku. Podjęcie rekultywacji/remediacji gleb zanieczyszczonych wymaga uprzedniego rozpoznania nie tylko ogólnego stopnia zanieczyszczenia gleb, ale przede wszystkim ich mobilności w układzie gleba – roztwór glebowy – roślina – woda gruntowa, co ma kluczowe znaczenie dla efektywności podejmowanych zabiegów remediacyjnych oraz ich ewentualnych ubocznych skutków środowiskowych.

W ramach zespołowych grantów badawczych realizowane były prace poświęcone analizie różnych czynników decydujących o rozpuszczalności metali i arsenu w glebach, gdyż to właśnie rozpuszczalność jest kluczowym czynnikiem decydującym o zagrożeniu środowiskowym oraz o skuteczności działań remediacyjnych opartych albo na immobilizacji metali, albo na ich ekstrakcji, w tym ekstrakcji z udziałem roślin, czyli fitoekstrakcji z gleb.

Przeprowadzone badania potwierdziły, że bardzo ważnym czynnikiem decydującym o rozpuszczalności metali ciężkich i arsenu w glebach i osadach poflotacyjnych oraz o uwalnianiu tych pierwiastków do roztworu glebowego jest odczyn, przy czym rozpuszczalność As i Cu, a w mniejszym stopniu – także Zn, rośnie znacząco nie tylko w warunkach odczynu kwaśnego, ale także silnie zasadowego [64, 66, 67, 72, 73]. Ważnym czynnikiem modyfikującym rozpuszczalność metali ciężkich i arsenu w glebach jest także obecność niskocząsteczkowych

związków organicznych, które mogą powodować mobilizację metali poprzez ich chelatowanie [59, 74], a arsenu – w drodze konkurencji o miejsca sorpcji na tlenkach żelaza [9, 74]. Efekty tych procesów zależą od właściwości gleb oraz od pochodzenia i właściwości substancji organicznej pochodzącej np. ze ściółek leśnych albo z wprowadzanych do gleb dodatków organicznych takich jak osady ściekowe lub komposty.

Przedstawione wyżej badania stanowiły etap wstępny w nowatorskich w kraju badaniach poświęconych możliwości wykorzystania procesu indukowanej fitoekstrakcji do oczyszczania gleb zanieczyszczonych emisjami hut miedzi, realizowanych w latach 2005-2008 [6, 8, 19, 37], oraz w badaniach nad fitostabilizacją gleb zanieczyszczonych i osadników poflotacyjnych, realizowanych w latach 2009-2014 [9, 81]. Badania nad indukowaną fitoekstrakcją, prowadzone głównie w formie doświadczeń wazonowych z zastosowaniem różnych odczynników chelatujących [6, 8], m.in. EDTA, biodegradowalnego EDDS [40, 43], prostych kwasów organicznych i aminokwasów wykazały, że efekty mobilizacji Cu i Pb z gleb zależą od wielu różnych czynników [19], ale nie udało się tak zoptymalizować warunków procesu fitoekstrakcji i doboru roślin, aby zapewnić racjonalnie wysokie pobranie metali przez rośliny uprawne, np. kukurydzę i gorczycę sarepską [19, 43]. We wszystkich doświadczeniach nieuniknionym efektem zastosowania odczynników kompleksujących do gleb była zwiększona podatność metali na ługowanie [19], a także – efekt następczy obserwowany w kolejnym sezonie [40], co dyskwalifikuje metodę indukowanej fitoekstrakcji jako ewentualny sposób oczyszczania gleb zanieczyszczonych miedzią. Ten wniosek stanowi istotny wkład do krajowej i światowej wiedzy na temat tej metody.

Doświadczenie uzyskane w oparciu o opisane badania nad fitoekstrakcją stało się dla zespołu podstawą do podjęcia prac nad przeciwną do ekstrakcji metodą remediacji gleb zanieczyszczonych oraz osadników poflotacyjnych, to jest immobilizacją metali i arsenu oraz fitostabilizacją gleb [59, 61]. W tym celu zwykle stosowane są do gleb dodatki stabilizujące, m.in. materiały organiczne, często odpadowe, a także dodatki mineralne, np. fosforany, powodujące chemisorpcję metali. Przeprowadzono serie badań, głównie laboratoryjnych i wazonowych, które wykazały, że stosowanie tych dodatków musi być poprzedzone wnikliwą analizą, gdyż aplikacja nieodpowiednich dodatków może powodować skutki uboczne polegające na niepożądanym wzroście rozpuszczalności metali. Osady ściekowe, zwłaszcza niestabilizowane, albo silnie alkaliczne, mogą przyczyniać się do uruchamiania miedzi [57, 59, 73] a fosforany – arsenu [7, 41]. Efekty te zależą od właściwości i gleb, i dodatków. Dobór roślin do fitostabilizacji powinien uwzględniać nie tylko ich tolerancję, ale też wielkość pobrania toksycznych pierwiastków, co decyduje o ich włączaniu do łańcucha pokarmowego. Tym

