

AUTOREFERAT

Dr Paweł Kapusta

Instytut Botaniki im. W. Szafera
Polska Akademia Nauk

Kraków 2015

POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE

23.01.2007

Doktor nauk biologicznych w zakresie biologii

Instytut Nauk o Środowisku, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi,
Uniwersytet Jagielloński

Promotor: prof. dr hab. January Weiner

Tytuł rozprawy doktorskiej: „Struktura zmienności przestrzennej ekosystemów leśnych Puszczy Niepołomickiej”

26.06.2000

Magister biologii (specjalność ekologia)

Instytut Nauk o Środowisku, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi,
Uniwersytet Jagielloński

Promotor: prof. dr hab. January Weiner

Tytuł pracy magisterskiej: „Rozmieszczenie przestrzenne wazonkowców w glebach Puszczy Niepołomickiej – analiza geostatystyczna”

INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH

od 01.01. 2007

Adiunkt

Instytut Botaniki im. W. Szafera Polskiej Akademii Nauk

od 08.03.2006

Asystent

Instytut Botaniki im. W. Szafera Polskiej Akademii Nauk

OSIĄGNIĘCIE BĘDĄCE PODSTAWĄ UBIEGANIA SIĘ O STOPIEŃ DOKTORA HABILITOWANEGO

Jako osiągnięcie wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.) wskazuję cykl czterech publikacji oryginalnych na temat:

Naturalne i antropogeniczne czynniki kształtujące zbiorowiska roślinne i towarzyszące im zespoły organizmów glebowych w terenie zanieczyszczonym metalami ciężkimi

1. Kapusta P., Szarek-Łukaszewska G., Vogt R.D. 2015. **Physicochemical and biological properties of soils in the prevailing types of plant communities in the Olkusz mining region.** W: Godzik B. (red.) *Natural and historical values of the Olkusz Ore-bearing Region*, s. 269–283. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków.

IF: - / Pkt MNiSW: 5

2. Kapusta P., Szarek-Łukaszewska G., Stefanowicz A.M. 2011. **Direct and indirect effects of metal contamination on soil biota in a Zn-Pb post-mining and smelting area (S Poland).** *Environmental Pollution* 159: 1516–1522.

IF₂₀₁₁: 3,746 / Pkt MNiSW: 40

3. Kapusta P., Sobczyk Ł. 2015. **Effects of heavy metal pollution from mining and smelting on enchytraeid communities under different land management and soil conditions.** *Science of the Total Environment* 536: 517–526.

IF₂₀₁₄: 4,099 / Pkt MNiSW: 35

4. Kapusta P., Szarek-Łukaszewska G., Jędrzejczyk-Korycińska M., Zagórna M. **Do heavy-metal grassland species survive under a Scots pine canopy during early stages of secondary succession?** *Folia Geobotanica* DOI: 10.1007/s12224-015-9232-x.

IF₂₀₁₄: 1,778 / Pkt MNiSW: 25

OMÓWIENIE CELU NAUKOWEGO PRAC ZGŁOSZONYCH DO POSTĘPOWANIA HABILITACYJNEGO I OSIĄGNIĘTYCH WYNIKÓW

Tereny metalonośne, z glebami naturalnie bądź wtórnie wzbogaconymi w metale ciężkie, są miejscem występowania specyficznej flory – gatunków roślin, odmian, ekotypów, które w warunkach silnej presji selekcyjnej wykształciły liczne adaptacje umożliwiające im przetrwanie w skrajnie nieprzyjnym siedlisku. Rośliny te, nazywane „metalofitami”, radzą sobie nie tylko z wysoką zawartością, a co za tym idzie, toksycznością pierwiastków śladowych, takich jak cynk, nikiel czy ołów, ale także z niedostatkami substancji pokarmowych i wody.

Badania nad ekologią metalofitów i zbiorowisk, w których te rośliny występują, nabrały w ostatnim czasie dużego tempa. Jest to związane z pilną potrzebą zagospodarowania terenów przemysłowych, których stale przybywa. Tereny takie mogą niekorzystnie oddziaływać na środowisko przyrodnicze i zdrowie ludzi z powodu wysokiego nagromadzenia materiałów toksycznych, a ponadto mają niewielkie walory estetyczne i użytkowe. Do niedawna popularnym sposobem neutralizacji ryzyka środowiskowego i naprawy zniszczonego krajobrazu było sadzenie drzew i/lub krzewów. Dziś takie praktyki poddawane są krytyce. Uważa się, że w wielu przypadkach są one mało efektywne (np. prowadzą do powstania nietrwałej, erodującej pokrywy roślinnej) i zbyt kosztowne. Według niektórych badaczy, wystarczająco dobry efekt można uzyskać w inny sposób – pozwalając, by nieużytki przemysłowe zarosły same na drodze naturalnej lub wspomaganiej sukcesji. Proces ten może przebiegać stosunkowo szybko pod warunkiem zachowania dostępności diaspory odpowiednich gatunków roślin, między innymi wspomnianych wyżej metalofitów.

Do zbiorowisk metalofitów zalicza się murawy galmanowe – zgrupowania roślin związane z podłożem zasobnym w cynk i ołów – które w Polsce występują między innymi na terenie Olkuskiego Okręgu Rudnego (OOR). Wyróżniają się one unikatowym w skali regionu składem gatunkowym: większość obecnych w nich taksonów to potwierdzone badaniami metalofity fakultatywne – ekotypy gatunków pospolitych (np. *Festuca ovina*, *Silene vulgaris*) i rzadkich (np. *Biscutella laevigata*, *Gentianella germanica*) o wysokiej tolerancji na metale ciężkie i wysokim potencjale do kolonizacji nowych siedlisk. Najcenniejsze płaty muraw galmanowych charakteryzują się dużym bogactwem gatunkowym (dorównują pod tym względem niektórym nawapiennym murawom kserotermicznym) i zwarciem.

Roślinność galmanowa dzięki swoim zaletom mogłaby się stać w OOR (i nie tylko tam) jednym z fundamentów ochrony środowiska przed oddziaływaniem substancji toksycznych (np. poprzez fitostabilizację) i naprawy zniszczonego krajobrazu. Przegrywa ona jednak ze sztucznie tworzonymi monokulturami leśnymi, głównie sosnowymi. W Polsce, wśród praktyków, wciąż panuje opinia, że sadzenie drzew i krzewów jest najwłaściwszą formą zagospodarowania terenów przemysłowych, w tym terenów metalonośnych. W efekcie, dopóki gatunki drzewiaste są w stanie rosnąć, nie szuka się dla nich alternatywy. Winę za ten stan rzeczy ponosi brak danych, które pozwoliłyby w sposób wiarygodny ocenić czy i w jakim stopniu roślinność spontaniczna jest lepsza od roślinności sztucznie formowanej.

Niniejszy cykl prac miał za zadanie wypełnić, przynajmniej częściowo, lukę w wiedzy na temat zasadności i możliwości wykorzystania roślinności spontanicznej w zagospodarowaniu nieużytków przemysłowych obciążonych metalami ciężkimi. Badania obejmowały różne aspekty ekologii dominujących w OOR zbiorowisk roślinnych, w tym muraw galmanowych i lasów sosnowych będących efektem rekultywacji. W badaniach pominięto aspekt florystyczny, jako dobrze poznany i mający drugorzędne znaczenie w zastosowaniach praktycznych.