zagadnieniom poświęcono liczne doświadczenia których wyniki zostały opublikowane w kilku pracach [7, 9, 41].

W tym samym nurcie badawczym realizowane były prace dotyczące procesów naturalnej stabilizacji zanieczyszczeń metalicznych w glebach, w efekcie procesów określanych jako starzenie się zanieczyszczeń. Na terenach historycznie zanieczyszczonych poddawano analizie rzeczywistą przyswajalność pierwiastków toksycznych dla roślin dziko rosnących i uprawnych. Stwierdzono na przykład, że arsen w glebach historycznie zanieczyszczonego rejonu Żeleźniaka jest silnie wiązany w glebie i bardzo słabo przyswajalny dla roślin [14]. W doświadczeniach wazonowych wykazano jednak, że rozkład ściółek leśnych na terenach poddanych remediacji i zalesionych może przyczyniać się do mobilizacji toksycznych metali i metaloidów [10] i zwiększonego ich pobrania przez rośliny, co wykazano na przykładzie sałaty [59].

Dodatkowym wątkiem badawczym dotyczącym zagadnienia rozpuszczalności metali ciężkich w glebach zanieczyszczonych było badanie przydatności różnych odczynników ekstrakcyjnych do oceny fitoprzyswajalności tych pierwiastków [60]. Stwierdzono, że nie ma istotnej korelacji między pobraniem Cu przez sałatę a zawartością w glebie form podatnych na ekstrakcję roztworami 0,01 M CaCl<sub>2</sub> oraz 1 M NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>.

### **Rekultywacja terenów zdegradowanych przez górnictwo i przemysł w tym z wykorzystaniem przetworzonych odpadów**

Na Dolnym Śląsku występują liczne obszary wzbogacone w metale w związku z występowaniem rud polimetalicznych, eksploatowanych już od średniowiecza, najpierw odkrywkowo, a później metodami podziemnymi. Wzbogacanie gleb w metale ciężkie wynika częściowo z przyczyn naturalnych, towarzyszy mu jednak wzbogacenie antropogeniczne, związane z wydobyciem kopaliny na powierzchnię i jej przetwarzaniem. Odpady zgromadzone na hałdach były też na przestrzeni stuleci przemieszczane i rozplantowywane np. w związku z likwidacją obiektów górniczych. Przedmiotem badań były hałdy górnicze oraz otaczające je gleby zlokalizowane w 6 ośrodkach dawnej eksploatacji rud metali w Sudetach [33]: rejon Wojcieszowa, Radzimowic i Mysłowa (Góry Kaczawskie), gdzie od XIII wieku eksploatowano złoża formacji arsenowo-polimetalicznej, rejon Miedzianki w Rudawach Janowickich – ośrodek, w którym od średniowiecza wydobywano rudy miedzi, a po II wojnie światowej

rudę bogatą w uran, w rejonie Czarnowa w Rudawach Janowickich – rejon dawnej eksploatacji rud arsenu; rejon Leszczyny i Chełmiec koło Złotoryi gdzie eksploatowano i przetapiano rudę miedzi, rejon Szklar koło Ząbkowic Śląskich obszar mineralizacji niklowej, rejon Złotego Stoku, ośrodek eksploatacji złota, a następnie górnictwa arsenu i produkcji arseniku. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono udział wybitny czynnika antropogenicznego jako głównej przyczyny wzbogacania gleb w metale ciężkie, choć pochodzenie metali w badanych glebach ma zwykle złożony charakter litogeniczno-antropogeniczny. Materiał pochodzący z hałd pozostałych na obszarach dawnych ośrodków górnictwa rud metali w Sudetach zawiera znaczne, a niekiedy bardzo wysokie ilości As i metali ciężkich: Pb, Cu, Zn, Ni i Cr. Hałdy te nadal wymagają rekultywacji, choć usuwanie z nich nadmiernej zawartości metali wydaje się mało realne wobec silnego związania części metali w pierwotnych minerałach kruszcowych.