Głównymi celami badań były:

- określenie właściwości fizycznych i chemicznych gleb, w szczególności zawartości całkowitych i biodostępnych form Cd, Pb i Zn, pod dominującymi w OOR zbiorowiskami roślinnymi oraz ustalenie związku pomiędzy tymi właściwościami, historią użytkowania terenu i cechami zbiorowisk roślinnych (warstwy zielnej);
- identyfikacja czynników decydujących o kondycji biologicznej gleb, reprezentowanej przez ilościowe i jakościowe parametry zespołów organizmów glebowych (w szczególności wazonkowców), pod dominującymi w OOR zbiorowiskami roślinnymi;
- ocena wpływu sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) sadzonej w ramach rekultywacji nieużytków pogórnich na właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleb oraz parametry zbiorowisk roślinnych (warstwy zielnej);
- identyfikacja czynników decydujących o składzie i bogactwie gatunkowym murawy galmanowej w sytuacji jej zarastania (sukcesja wtórna) przez sosnę zwyczajną.

1. Kapusta P., Szarek-Lukaszewska G., Vogt R.D. 2015. **Physicochemical and biological properties of soils in the prevailing types of plant communities in the Olkusz mining region.** W: Godzik B. (red.) *Natural and historical values of the Olkusz Ore-bearing Region*, s. 269–283. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków.¹

Rejon odkrywkowej działalności górniczej Olkuskiego Okręgu Rudnego (OOR) stanowi mozaikę siedlisk półnaturalnych i sztucznych będącą wynikiem zróżnicowanej geologii i historii użytkowania. Większość „elementów” tej mozaiki (różnego rodzaju nieużytki przemysłowe, ale także tereny rolnicze i leśne) była w przeszłości przedmiotem intensywnych badań glebowych. Badania te prawie zawsze koncentrowały się na ocenie stopnia skażenia podłoża metalami ciężkimi. Zebrano dużą ilość danych, która daje wyobrażenie o skali ryzyka środowiskowego i jest świetnym punktem wyjścia do planowania kolejnych badań (innych niż glebowe), ale nie może zostać użyta w analizach statystycznych. Wynika to z faktu, iż dane pochodzące z różnych typów siedlisk były zbierane w różnym czasie, w różnym zakresie (są mniej lub bardziej szczegółowe) i różnymi metodami; w dodatku w wielu przypadkach brakuje dokładnej informacji na temat lokalizacji punktów pomiarowych. Uzyskanie nowych danych glebowych, które można by powiązać z dobrze zdefiniowanymi typami zbiorowisk roślinnych, wydaje się więc nieodzowne dla badań nad zmiennością szaty roślinnej terenów metalonośnych OOR.

Celem niniejszej pracy było określenie właściwości fizycznych i chemicznych gleb, w szczególności zawartości całkowitych i biodostępnych form Cd, Pb i Zn, pod dominującymi w OOR zbiorowiskami roślinnymi oraz ustalenie związku pomiędzy tymi właściwościami, historią użytkowania terenu i cechami zbiorowisk roślinnych (warstwy zielnej). Badaniem objęto bliskie okolice Zakładów Górniczo-Hutniczych (ZGH) „Bolesław”, tj. nieużytki pogórnice, oraz tereny porolne i leśne znajdujące się w strefie silnego oddziaływania emisji pyłowych (powierzchnie badawcze były lokowane w odległości od 0,5 do 5,5 km od huty cynku). W ich obrębie zidentyfikowano zbiorowiska roślinne, dla których można było uzyskać co najmniej kilka niezależnych (przestrzennie odseparowanych) powtórzeń. Zbiorowiska wyróżniano na podstawie ich fizjonomii oraz występowania gatunków panujących i charakterystycznych; następnie dookreślano je poprzez typ podłoża, na którym występowały: gleba piaszczysta lub gleba wykształcona na odpadzie górniczym. W ten sposób wyróżniono 6 typów zbiorowisk (reprezentowanych w sumie przez 49 powierzchni badawczych): GW – wielogatunkowe murawy galmanowe występujące na odpadzie górniczym (mieszanie węglanowej skały płonnej, głównie dolomitu i kalcytu, i odpadu popłuczkowego), GS – murawy galmanowe z dominacją *Festuca ovina* występujące na piasku, MW – murawy z dominacją *Molinia caerulea* występujące na odpadzie górniczym, który pokryty został cienką warstwą gleby w celu przyspieszenia procesu naturalnej sukcesji, P – murawy o charakterze

¹ Niniejsza praca, mimo że ukazała się w 2015 roku w ramach monografii podsumowującej wyniki projektu badawczego MF EOG PL0265, zawiera dane zebrane i analizowane najwcześniej, bo w latach 2008–2009, i wykorzystywane w późniejszych publikacjach. Z tego względu prezentowana jest jako pierwsza w serii prac zgłoszonych do postępowania habilitacyjnego.

mezofilnym (z roślinnością odłogów) występujące na piasku, FW – lasy sosnowe posadzone na odpadzie górniczym, FS – lasy sosnowe posadzone na piasku.

Analiza zebranych danych pozwoliła na dokonanie następujących podsumowań. Gleby pod dominującymi w OOR zbiorowiskami roślinnymi charakteryzują się dużą zmiennością właściwości fizycznych i chemicznych, co jest efektem zróżnicowania ich składu mineralogicznego, odległości od źródeł zanieczyszczeń pyłowych (głównie huty cynku), stopnia zaawansowania procesu glebotwórczego i historii użytkowania terenu. Cechą najbardziej zmienną jest całkowita zawartość metali ciężkich – różnice między minimalnymi i maksymalnymi wartościami dla Cd, Pb i Zn sięgają 2–3 rzędów wielkości. Najwięcej metali ciężkich zawierają gleby formujące się na odpadzie górniczym, najmniej – piaszczyste gleby leśne. Zestawienie uzyskanych wyników z polskimi i europejskimi normami środowiskowymi sugeruje, że nawet najmniej obciążone metalami ciężkimi gleby (z powierzchni FS) należy zaliczyć do skażonych. Gatunki roślin budujące najbogatsze na terenie OOR murawy galmanowe (GW) są związane zarówno ze skrajnie wysoką zawartością metali ciężkich w glebie, jak i z określonym typem podłoża – odpadem górniczym pochodzącym z niestosowanych już dziś technologii wydobywczych i przetwórczych (np. z sortowania i płukania kopalin). Związek z odpadem jest na tyle silny, że gatunki muraw galmanowych wkraczają nawet na powierzchnie leśne FW pomimo niekorzystnych warunków świetlnych. O bogactwie i składzie gatunkowym zbiorowisk roślinnych w dużym stopniu decyduje zawartość pierwiastków odżywczych (przede wszystkim K, Ca, Mg, C) i minerałów ilastych w glebie. Ich obfitość jest nie tylko podstawą wzrostu roślin, lecz także przyczynia się do utrzymywania metali ciężkich w formach nierozpuszczalnych, tj. trudnodostępnych dla organizmów żywych. To może tłumaczyć duże bogactwo gatunkowe roślin na powierzchniach, których wspólnym mianownikiem jest obecność minerałów węglanowych w podglebiu (GW, FW, P). Ważnym czynnikiem wpływającym na rozpuszczalność metali ciężkich jest pH. Zależy ono nie tylko od składu mineralogicznego gleby, ale także od typu pokrywy roślinnej. Sosna zwyczajna, najpospolitszy gatunek drzewa w OOR, produkuje duże ilości ściółki. Efektem jej rozkładu są kwasy organiczne, które obniżają pH gleby. Sprzyja to przechodzeniu metali ciężkich w formy rozpuszczalne i ich przenikaniu w głąb profilu glebowego. Tak się dzieje przede wszystkim w obrębie powierzchni piaszczystych (FS), gdzie nie ma szansy na neutralizację kwasów organicznych.

2. Kapusta P., Szarek-Łukaszewska G., Stefanowicz A.M. 2011. **Direct and indirect effects of metal contamination on soil biota in a Zn-Pb post-mining and smelting area (S Poland).** *Environmental Pollution* 159: 1516–1522.

W rekultywacji terenów zdegradowanych przez przemysł dąży się do uzyskania trwałej, tj. niewymagającej ciągłego odtwarzania, pokrywy roślinnej. Ma ona poprawić walory estetyczne i użytkowe krajobrazu, a w wielu przypadkach także zabezpieczyć powierzchnię gleby (lub innego materiału) przed erozją i tym samym ucieczką potencjalnie szkodliwych substancji. O jakości pokrywy roślinnej świadczy nie tylko jej wygląd zewnętrzny, ale także to, czy w trakcie jej formowania dochodzi do regeneracji glebowych sieci troficznych.

Procesowi produkcji musi bowiem towarzyszyć odpowiednio efektywny proces dekompozycji, jeśli system ma być samowystarczalny. Z tego powodu coraz częściej gleby nieużytków przemysłowych, rekultywowanych i nierekultywowanych, bada się pod kątem aktywności mikrobiologicznej i aktywności drobnej fauny glebowej. Tereny metalonośne nie były, jak dotąd, obejmowane takimi badaniami. Istnieją wprawdzie dane na temat kondycji biologicznej gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi, ale w większości przypadków mówią one o zasięgu toksycznego oddziaływania punktowych źródeł zanieczyszczeń na naturalne lub półnaturalne ekosystemy. Dane takie pochodzą z transektów, które tylko częściowo wnikają w strefę silnego skażenia. Nie uwzględniają przy tym zróżnicowania siedliskowego i związanego z nim zróżnicowania szaty roślinnej; takie zróżnicowanie jest często duże, a przez to istotne z punktu widzenia właściwego zarządzania terenem przemysłowym.

Celem niniejszej pracy była identyfikacja czynników decydujących o kondycji biologicznej gleb pod dominującymi w OOR typami zbiorowisk roślinnych w oparciu o ilościowe parametry zespołów organizmów glebowych. Badania prowadzono na tych samych powierzchniach co badania właściwości fizycznych i chemicznych gleb (wyjawszy powierzchnie MW). Oszacowano podstawowe parametry mikrobiologiczne gleby i zagęszczenie ważniejszych (liczniejszych) grup mezofauny glebowej (wazonkowców, nicieni, niesporczaków) oraz zbadano, które czynniki (typ siedliska, cechy zbiorowisk roślinnych, zawartość metali ciężkich i inne właściwości glebowe) mają największy wpływ na ich zmienność. Badania miały częściowo charakter pilotażowy. Chodziło o ustalenie, która z grup organizmów glebowych reaguje na stres środowiskowy w sposób najbardziej czytelny (ma wysoką wartość wskaźnikową) i powinna stać się przedmiotem badań bardziej szczegółowych, tj. uwzględniających strukturę zespołu, a nie tylko jego cechy ilościowe.

Analiza zebranych danych pozwoliła na dokonanie następujących podsumowań. Typ powierzchni badawczej ma istotny i dominujący wpływ niemal na wszystkie parametry kondycji biologicznej gleb. Wynika to przede wszystkim z głębokiego kontrastu, jaki istnieje pomiędzy typami podłoża, odpadem górnym i piaskiem. Powierzchnie założone na odpadzie górnym, pomimo skrajnie wysokiej zawartości metali ciężkich w glebie, mogą oferować lepsze warunki dla rozwoju glebowych sieci troficznych niż odpowiadające im powierzchnie piaszczyste. Jest to związane z ograniczoną dostępnością przyswajalnych (a więc toksycznych) form metali ciężkich, która jest efektem obfitego występowania w podłożu skał węglanowych i minerałów ilastych oraz dostatku materii organicznej. Z uwagi na obecność czynników zakłócających (których nie sposób uniknąć w badaniach terenowych) toksyczność metali ciężkich jest trudna do uchwycenia. Bezpośrednio uwidacznia się ona jedynie w negatywnej zależności pomiędzy zagęszczeniem wazonkowców i stężeniem biodostępnych form Cd i Zn. Toksyczność ta musi być jednak duża, skoro zagęszczenie wazonkowców w najmniej zdegradowanych glebach (dawne pola uprawne, lasy sosnowe) jest 2-3 rzędy wielkości niższe niż podawane z obszarów niezanieczyszczonych. Ponieważ wazonkowce są ważnym węzłem w sieci zależności pokarmowych i funkcjonalnych ich negatywna odpowiedź na stres chemiczny może mieć konsekwencje dla całego ekosystemu glebowego (praca pokazała, że spadkowi zagęszczenia wazonkowców towarzyszy spadek aktywności mikroorganizmów glebowych). Cechy zbiorowisk roślinnych nie mają dużego

znaczenia dla zespołów organizmów glebowych; jedyny statystycznie istotny związek (pozytywny) wykryto pomiędzy pokryciem roślin i zagęszczeniem wazonkowców. Może to jednak wynikać z faktu, że zmienność cech zbiorowisk roślinnych zawiera się częściowo w podziale na typy powierzchni (jak wspomniano wyżej, ten czynnik był wysoce istotny).

3. Kapusta P., Sobczyk Ł. 2015. **Effects of heavy metal pollution from mining and smelting on enchytraeid communities under different land management and soil conditions.** *Science of the Total Environment* 536: 517–526.

W ocenie jakości biologicznej gleb parametry ilościowe (np. respiracja gleby, całkowita biomasa organizmów, sumaryczna liczba osobników) odgrywają kluczową rolę. Nie dlatego, że są one wyjątkowo czułe na niekorzystne zmiany warunków glebowych, lecz dlatego, że ich uzyskanie jest stosunkowo łatwe (nie wymaga angażowania specjalistów) i mało kosztowne. Niestety, interpretacja danych ilościowych bywa kłopotliwa. Zdarza się, że wraz ze wzrostem natężenia stresu środowiskowego dochodzi do przebudowy zespołu polegającej na zastępowaniu gatunków wrażliwych na stres przez gatunki nań odporne. W efekcie wartości parametrów ilościowych zamiast spadać, utrzymują się na stałym poziomie lub nawet rosną, wskazując na brak negatywnych oddziaływań. Jeśli chodzi o zespoły wazonkowców w OOR, zastępowanie jednych gatunków przez inne w gradiencie zanieczyszczenia jest mało prawdopodobne, ponieważ w tej grupie zwierząt nie ma gatunków szczególnie odpornych na toksyczne stężenia metali ciężkich. Niemniej poznanie składu gatunkowego wazonkowców może rzucić nowe światło na zależności pomiędzy czynnikami środowiskowymi a fauną glebową w terenie przekształconym przez przemysł.