Składowisko odpadów po flotacji rud miedzi „Żelazny Most” o powierzchni 1394 ha jest największym tego typu obiektem w Polsce i w Europie. Składowisko jest obiektem uciążliwym dla środowiska, a do ważniejszych mankamentów należy zaliczyć utratę terenów zajętych przez samo składowisko i jego obsługę oraz rurociągi hydrotransportowe, podtopienie terenów przyległych w wyniku podniesienia się poziomu wód gruntowych oraz zanieczyszczenie ich wskutek infiltracji wód zasolonych w podłoże, a także zanieczyszczenie powietrza, gleb i roślin pyłem zawierającym śladowe ilości metali ciężkich. W oparciu o ponad 10-letnie badania monitoringowe dostarczające dobrego rozeznania o skali zanieczyszczeń, oraz w oparciu o istniejące mapy glebowe, na terenie ograniczonego użytkowania w otoczeniu składowiska odpadów zaproponowano następujące kierunki zagospodarowania [35]. Gleby klasy V i VI obecnie użytkowane rolniczo w całości przeznaczyć pod zalesienie; gleby klas II, III a i b, IV a i b, III i IV TUZ mogą być użytkowane rolniczo bez ograniczeń; gleby przydatne do produkcji darni mogą być wykorzystane do zadarnienia obwałowań składowiska. Ponadto wskazano tereny spełniające wymogi do produkcji wybranych roślin przemysłowych takich jak miskant chiński, ślaziowiec pensylwański, topinambur i wiklina. W sytuacji braku przekroczenia standardu jakości gleby i ziemi, w otoczeniu składowiska nie ma potrzeby prowadzenia typowych działań rekultywacyjnych.

Dużymi obiektami górniczymi wymagającymi rekultywacji są odkrywki i zwałowiska zewnętrzne po eksploatacji węgla brunatnego oraz hałdy związane z eksploatacją węgla ka-

miennego. Ich rekultywacja wymaga szereg kosztownych zabiegów technicznych stabilizujących obiekty, polepszających jakość gruntów i umożliwiających biologiczne zagospodarowanie [79]. Odkrywka „Adamów” jest sukcesywnie rekultywowana w trzech kierunkach: rolniczym, leśnym i wodnym. Głównym kierunkiem rekultywacji jest kierunek rolny (ponad 70% całkowitej powierzchni obszarów zrekultywowanych), co jest bezpośrednim efektem wprowadzenia podsięypnego zwałowania ostatniej warstwy nadkładowej. Tereny poddane ciągłym i kompleksowym pracom rekultywacyjnym utraciły cechy charakterystyczne dla gruntów pogórnicych wkomponowując się w istniejący krajobraz rolniczy obszarów przyległych. Siedliska kształtujące się na obszarach zrekultywowanych najwcześniej charakteryzują się właściwościami zbliżonymi do siedlisk naturalnych [68].

W zakładach kamieniarskich operacje cięcia i szlifowania kamieni naturalnych odbywają się w strumieniu wody, a powstający szlam, kierowany jest na odstojniki. Powstający odpad w postaci odwodnionego szlamu powinien być, zgodnie z obowiązującymi przepisami, w pierwszej kolejności zagospodarowany, a tylko w ostateczności – składowany. Dlatego podjęto badania nad jakością szlamów z obróbki kamieni (mączki skalnej) i możliwością jej wykorzystania w rekultywacji terenów zdegradowanych lub do ulepszania właściwości gleb mało zasobnych. W składzie mineralicznym mączki skalnej stwierdzono przewagę minerałów pierwotnych (kwarc, skalenie, miki, amfibole, pirokseny), niewielką domieszkę kalcytu, dolomitu i minerałów ilastych [54]. Nie zawierają one składników toksycznych w ilościach ponadnormatywnych. W celu sprawdzenia czy mączka skalna może być wykorzystana dla celów rekultywacyjnych zmieszano ją w różnych proporcjach z glebą piaszczystą i gliniastą, oraz dodano ją do gleb o różnym poziomie zanieczyszczenia cynkiem oraz niklem. Stwierdzono, że dodatek mączki skalnej na glebie piaszczystej jest bardziej efektywny, niż na glebie gliniastej prawdopodobnie z powodu zwiększenia retencji wodnej gleby lekkiej, nie stanowi zagrożenia dla wzrostu i rozwoju gorczyca, i w pewnym zakresie podnosi jej plonowanie [45]. Przy największym poziomie zanieczyszczenia Zn, dodatek mączki skalnej do gleby spowodował wzrost plonów suchej masy mozgi trzcinowatej w obu pokosach w stosunku do analogicznego obiektu kontrolnego bez dodatku mączki skalnej. Jednocześnie stwierdzono niższą koncentrację cynku w roślinach rosnących na glebie z dodatkiem mączki skalnej, oraz niższą zawartość rozpuszczalnych form tego pierwiastka w glebie ekstrahowanej 1 mol HCl [62]. Na glebie zanieczyszczonej niklem, dodatek mączki skalnej także powodował wzrost plonu biomasy mozgi trzcinowatej w częściach nadziemnych oraz obniżenie koncentracji niklu w roślinach [63].



## **Kształtowanie właściwości fizykochemicznych i żyzności gleb w warunkach użytkowania rolniczego**

Wieloletnie doświadczenia polowe uwzględniające wysokie dawki nawożenia i wapnowania mogą nieść poważne konsekwencje dla kształtowania się poszczególnych właściwości gleby, co ze względu na skomplikowane zależności zachodzące pomiędzy właściwościami fizycznymi, chemicznymi oraz biologicznymi w glebie ma duże znaczenie dla przebiegu procesów glebowych oraz dla plonowania roślin. Niezrównoważona akumulacja niektórych składników kationowych i anionowych może wpływać na zjawiska związane z procesem eluwalnym, takie jak wymywanie i przemieszczanie się jonów i cząsteczek koloidalnych, a także na degradację kompleksu sorpcyjnego. Badania przeprowadzono na glebach użytkowanych w doświadczalnictwie polowym od niemal 100 lat (Wrocław – Swojec) lub przez ponad 50 lat (Wrocław – Pawłowice). Wstępne wyniki badań wskazują na wysoką i bardzo wysoką zasobność w łatwo-rozpuszczalne formy fosforu, potasu i magnezu w poziomie próchnicznym oraz bardzo wysoką ruchliwość frakcji koloidalnych. Nie stwierdzono natomiast przejawów degradacji kompleksu sorpcyjnego, co może wynikać z rekompensowania zdolności sorpcyjnych gleby przez materię organiczną [28].

Zawartość dostępnych form pierwiastków w okresie wegetacyjnym ulega znacznym wahaniom uwarunkowanym głównie zmianami właściwości chemicznych, fizycznych i biologicznych gleby. Odpowiednio połączone nawożenie mineralne oraz organiczne jest podstawowym czynnikiem plonotwórczym pozwalającym na utrzymanie, a nawet na zwiększenie zasobności gleby w materię organiczną i składniki pokarmowe. W ścisłym doświadczeniu polowym na czarnej ziemi właściwej wytworzonej z piasku gliniastego na glinie zwykłej podścieloną gliną lekką uprawiano buraki cukrowe. Poszczególne poletka doświadczalne nawożono różnymi rodzajami nawozów organicznych na tle pięciu dawek azotu mineralnego. W wyniku przeprowadzonego doświadczenia stwierdzono, że wzrastające dawki azotu w warstwie ornej nie wpłynęły na zawartość fosforu w okresie wegetacji buraka cukrowego i nie różnicowały w większym stopniu zasobności gleby w potas. Zwiększone dawki azotu (140, 180, 220 kg/ha<sup>-1</sup>) po zastosowaniu nawożenia wermikompostem w dawce 10 t/ha<sup>-1</sup> wpłynęło w okresie wiosna-lato na zwiększone uwalnianie magnezu przyswajalnego w warstwie ornej [16, 29, 31].

W warunkach wieloletniego stosowania siewu w niezaoraną glebę zmieniają się jej właściwości fizyczne w stosunku do uprawy tradycyjnej z użyciem pługa. Dotyczy to głównie gęstości gleby, co ma wpływ na stosunki powietrzno-wodne, jak również na właściwości chemiczne i biologiczne. Podatność na zmiany powodowane uprawą bezpługą i ich intensywność zależą od uziarnienia gleby. Badania przeprowadzono na glebie rdzawej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego, o odczynie lekko kwaśnym, wysokiej zawartości w fosfor, średniej w potas i bardzo wysokiej w magnez uprawiając pszenicę ozimą metodą tradycyjną oraz zerową. Pszenica przy uprawie zerowej wykazywała w trakcie wegetacji tendencję do pobierania mniejszej ilości składników pokarmowych (głównie wapnia), niż pszenica przy uprawie tradycyjnej. Plony ziarna słomy pszenicy uprawianej metodą siewu bezpośredniego dorównywały wielkością plonom pszenicy uprawianej metodą tradycyjną [80].