Celem niniejszej pracy było uzyskanie pełnej charakterystyki zespołów wazonkowców formujących się pod dominującymi w OOR zbiorowiskami roślinnymi (tj. określenie składu gatunkowego, różnorodności i zagęszczenia zwierząt) i powiązanie jej z zanieczyszczeniem, naturalnymi właściwościami gleby, parametrami zbiorowisk roślinnych oraz zabiegiem rekultywacji technicznej (bądź jego brakiem). Badania przeprowadzono na tych samych powierzchniach co badania właściwości fizycznych i chemicznych gleb. Aby uchwycić efekt metali ciężkich dopływających z powietrza, do zbioru zmiennych wyjaśniających dodano zmienne opisujące odległość powierzchni badawczych od źródeł zanieczyszczeń pyłowych (huty cynku, osadnika odpadów poflotacyjnych). Aby ocenić efekt rekultywacji, dokonano ważnej modyfikacji bazy danych. Z powierzchni leśnych założonych na podłożu piaszczystym (FS) wydzielono lasy sosnowe znajdujące się poza terenem górniczym, uprawiane w ramach gospodarki leśnej, i stworzono z nich osobną grupę (FSF). Powierzchnie, które pozostały w grupie FS reprezentowały zrekultywowane nieużytki pogórnice. Dzięki tej modyfikacji możliwe było zestawienie do porównań powierzchni badawczych tworzących układ dwuczynnikowy (GW, FW, GS i FS) i tym samym testowanie efektu typu podłoża (odpad górniczy vs piasek), efektu rekultywacji (sadzenie sosny zwyczajnej vs pozostawienie terenu do spontanicznej sukcesji roślinnej) oraz efektu interakcji tych czynników.

Analiza zebranych danych pozwoliła na dokonanie następujących podsumowań. Stres wywołany toksycznym oddziaływaniem metali ciężkich jest głównym czynnikiem kształtującym zespoły wazonkowców (różnorodność i liczebność zwierząt) na terenie OOR. Poziom tego stresu jest ściśle związany z odległością od emitora zanieczyszczeń pyłowych – huty cynku. Odległość od osadnika odpadów poflotacyjnych nie ma znaczenia dla fauny wazonkowców. Obecność odpadu górniczego wpływa na jakość środowiska glebowego w mniejszym stopniu niż odległość od huty, o czym świadczy słaba (negatywna) reakcja wazonkowców na całkowitą zawartość metali ciężkich w glebie. Wynik ten może świadczyć o mniejszej toksyczności odpadu górniczego w porównaniu z pyłem pochodzącym z procesów metalurgicznych. Skład gatunkowy wazonkowców zależy przede wszystkim od pH gleby i związanego z tym typu podłoża, w dalszej kolejności – od zanieczyszczenia. Narastające zanieczyszczenie modyfikuje strukturę zespołu poprzez stopniową eliminację gatunków; te najmniej wrażliwe (np. z rodzaju *Enchytraeus*) eliminowane są najpóźniej. Czynnikiem niemal równie ważnym dla wazonkowców w OOR jak zanieczyszczenie jest bogactwo gatunkowe roślin; ma ono pozytywny wpływ na liczebność i różnorodność zwierząt. Wynik ten może mieć znaczenie praktyczne. Sugeruje, że w odtwarzaniu szaty roślinnej w terenie zdegradowanym powinno się dążyć do uzyskania wielogatunkowych zbiorowisk roślinnych, które najwyraźniej sprzyjają rozwojowi glebowych sieci troficznych. Porównanie czterech typów powierzchni pokazało, że rekultywacja (sadzenie sosny zwyczajnej) ma istotny wpływ na właściwości gleby i zespoły wazonkowców. Sosna obniża pH gleby, czego efektem może być obserwowana ucieczka pierwiastków odżywczych (K, Ca) i metali ciężkich (Pb) w głąb profilu glebowego. Sosna stwarza lepsze warunki dla rozwoju fauny glebowej, o czym świadczy wyższa liczebność i różnorodność wazonkowców na powierzchniach leśnych (prawdopodobnie wynika to z obecności grubej warstwy ściółki, która zatrzymuje wilgoć). Efekt rekultywacji, chociaż istotny, jest niewielki (zwłaszcza w przypadku powierzchni z odpadem górnicznym) i może nie mieć dużego znaczenia z punktu widzenia poprawy jakości gleby.

4. Kapusta P., Szarek-Łukaszewska G., Jędrzejczyk-Korycińska M., Zagórna M. **Do heavy-metal grassland species survive under a Scots pine canopy during early stages of secondary succession?** *Folia Geobotanica* DOI: 10.1007/s12224-015-9232-x.

Warunkiem wykorzystania naturalnego procesu sukcesji roślinnej w rekultywacji nieużytków pogórnicznych jest istnienie źródeł diaspor gatunków zdolnych do kolonizacji tych nieużytków. W przypadku OOR takich źródeł – wielogatunkowych muraw galmanowych – zachowało się niewiele. Wynika to z antropogenicznego charakteru odpowiadającym im siedlisk. Murawy galmanowe porastają powierzchnie najsilniej przeobrażone, mechanicznie i chemicznie, które stanowią niepożądany (a więc eliminowany) element w krajobrazie. Przez ostatnie 30 lat w OOR zasypano większość wyrobisk odkrywkowych i rozebrano bądź wyrównano większość usypisk odpadów górnicznych, a tak przygotowany teren zalesiono lub oddano pod zabudowę komercyjną. W efekcie zasięg muraw galmanowych skurczył się do nielicznych i izolowanych stanowisk. Niszczenie siedlisk nie jest jedynym zagrożeniem dla roślinności galmanowej. Ostatnio na niezalesione nieużytki OOR, w tym na największy i

najlepiej zachowany płat murawy galmanowej, samorzutnie i gwałtownie wkracza sosna zwyczajna. Zjawisko to jest niepokojące i wymaga przebadania (podobnie jak zjawisko zarastania muraw kserotermicznych), aby możliwe było opracowanie odpowiednich środków zaradczych.

Celem niniejszej pracy było ustalenie związków przyczynowo-skutkowych pomiędzy składem i bogactwem gatunkowym murawy galmanowej a parametrami drzewostanu sosny wkraczającej na teren murawy oraz warunkami abiotycznymi siedliska. Badania prowadzono w obrębie użytku ekologicznego „Pleszczotka górską” (obejmującego jedną z powierzchni badawczych GW; patrz opis wyżej) w siatce 124 poletek badawczych. Niewielkie odległości pomiędzy poletkami (8 m) wiązały się z istotnym wpływem autokorelacji przestrzennej na wyniki analiz. Z tego powodu zastosowano specjalne techniki obliczeniowe pozwalające na oddzielenie efektu przestrzeni od efektu właściwych zmiennych wyjaśniających.

Analiza zebranych danych pozwoliła na dokonanie następujących podsumowań. Skład gatunkowy murawy galmanowej jest silnie związany ze stopniem zaawansowania procesu glebotwórczego. Gatunki będące wyróżnikami olkuskich muraw galmanowych (metalofity, głównie *Biscutella laevigata* i *Silene vulgaris*) to gatunki pionierskie, które preferują mikrosiedliska z odsłoniętymi, płytkimi i szkieletowymi glebami. Unikają one miejsc, gdzie dochodzi do akumulacji drobnych cząstek gleby i materii organicznej (np. zagłębień terenu); w takich miejscach przegrywają konkurencję z roślinami o większych wymaganiach pokarmowych, np. *Ranunculus acris*, *Plantago lanceolata*, *Carex hirta*. Sosna oddziałuje negatywnie na murawę galmanową – jej inwazja prowadzi do stopniowej eliminacji gatunków światłolubnych i ogólnego spadku bioróżnorodności. Co ciekawe, proces ten nie obejmuje gatunków najwartościowszych z punktu widzenia zachowania muraw galmanowych, tj. *Biscutella laevigata*, *Silene vulgaris*, *Gentianella germanica* (rośliny te znajdowano nawet w najgłębszym cieniu). Prawdopodobnie gatunki te tolerują zacienienie w większym stopniu niż inne gatunki muraw, a być może także korzystają z rozluźnienia pokrywy roślinnej (osłabienia konkurencji), do której dochodzi pod okapem sosny. Badania sugerują, że wycinka drzew jest koniecznym zabiegiem ochronnym na użytku „Pleszczotka górską”, jednak nie musi być prowadzona tak często, jak w przypadku muraw kserotermicznych. Wskazana jest też regeneracja mikrosiedlisk metalofitów poprzez miejscowe odsłanianie powierzchni gleby (np. usuwanie darni).

Do najważniejszych wyników moich badań zaliczam wykazanie, że:

- metale ciężkie (Cd, Pb, Zn) pochodzące z procesów metalurgicznych (emisje z huty cynku) mają silniejszy negatywny wpływ na biocenozę (zwłaszcza na zespoły organizmów glebowych) niż metale ciężkie związane z procesami wydobywania i wstępnego przetwarzania rud (zawarte w odpadach górniczych); używanie jedynie całkowitych zawartości metali ciężkich w glebie w ocenie (nawet zgrubnej) ryzyka środowiskowego nie powinno być praktykowane;
- wielogatunkowe murawy galmanowe (najcenniejsze w OOR zbiorowiska) rozwijają się tylko na określonym typie podłoża – odpadzie górniczym pochodzącym z niestosowanych już technologii wydobywczych i przetwórczych (będącym najczęściej bogatą w metale ciężkie mieszaniną skały płonnej i kamienia popłuczkowego), który nie został poddany technicznej rekultywacji;
- bogactwo gatunkowe roślin (niezależnie od typu zbiorowiska) wpływa dodatnio na zespoły organizmów glebowych – może być czynnikiem kompensującym toksyczny efekt metali ciężkich w terenach przemysłowych;
- sadzenie sosny zwyczajnej na nieużytkach pogórnich jest zabiegiem mało skutecznym z punktu widzenia poprawy jakości gleby – efekt tego zabiegu (wzrost bogactwa i liczebności mezofauny glebowej, spadek pH gleby i towarzyszący mu wzrost mobilności niektórych metali) jest niewielki i praktycznie ograniczony do podłoża piaszczystych; sadzenie sosny na odpadzie górniczym jest zabiegiem odbierającym siedliska cennym przyrodniczo zbiorowiskom roślinnym (murawom galmanowym);
- gatunki wyróżniające olkuskie murawy galmanowe (takie jak *Biscutella laevigata*, *Silene vulgaris*, *Gentianella germanica*) są stosunkowo odporne na niekorzystne zmiany siedliskowe wynikające z dominacji sosny zwyczajnej – gatunki te utrzymują się pod okapem sosny wkraczającej na murawy w procesie naturalnej sukcesji oraz pojawiają się w monokulturach sosnowych sadzonych na odpadzie górniczym;
- dla wyżej wymienionych gatunków ważna jest obecność mikrosiedlisk o charakterze inicjalnym, tj. z odsłoniętym podłożem skalnym – wytworzenie się zwartej warstwy gleby i nagromadzenie materii organicznej powoduje wkraczanie gatunków bardziej wymagających („niegalmanowych”) i wypieranie, na zasadzie konkurencji, metalofitów.

OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO BADAWCZYCH

Przebieg pracy naukowej przed uzyskaniem stopnia doktora

Działalność naukowo-badawczą rozpocząłem w czasie studiów na Wydziale Biologii i Nauk o Ziemi Uniwersytetu Jagiellońskiego. W 1998 r. zostałem przyjęty, w roli magistranta, do zespołu badawczego, jaki zawiązał się w Zakładzie Ekologii Ekosystemów (Instytut Nauk o Środowisku UJ) w związku z realizacją projektu badawczego pt. „Naturalne i antropogeniczne czynniki w funkcjonowaniu ekosystemów leśnych: 50 lat przemian w Puszczy Niepołomickiej”. Głównym celem tego projektu było ustalenie związków przyczynowo-skutkowych pomiędzy zróżnicowaną w czasie wielkością dopływu zanieczyszczeń przemysłowych (pochodzących z krakowskiego kombinatu metalurgicznego) a funkcjonowaniem ekosystemu. Badania zakładały wykorzystanie szczególnego usytuowania Puszczy Niepołomickiej, w przestrzeni dwóch krzyżujących się gradientów – gradientu zanieczyszczenia (metale ciężkie) i gradientu siedliskowego – do wiarygodnego oddzielenia od siebie wpływu czynników antropogenicznych i naturalnych. Zadaniem, które mi powierzono, było określenie, który z gradientów ma większy wpływ na faunę wazonkowców, a więc także na procesy dekompozycji. Dokonałem analizy wzorców przestrzennych zagęszczenia wazonkowców dla lat 1998–1999, która wskazywała na brak efektu metali ciężkich i istotny efekt typu siedliska. Uzyskane wyniki stały się trzonem pracy magisterskiej przygotowanej w 2000 r. pod kierunkiem prof. dr hab. Januarego Weinera i zatytułowanej: „Rozmieszczenie przestrzenne wazonkowców w glebach Puszczy Niepołomickiej – analiza geostatystyczna”.

W 2000 roku zostałem przyjęty na studia doktoranckie w INoŚ UJ, w trakcie których postanowiłem kontynuować rozpoczęte badania. Dzięki współpracy ze specjalistą-taksonomem uzyskałem dane o składzie gatunkowym wazonkowców zebranych w 1999 r. w Puszczy Niepołomickiej. Uzyskałem też informację na temat ilości metali ciężkich zakumulowanych w ciałach tych zwierząt. Analiza danych uwiarygodniła wniosek sformułowany w pracy magisterskiej, dotyczący braku wyraźnego wpływu zanieczyszczeń przemysłowych na zmienność cech fauny wazonkowców. Wyniki badań przedstawiłem w dwóch publikacjach (Kapusta i in. 2003, Rozen i in. 2004).

Charakter prowadzonych przeze mnie badań wymagał studiowania teorii i praktyki analizy przestrzennej (integrującej metody GIS oraz metody geostatystyczne i statystyczne). Nabytą samodzielnie wiedzę wykorzystałem do napisania artykułu przybliżającego ekologom zagadnienia z zakresu geostatystyki (Kapusta 2004), a w następnej kolejności do realizacji zadań w ramach przygotowywanej pod kierunkiem prof. dr hab. Januarego Weinera rozprawy doktorskiej pt. „Struktura zmienności przestrzennej ekosystemów leśnych Puszczy Niepołomickiej”. Celem tej pracy było określenie, w oparciu o analizę geostatystyczną i statystyczną, wpływu zmienności przestrzennej warunków siedliskowych (rzeźby terenu, typów gleb, właściwości fizykochemicznych gleb oraz oddziaływania antropogenicznego) na przebieg wybranych procesów ekosystemowych, między innymi akumulację metali ciężkich