Rutwica wschodnia, będąca rośliną motylkową wykazującą dużą trwałość na jednym stanowisku (do 10 lat), nie wymagając w ciągu pierwszych 4-5 lat koszenia, stanowi skuteczną konkurencję dla chwastów, a przy tym nie uwalnia się łatwo do środowiska. Dla ochrony właściwości gleb okresowo wyłączonych z produkcji towarowej ze względów koniunkturalnych jest wskazana ekstensywna uprawa roślin trawiastych lub motylkowych traktowanych podobnie jak tzw. wieloletni ugór. W Górskiej Stacji Wdrożeniowo - Upowszechnieniowej w Paszkowie koło Polanicy Zdrój prowadzono badania nad wpływem sposobu użytkowania rutwicy na właściwości chemiczne gleby brunatnej kwaśnej (dystroficznej) oraz oceniono przydatność rutwicy wschodniej do odłogowania. W schemacie doświadczenia ujęto następujące sposoby użytkowania rutwicy wschodniej: koszenie jednorazowe z usunięciem biomasy z pola, koszenie jednorazowe z pozostawieniem biomasy na polu, koszenie jednorazowe z rozdrobnieniem i pozostawieniem biomasy na polu, pozostawienie roślin rutwicy na polu bez koszenia. Długość okresu uprawy rutwicy wpłynęła pozytywnie na zawartość węgla organicznego w glebie bez względu na sposób jej użytkowania. Istotnie najmniejsza akumulacja węgla organicznego występuje w glebach obiektów, z których biomasa roślin była usuwana po skoszeniu. Długość użytkowania rutwicy nie wpływa istotnie na zawartość azotu w glebie, ale przyczynia się do poszerzenia stosunku węgla do azotu. Uprawa rutwicy wschodniej na gliniastych glebach górskich spełnia funkcję ochronną względem zasobności gleby w makroskładniki, przyczynia się do wzrostu nagromadzenia materii organicznej, ale może prowadzić do nieznacznego zakwaszenia gleby i ługowania wymiennego wapnia [82].

Sorgo cukrowe może być uprawiane na glebach piaszczystych z przeznaczeniem na ziarno, paszę dla zwierząt lub do produkcji biogazu, alkoholu albo na papier; wymaga jednak wysokiego nawożenia azotem, co na piaszczystych glebach wiąże się z ryzykiem wymywania azotu do wód gruntowych. Roztwory glebowe z poletek gdzie zastosowano różne nawozy azotowe w dwóch dawkach (stosowanych jednorazowo lub dzielonych) pobierano z głębokości 30 cm oraz 50 cm przy pomocy próbników typu MacroRhizon [71]. Próbki roztworów pozyskiwano przez cały sezon wegetacyjny. W roztworach oznaczano stężenie jonów azotanowych i amonowych, które wykazywały ogromne zróżnicowanie sezonowe. Najwyższe stężenia N-NO<sub>3</sub> w roztworach glebowych wystąpiły w czerwcu/lipcu, w wariantach doświadczenia nawożonych mocznikiem. Głównym czynnikiem decydującym o stężeniach obu form azotu w roztworach glebowych był czas i warunki pogodowe, a następnie rodzaj nawozu, a dopiero potem zastosowany wariant nawożenia. Wyniki doświadczenia wskazują na możliwość obniżenia dawki azotu, bez istotnego zmniejszenia plonów, a za to z wyraźnie pozytywnym efektem na stężenie azotanów w roztworze glebowym.