w tkankach *Moehringia trinervia*, różnorodność i skład gatunkowy porostów nadrzewnych, różnorodność i skład gatunkowy roślin runa oraz przyrost biomasy drzew. Dane zebrane zostały z wielu stanowisk w Puszczy Niepołomickiej założonych w latach 70., w warunkach silnego skażenia środowiska (imisje z huty stali), oraz w latach 1999–2000, przy słabym dopływie zanieczyszczeń. Pokazałem, że największy wpływ na badane parametry ekosystemów leśnych miały czynniki naturalne. Przestrzenne zróżnicowanie właściwości gleb wpłynęło na wzorce pobierania pierwiastków przez *M. trinervia* oraz wzorce rozmieszczenia gatunków roślin dna lasu, natomiast przestrzenne zróżnicowanie cech drzewostanu zdecydowało o wzorcach rozmieszczenia porostów nadrzewnych. Jeśli chodzi o zmiany w czasie, zaobserwowałem, że pogorszenie się stosunków wodnych w Puszczy Niepołomickiej doprowadziło do eutrofizacji części siedlisk (na skutek murszenia ściółki) i zmiany składu gatunkowego roślin dna lasu. Czynniki antropogeniczne miały umiarkowany wpływ na ekosystemy leśne (silniejszy w przeszłości). Dopływ zanieczyszczeń uwidocznił się najbardziej w lichenobiocie – liczba gatunków porostów zmalała w czasie, szczególnie na stanowiskach znajdujących się najbliżej źródła zanieczyszczeń (huty). Część opisanych wyżej wyników przedstawiłem w dwóch artykułach (Kapusta i in. 2004, Kapusta i in. 2006).

Tuż przed obroną pracy doktorskiej (w 2006 r.) zostałem zatrudniony w Zakładzie Ekologii Instytutu Botaniki im. W. Szafera Polskiej Akademii Nauk, z którym współpracowałem już wcześniej w ramach projektu realizowanego w Puszczy Niepołomickiej.

Przebieg pracy naukowej po uzyskaniu stopnia doktora (omówienie osiągnięć naukowo badawczych innych niż te wskazane jako podstawa ubiegania się o stopień doktora habilitowanego)

Badania z zakresu ekologii zanieczyszczeń

Jednym z pierwszych zagadnień, którymi się zainteresowałem w nowym miejscu pracy, była ocena depozycji atmosferycznej metali ciężkich na terenie Polski przy użyciu organizmu biowskaźnikowego – mchu *Pleurozium schreberi*. Badania tego rodzaju były prowadzone w Zakładzie Ekologii od dawna, a w sposób sformalizowany i usystematyzowany, od 1990 r. w ramach Międzynarodowego Programu Współpracy do monitorowania wpływu zanieczyszczeń powietrza (ICP Vegetation) zrzeszającego większość krajów europejskich. W czasie, w którym dołączyłem do zespołu badawczego (2007 r.), dostępne były już dane na temat zawartości metali ciężkich w mchach w 2005 r. w Polsce. Moim zadaniem było powiązanie ich, przy użyciu narzędzi GIS, z informacjami na temat typu użytkowania terenu (uzyskanymi z projektu CORINE) i rzeźby terenu. Pokazałem, że za wzorzec przestrzenny akumulacji metali ciężkich w mchach odpowiadają nie tylko źródła antropogeniczne (np. przemysł, motoryzacja), ale także źródła naturalne (np. wietrzenie gleb). Porównałem też dane z 2005 r. z danymi archiwalnymi (1986, 1990, 1995, 2000). Wyniki tych porównań obejmujące cały kraj i wybrane lokalizacje, w tym parki narodowe, wskazywały na ogólną poprawę stanu powietrza, zwłaszcza w drugim dziesięcioleciu. Raport z badań był prezentowany na spotkaniach uczestników monitoringu europejskiego. Jedną z jego części

(obejmująca dane z 2000 r.) została opublikowana w monografiach poświęconych zanieczyszczeniu powietrza w krajach Grupy Wyszehradzkiej (Suchara i in. 2007a, 2007b); był to efekt międzynarodowego projektu pt. „Mapping of main sources of pollutants and their transport in the Vysegrad space” (kierownik: doc. Ivan Suchara), w którym brałem udział.

W 2008 r. w Zakładzie Ekologii rozpoczęto realizację dużego projektu badawczego pt. „Roślinność gleb galmanowych i jej znaczenie dla zachowania różnorodności biotycznej i krajobrazowej terenów pogórnich”, finansowanego w ramach Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego. Kierownikiem projektu była prof. dr hab. B. Godzik. Ja odpowiadałem za opracowanie założeń teoretycznych i zaplanowanie badań (na etapie przygotowywania wniosku) oraz za realizację części zadań (patrz: Kapusta i Godzik 2015). Celem projektu było uzyskanie pełnej charakterystyki botanicznej i ekologicznej roślinności zasiedlającej zdegradowane przez górnictwo rud cynkowo-ołowiowych tereny OOR, a w szczególności (1) poznanie składu gatunkowego i różnorodności roślin, rozmieszczenia i obfitości występowania poszczególnych gatunków oraz stopnia mozaikowatości pokrywy roślinnej, (2) identyfikacja czynników decydujących o występowaniu roślin, a także o tworzeniu się i trwałości zbiorowisk roślinnych oraz (3) określenie wpływu różnego rodzaju pokrywy roślinnej na warunki fizyczne i chemiczne podłoża oraz aktywność biologiczną gleby. Jako pomysłodawca realizowanych w projekcie badań angażowałem się w prace wszystkich zespołów badawczych. Zadaniem jednego z tych zespołów było wykonanie spisu gatunków roślin naczyniowych z obszaru 48 km² obejmującego teren górniczy (OOR) i jego sąsiedztwo (głównie tereny rolnicze i leśne) przy zastosowaniu siatki ATPOL o rozdzielczości 1 km². Spisu dokonano (w latach 2008–2010) w taki sposób, żeby możliwe było porównanie danych zbieranych w dwóch różnych momentach czasowych (poprzednie badania florystyczne w OOR miały miejsce w 1999 r.). Badania florystyczne pokazały, że teren górniczy, pomimo dużej degradacji, ma wysokie walory przyrodnicze. Charakteryzuje się niezwykle bogactwem gatunkowym roślin naczyniowych (odnotowano ponad 800 taksonów, więcej niż w przeszłości) oraz dużym udziałem gatunków rzadkich i chronionych. Przyczyn tego stanu należy upatrywać w wysokim zróżnicowaniu siedlisk, do którego walcie przyczynił się człowiek (prace górnicze), oraz w obecności rozległej strefy buforowej wokół huty cynku, która wykluczała ingerencję w przyrodę takich czynników jak rolnictwo czy budownictwo. Wyniki badań florystycznych były publikowane w redagowanej przeze mnie monografii (Nowak i in. 2011a) oraz w innych miejscach (np. Nowak i in. 2011b, Nowak i in. 2015). W ramach pracy innego zespołu, prowadzącego badania nad aktywnością i różnorodnością funkcjonalną mikroorganizmów glebowych (na 49 powierzchniach opisywanych w pierwszej części autoreferatu), analizowałem zależność pomiędzy cechami zespołów mikroorganizmów glebowych a właściwościami fizycznymi i chemicznymi gleby; sprawdzałem też, jak na tą zależność wpływają cechy zbiorowisk roślinnych. Wyniki analiz pokazały, że zanieczyszczenie ma stosunkowo małe znaczenie dla mikroorganizmów glebowych w porównaniu z naturalnymi warunkami siedliskowymi. Niekorzystny efekt metali ciężkich, o ile występuje, może być kompensowany przez czynniki takie jak zawartość substancji odżywczych w glebie czy bogactwo gatunkowe roślin. Wyniki zostały opisane w dwóch artykułach (Stefanowicz i in. 2010, Stefanowicz i in. 2012). Na liście zadań realizowanych w ramach projektu znajdowały się także te, których efektem są prace

szczegółowo omówione w pierwszej części autoreferatu (wchodzące w skład osiągnięcia będącego podstawą ubiegania się o stopień doktora habilitowanego). Ważnym dopełnieniem tych prac są publikacje o charakterze przeglądowym lub popularno-naukowym poświęcone roślinności OOR i terenów metalonośnych w ogóle (np. Godzik i in. 2009, Kapusta i in. 2010).