### **Geneza, właściwości, klasyfikacja i kartografia gleb**

Najważniejszym czynnikiem środowiskowym decydującym w Górach Stołowych o składzie chemicznym oraz uziarnieniu gleb jest budowa geologiczna. Jednak stopień wykształcenia i głębokość profilu glebowego zależą od lokalnej rzeźby terenu, która decyduje o intensywności zjawisk erozji i akumulacji zwietrzelin. W Górach Stołowych dominują gleby głębokie i bardzo głębokie, o miąższości profilu 100-150 cm, których udział przekracza 48%. Gleby średnio-głębokie zajmują dalsze 41% powierzchni PNGS, natomiast gleby płytkie i bardzo płytkie występują na zaledwie 11% powierzchni. Na obszarze Parku Narodowego Gór Stołowych stwierdzono występowanie gleb należących do niemal wszystkich rzędów według Systematyki Gleb Polski: gleby inicjalne oraz gleby słabo ukształtowane, gleby brunatnoziemne ze wszystkich rodzajów występujących tu skał macierzystych i posiadają całe spektrum właściwości fizykochemicznych, gleby bielicoziemne wytworzyły się głównie ze zwietrzelin piaskowców ciosowych, gleby gleziemne, gleby organiczne, gleby antropogeniczne. Wśród wskaźników charakteryzujących stan chemiczny gleb, w tym ich żyzność i stopień zanieczyszczenia, analizowano między innymi skład granulometryczny, zawartość materii organicznej, odczyn, kwasowość wymienną, wymienne kationy zasadowe, zawartość przyswajalnych dla roślin form magnezu, potasu i fosforu, a także całkowitą zawartość Pb, Zn i

Cu. Najwyższe zawartości materii organicznej stwierdzono w glebach pod drzewostanami świerkowymi modrzewiowymi i brzozowymi, zdecydowanie najmniejsze pod drzewostanami bukowymi, jaworowymi i łęgowymi a najmniejsze w glebach nieleśnych łąkowych i pastwiskowych. Odczyn gleb odznacza się na ogół kwaśnym lub silnie kwaśnym odczynem i wartościami  $pH_{H_2O}$  przeciętnie około 4,0 – 4,2 oraz  $pH_{KCl}$  3,2-3,4 w warstwach mineralnych. Zawartość składników przyswajalnych magnezu, potasu i fosforu jest niewielka wręcz niedoborowa z punktu widzenia komercyjnej gospodarki leśnej. Stężenie metali ciężkich w glebach zależy od rodzaju skały macierzystej i uziarnienia gleb. Związek ten widoczny jest najsilniej w przypadku cynku, słabiej miedzi, najslabiej w przypadku ołowiu. Zawartości cynku są zbliżone do naturalnych, jedynie w kilku punktach wykazano lokalnie podwyższone zawartości z całą pewnością genezy antropogenicznej w rejonie Karłowa, Pasterki, Dańczowa i przy Szosie 100 Zakrętów. Podwyższone koncentracje miedzi w ektopróchnicach leśnych występują głównie na wierzcholinie Skalniaka, w zachodniej części Szczelińca oraz na wzniesieniach otaczających Pasterkę. Obiekty te tworzą rodzaj „barier orograficznych” najbardziej narażonych na kontakt z masami powietrza napływającymi z kierunku zachodniego i południowo-zachodniego. Zawartość ołowiu w warstwach mineralnych gleb słabo koreluje z rodzajem skały macierzystej, a znacznie silniej z nagromadzeniem substancji organicznej i składem drzewostanu. Pod drzewostanami świerkowymi, a nawet na różnych podłożach geologicznych, zawartość ołowiu jest z reguły większa niż pod drzewostanami liściastymi, szczególnie na wyższych wysokościach n.p.m. [20, 22, 76].

Gleby organiczne występują na terenie PN Gór Stołowych na wysokości 500 – 800 m npm. Łączna ich powierzchnia wynosi około 100 ha, co stanowi 2% powierzchni PNGS. Gleby organiczne reprezentowane są głównie przez gleby murszowe i gleby torfowe. Gleby organiczne spotyka się na płaskiej wierzcholinie Skalniaka, na jego północnych stokach oraz w dolnej i środkowej części skłonów południowych. Niewielkie zasięgi torfowisk źródłowych można spotkać w okolicy Kamiennego Potoku oraz u podnóża Urwiska Batorowskiego [24].

Ilościowy i jakościowy skład mineralogiczny zwietrzelin na terenie PNGS determinowany jest głównie przez chemizm skały macierzystej i klimat. Mineralogiczna analiza dyfrakcyjna i termiczna pozwoliła stwierdzić że skład frakcji  $< 2 \mu m$  wchodzi następujące minerały: hydrobiotyt - wermikulit (H-V), kaolinit (K), illit (I) i chloryt (Ch). Minerałom tym towarzyszy wysokodispersyjny kwarc. Na podstawie szerokiej linii dyfrakcyjnej od 1,04 – 1,35 nm z maksimum przy 1,4 nm można sądzić, że produkty wietrzenia badanych skał są minerałami przejściowymi w szeregu: biotyt-hydrobiotyt-wermikulit [25].

Pojemność wymiany kationów i wysycenia zasadami są ważnymi kryteriami w typologii gleb i służą między innymi rozróżnianiu poziomów diagnostycznych oraz identyfikacji jednostek glebowych na różnych poziomach klasyfikacji. Na terenie PNGS suma kationów zasadowych zależy od zawartości materii organicznej oraz od odczynu gleby i uziarnienia, które związane jest z rodzajem skały macierzystej [65]. Największa jest w glebach wytworzonych z mułowców górnokredowych, następnie z piaskowców permskich i granitów, a najmniejsza w glebach wytworzonych ze zwietrzelin piaskowców górnokredowych. W rezultacie wysycenie zasadami osiąga 60% w glebach brunatnych właściwych, 45-47% w glebach płowych, podczas gdy w glebach brunatnych kwaśnych tylko 25%. Suma wymiennych kationów zasadowych oraz stopień wysycenia kationami zasadowymi wyraźnie różnicują warunki troficzne siedlisk leśnych PNGS, odzwierciedlając złożone współoddziaływanie podłoża geologicznego, procesów morfologicznych i typologicznych procesów glebotwórczych

Mady rzeczne są jedną z grup gleb poddanych najintensywniejszym antropogenicznym przeobrażeniom, które wynikają zarówno z zahamowania naturalnego procesu narastania aluwialnego substratu glebowego, jak i wskutek osuszania dolin rzecznych. Dolina rzeki Dobrej na Równinie Oleśnickiej podlegała intensywnym przekształceniom już od XVII wieku, w związku z planowanym urządzeniem stawów rybnych. W rejonie wsi Pawłowic koryto rzeki zostało przełożone poza dno doliny na odcinku kilku kilometrów. Piaskowe gleby na terasie nadzalewowej (plejstoceniowej) oraz zalewowej wyższej (holoceniowej) przekształcają się w gleby typu czarnych ziem zdegradowanych lub mad brunatnych bardzo lekkich o cechach gleb brunatno-rdzawych (oglejonych). W zmeliorowanych intensywnie rolniczo użytkowanych glebach aluwialnych tworzą się głębokie i strukturalne poziomy orno-próchniczne o cechach poziomów diagnostycznych mol lic (w madach średnich na terasie zalewowej) lub umbric (w madach lekkich i bardzo lekkich). Pyłowo-gliniaste gleby wytworzone z namulów najniższej terasy holoceniowej, przeobrażają się w mady próchniczne zbliżone do czarnych ziem [55]. W składzie frakcji ilastej gleb wytworzonych z różnowiekowych osadów aluwialnych i zastoiskowych w dolinie Dobrej dominuje illit, któremu towarzyszą minerały mieszano pakietowe illit-smektyt, smektyt oraz kaolinit. W powierzchniowych poziomach odwodnionych mad terasy zalewowej i gleb rdzawych terasy nadzalewowej illit ulega transformacji w smektyt, co prowadzi do nagromadzenia minerałów mieszano pakietowych typu illit-smektyt. Warunki redukcyjne panujące w głębszych poziomach gliniastych mad rzecznych i ilastych gleb gruntowo-glejowych konserwują pierwotny skład frakcji ilastej osadów, co przejawia się

wysoką zawartością kaolinitu oraz wyraźną przewagą illitu nad minerałami mieszano pakietowymi i smektytem [44].