Realizacja zadań w opisanym wyżej projekcie wymagała szerokiej wiedzy z zakresu analizy chemicznej gleby i analizy statystycznej. Z tego względu w 2008 r. nawiązałem współpracę z chemikiem, prof. Rolfem D. Vogtem z Uniwersytetu w Oslo. Współpraca ta, poza gwarancją poprawnej analizy prób glebowych, dała mi możliwość wzięcia udziału (w 2009 r.) w intensywnym kursie statystycznym „Methods in gradient analysis” prowadzonym na Uniwersytecie w Oslo przez wybitnych biostatystyków, takich jak Rune H. Økland. Dzięki temu nie tylko poznałem metody statystyczne stosowane w analizie danych wielowymiarowych, np. dotyczących składu gatunkowego, ale także opanowałem obsługę pakietu statystycznego R. To z kolei umożliwiło mi w kolejnym roku (2010) wzięcie udziału w szkoleniu „Predictive habitat suitability modelling” organizowanym w ramach EcoChange Summer School w wiodącym szwajcarskim ośrodku badawczym – Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research (WSL). Ucząc się modelowania zasięgu gatunków w oparciu o przewidywane zmiany warunków siedliskowych, poznałem najnowsze metody analizy przestrzennej.

Badania nad roślinnością i środowiskiem glebowym terenów pogórnicych prowadziłem także poza opisywanym wyżej projektem. W ramach współpracy (nawiązanej w 2007 r.) z dr Anetą Słomką analizowałem dane dotyczące składu chemicznego tkanek roślin z rodzaju *Viola*. Wyniki analiz pokazały, że kolonizacja mikoryzowa może chronić roślinę przed nadmiernym pobieraniem metali ciężkich z gleby i tym samym tłumaczyć wysoką odporność niektórych taksonów na warunki stresowe (Słomka i in. 2011). Od 2011 r. byłem wykonawcą w projekcie pt. „Właściwości fizykochemiczne gleby oraz różnorodność i skład gatunkowy roślinności jako czynniki determinujące funkcjonowanie mikroorganizmów glebowych starych hałd (warpii) okolic Trzebini, Jaworzna i Olkusza” kierowanym przez dr Annę Stefanowicz. Część prac, polegająca na inwentaryzacji warpii w terenie nieleśnym i scharakteryzowaniu ich pod kątem właściwości glebowych i pokrywy roślinnej, została już ukończona. Wyniki analiz pokazały, że większość obiektów (ze 73 znalezionych) stanowi ogniska (wyspy) wysokich koncentracji metali ciężkich, które mogą oddziaływać niekorzystnie na środowisko i zdrowie ludzi, ponieważ metale migrują do gleby pól uprawnych i ogródków przydomowych znajdujących się blisko warpii (Stefanowicz i in. 2014). Na wielu warpiach, nawet w warunkach dużego obciążenia cynkiem i ołowiem, rozwija się roślinność murawowa charakterystyczna dla siedlisk niezanieczyszczonych; murawy galmanowe występują tylko na młodych obiektach – z cienką i przerywaną warstwą gleby (Woch i in. 2015). Pozostałe dane zebrane w tym projekcie są obecnie opracowywane. W 2011 r. swoją uwagę zwróciłem również na inne tereny pogórnicych (niemetalonośne) – składowiska odpadów po górnictwie węgla kamiennego. Badania, w których wzięłem udział udowodniły, że pospolite rośliny ruderalne (*Calamagrostis epigejos*, *Chamaenerion palustre* i *Tussilago farfara*) są zdolne do spontanicznej kolonizacji hałd powęglowych i korzystnie oddziałują na podłoże (zwiększają zawartość niektórych substancji pokarmowych) i na

zamieszkujące je mikroorganizmy. Ich użycie w rekultywacji odpadów może być alternatywą dla sadzenia roślin drzewiastych. Wyniki tych badań ukazały się w pracy Stefanowicz i in. (2015).

W 2010 r. powróciłem do tematyki zanieczyszczenia powietrza w Polsce. Było to związane z realizacją projektu badawczego pt. „Zmienność stechiometrii pierwiastków w mchu *Pleurozium schreberi* w dużej skali przestrzennej (Polska) w warunkach zróżnicowanej antropopresji” (kierownik: prof. dr hab. B. Godzik) oraz kolejnym zbiorem mchów w ramach europejskiego programu monitoringowego „ICP Vegetation”. Jako wykonawca projektu wziąłem udział w planowaniu badań. Dzięki zwiększeniu liczby pierwiastków analizowanych w tkankach mchów (poza metalami ciężkimi analizowano pierwiastki odżywcze) oraz poszerzeniu badań o charakterystykę siedlisk (typ użytkowania terenu wokół punktów poboru prób, typ drzewostanu, właściwości gleby) można było sprawdzić, (1) czy zwiększona akumulacja metali ciężkich zaburza stechiometrię pierwiastków w mchach oraz (2) czy warunki siedliskowe, inne niż stopień zanieczyszczenia środowiska, wpływają na skład chemiczny mchów. W badaniach tych po raz pierwszy dla terenu Polski użyto mchów do oceny depozycji atmosferycznej innych substancji niż metale ciężkie: azotu i WWA (wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych). Wyniki analiz pokazały, że zanieczyszczenie metalami ciężkimi w Polsce jest generalnie mniejsze niż w poprzednich latach. Trend spadkowy jest szczególnie wyraźny w przypadku ołowiu – obejmuje wszystkie województwa. Jeśli chodzi o inne metale ciężkie, różnice pomiędzy latami są mniejsze i istotne statystycznie tylko dla niektórych województw (kadm, miedź) lub w ogóle nieistotne (cynk). Nie znaleziono dowodu na to, by pobieranie metali ciężkich wpływało na stechiometrię pierwiastków w mchach. Analiza zawartości azotu w tkankach pokazała, że mchy mogą być dobrym wskaźnikiem jego depozycji atmosferycznej. Potwierdzona została także użyteczność mchów w ocenie poziomu obciążenia środowiska związkami WWA. Wyniki badań zostały przedstawione w monografii (Harmens i in. 2013) oraz w trzech artykułach (Godzik i in. 2014, Kapusta i in. 2014a, Kapusta i in. 2014b).

Jednym z ostatnich zagadnień, którymi się zajmowałem, była zmienność składu mineralnego aparatu asymilacyjnego sosny zwyczajnej w zależności od jego wieku (igły różnych roczników, igły opadłe), czasu zbioru (różne sezony, różne lata), typu podłoża (piasek, skała węglanowa), na jakim rosły drzewa, i zawartości metali ciężkich w glebie. Badania były prowadzone od 2007 r. w ramach projektu pt. „Gospodarka mineralna drzewostanu sosnowego w warunkach stresu spowodowanego wysokimi stężeniami metali ciężkich w środowisku” (kierownik: prof. dr hab. B. Godzik). Uzyskane w projekcie dane są opracowywane przez mgr Monikę Rutkowską-Czekaj i zostaną wykorzystane w jej pracy doktorskiej. Moim zadaniem jest nadzór nad częścią metodyczną pracy (sprawuję go jako promotor pomocniczy).