Specyficznymi enklawami w krajobrazie wiejskim są parki dworskie urządzone na dawnych gruntach rolniczych. Uważa się, że zaniechanie użytkowania rolniczego i ekstensywne użytkowanie parkowo-leśne konserwuje naturalne właściwości gleb. Jednocześnie bliskość zabudowań folwarcznych, intensywne wykorzystanie rekreacyjne, a także celowe przeobrażenie ukształtowania terenu i stosunków wodnych mogą powodować daleko idące zmiany morfologii i właściwości gleb. Badania prowadzono w parku dworskim w Pawłowicach o powierzchni 7,38 ha założonego w końcu XIX wieku w otoczeniu pałacu i w sąsiedztwie folwarku. Obszar parku położony jest na styku równiny morenowej oraz płytkiej doliny rzeki Dobra. W części środkowej i na wschodnich obrzeżach występują gleby o różnym uziarnieniu, od piaskowego do gliniastego i gliniasto-ilastego klasyfikowane jako gleby rdzawe, płowe i gruntowo-glejowe, w których profilu występuje naturalny układ poziomów genetycznych i brak obcych domieszek. W otoczeniu stawu i kanałów we wschodniej części parku występują gleby gruntowo – glejowe, których profil jest nadbudowany osadami dennymi pozyskiwanymi w czasie odmulania obiektów wodnych parku. Najsilniej przekształcone lub nadbudowane gleby występują w zachodniej części parku. W otoczeniu pałacu i dalej wzdłuż południowej i północnej granicy parku dominują gleby, których profil nadbudowany materiałami ziemistymi o uziarnieniu piasku lub gliny piaszczystej, na ogół z niewielką domieszką rozproszonego wapna i gruzu lub cienką warstwą gruzowo-piaszczystą. Klasyfikowano je jako Spolic Technosols, Technic Arenosol albo Technic Regosols. Głównymi przyczynami antropogenicznego przekształcenia gleb parku są; wykorzystanie gruzu i materiałów ziemistych do kształtowania powierzchni terenu, bliskość zabudowań gospodarczych, w tym hodowlanych, oraz lokalne wykorzystanie osadów dennych z odmulania stawu i kanałów. Wpływ człowieka na gleby parku ujawnia się поблизу pałacu, zabudowań gospodarczych oraz stawu parkowego i kanałów zasilających, natomiast w krajobrazowej części parku występują gleby niezaburzonej morfologii profilu i niezmiennych właściwościach fizykochemicznych. Najważniejszymi przejawami zmian chemicznych w glebach parku są: wzrost pH, ilości fosforu i magnezu przyswajalnego oraz całkowitej zawartości cynku i kadmu [48].

Materia organiczna jest jednym z podstawowych składników kształtujących fizyczne, chemiczne i biologiczne właściwości gleby. W górskich siedliskach leśnych wykształca się specyficzny typ ektopróchnicy, której źródło stanowi głównie opad igliwia oraz liści z drzew,

a także resztki roślinne z podszytu oraz runa leśnego. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że badane podpoziomy O1 i Ofh oraz mineralne poziomy Ah profilów pod drzewostanem świerkowym i bukowym różniły się pod względem parametrów fizykochemicznych. Wyższe wartości SOC i Nt oraz szerszy stosunek C/N w podpoziomach organicznych i poziomach próchnicznych świadczą o wolniej przebiegającym procesie mineralizacji i większej kumulacji materii organicznej na stanowiskach świerkowych w porównaniu do stanowisk bukowych. Próchnica kształtująca się pod bukowym drzewostanem charakteryzuje się obecnością kwasów huminowych o większej masie cząsteczkowej i wyższym stopniu kondensacji struktur aromatycznych w porównaniu z próchnicą gleb pod drzewostanem świerkowym, na co wskazują niższe wartości stosunków absorpcji  $A_{4/6}$  [52, 58]. Badania transformacji materii organicznej w górskich siedliskach leśnych wskazują, że na zróżnicowanie składu ilościowego i jakościowego połączeń próchnicznych znaczący wpływ ma przede wszystkim rodzaj zbiorowiska roślinnego. Tempo dekompozycji martwej materii organicznej uzależnione jest przede wszystkim od zawartości trudno rozkładalnych substancji takich jak lignina, garbniki i woski, gdyż wyraźnie spowolniają one jej przemiany. Powstające w procesie humifikacji ściółek leśnych kwasy huminowe pod drzewostanem bukowym w PNGS charakteryzują się wyższymi wartościami  $\omega$  oraz niższymi wartościami stosunków C/N, co wskazuje na ich większą „dojrzałość” w porównaniu do kwasów huminowych pod drzewostanem świerkowym. Stosunek absorpcji  $A_{4/6}$ , jak również stosunki H/C i C/N oraz wartości stopnia utlenienia wewnętrznego w poziomie próchnicznym A pod drzewostanem świerkowym oraz bukowym wskazują na większy udział kwasów huminowych o większej masie cząsteczkowej i wyższym stopniu kondensacji struktur aromatycznych w porównaniu do poziomów wyżej zalegających [12, 58].

Bernard Gotka