Badania z zakresu ekologii lasu

Po obronie pracy doktorskiej (w 2006 r.) zaangażowałem się w badania nad strukturą i dynamiką lasów tatrzańskich. Były one prowadzone przez zespół prof. dr hab. Jana Holeksy

w ramach projektu pt. „Czasowe i przestrzenne wzorce rozwoju świerczyn tatrzańskich – dendroekologiczna rekonstrukcja dynamiki drzewostanu”. Wydarzeniem, które zainicjowało te badania było rozległe zniszczenie przez huragan w 2004 r. drzewostanu świerkowo-modrzewiowego w słowackiej części Tatrzańskiego Parku Narodowego. Powalenie dużej liczby drzew stało się okazją do pobrania prób drewna w ilości, która umożliwiła wiarygodne odtworzenie, metodami dendrochronologicznymi, historii rozwoju drzewostanu na powierzchni około 100 ha i w odcinku czasowym około 150 lat. Punktem kulminacyjnym mojego udziału w projekcie było opracowanie (w 2009 r.) danych zebranych w Tatrach metodami analizy przestrzennej. Uzyskane wyniki potwierdziły przypuszczenia, że rzadkie ale intensywne zjawiska pogodowe w postaci huraganów (odnotowano 3 takie zdarzenia na przestrzeni 150 lat) prowadziły do wielkoobszarowych zniszczeń, przez co były jednym z ważniejszych czynników kształtujących strukturę drzewostanów górskich. Sprzyjały one współwystępowaniu świerka i modrzewia. Wyniki zostały przedstawione w pracy Zielonki i in. (2010). Równoległe uczestniczyłem w innym projekcie prof. dr hab. J. Holeksy, poświęconym badaniom unikatowego w skali Europy (ze względu na rozmiary drzew) naturalnego lasu mieszanego w rezerwacie „Hrončokovský grúň”: w 2008 r. wykonałem analizę zależności pomiędzy parametrami drzewostanu, której wyniki znalazły się w publikacji Holeksy i in. (2009).

W 2012 r. zaangażowałem się w badania prowadzone przez dr hab. Magdalenę Żywiec. Ich celem było sprawdzenie, czy regeneracja jarzębiny (*Sorbus aucuparia*) w górnoreglowym borze świerkowym zależy od struktury drzewostanu. Analiza danych, zebranych z ok. 200 ha Tatrzańskiego Parku Narodowego, pokazała, że bór świerkowy na dużym obszarze jest stosunkowo jednorodny. Wynika to z wielkoskalowego charakteru naturalnych zaburzeń kształtujących jego strukturę (wiatrowałów, które miały miejsce w przeszłości). Brak zróżnicowania przestrzennego struktury drzewostanu (w szczególności brak luk) nie sprzyja odnawianiu się jarzębiny. Odnawianie to jest dodatkowo ograniczone skupiskowym rozmieszczeniem owocujących drzew i niewielkim zasięgiem obsiewu nasion. Wyniki analiz zostały opublikowane w artykule Żywiec i in. (2013).

Jarzębina była też przedmiotem badań prowadzonych przez dr Tomasza Duraka, tym razem jako gatunek kolonizujący opuszczone łąki/pastwiska górskie. W 2014 r. zostałem zaproszony do udziału w tych badaniach. Wykonana przeze mnie analiza danych pokazała, że ekspansja jarzębiny jest regulowana przynajmniej przez dwa czynniki: w przeszłości decydujące znaczenie miało zaprzestanie działalności rolniczej, co umożliwiło wertykalną „wędrowkę” drzew od granicy lasu w kierunku szczytu, natomiast później główną rolę odgrywały zmieniające się warunki pogodowe. Wyniki badań zamieszczone zostały w pracy Duraka i in. (2015).

Jednym z ostatnich moich osiągnięć było określenie, jaki wpływ na ekosystem leśny (Puszcza Kampinoska) ma obecność norowisk budowanych przez duże ssaki – borsuka (*Meles meles*) i lisa (*Vulpes vulpes*). Badania te prowadziłem wspólnie z dr Przemysławem Kurkiem. Pokazały one, że w miejscach, gdzie dochodzi do naruszenia struktury gleby (usypiska wykopanej ziemi i ich okolice), tworzą się warunki sprzyjające roślinom niewystępującym w niezaburzonym zbiorowisku leśnym lub występującym tam sporadycznie. W runie rozwijają

się rośliny siedlisk ruderalnych (prawdopodobnie dzięki odsłonięciu gleby), w podszycie zaś pojawiają się krzewy i drzewa owocowe (rozprzestrzeniane przez ssaki endozoochorycznie). Wyniki sugerują, że budowa nor przez duże ssaki zwiększa heterogeniczność siedliskową i tym samym różnorodność biologiczną lasu. Wyniki badań zostały przedstawione w dwóch artykułach (Kurek i in. 2014a, Kurek i in. 2014b).

Obecnie zaangażowany jestem w badania prowadzone w Puszczy Niepołomickiej zmierzające do poznania zależności pomiędzy ilością martwego drewna pozostawionego w lesie a jakością środowiska przyrodniczego (projekt pt. „Kształtowanie zasobów martwego drewna w siedliskach przyrodniczych w warunkach prowadzenia zrównoważonej gospodarki leśnej” kierowany przez prof. dr hab. J. Holeksę).

Bibliografia

- Durak T., Żywiec M., Kapusta P., Holeksa J. 2015. Impact of land use and climate changes on expansion of woody species on subalpine meadows in the Eastern Carpathians. *Forest Ecology and Management* 339: 127–135.
- Godzik B., Kapusta P., Szarek-Łukaszewska G. 2009. Roślinność gleb galmanowych i jej znaczenie dla zachowania różnorodności biotycznej i krajobrazowej terenów pogórnich. W: Sporek K. (red.), *Zagrożenia biotopów przekształconych przez człowieka*, s. 69–84. Uniwersytet Opolski, Opole.
- Godzik B., Szarek-Łukaszewska G., Kapusta P., Stępień K. 2014. PAHs concentrations in Poland using moss *Pleurozium schreberi* as bioindicator. *Polish Botanical Journal* 59: 137–144.
- Holeksa J., Saniga M., Szwagrzyk J., Czerniak M., Staszyńska K., Kapusta P. 2009. A giant tree stand in the West Carpathians – An exception or a relic of formerly widespread mountain European forests? *Forest Ecology and Management* 257: 1577–1585.
- Harmens H., Norris D., Mills G. and the participants of the moss survey (Kapusta P.) 2013. Heavy metals and nitrogen in mosses: spatial patterns in 2010/2011 and long-term temporal trends in Europe. ICP Vegetation Programme Coordination Centre, Centre for Ecology and Hydrology, Bangor, UK.
- Kapusta, P. 2004. Metody geostatyczne w ekologii. *Wiadomości Ekologiczne* 50: 171–194.
- Kapusta P., Godzik B. 2015. Objectives, scope and organisation of research in the Olkusz Ore-bearing Region. W: Godzik B. (red.), *Natural and historical values of the Olkusz Ore-bearing Region*, s. 87–95. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków.
- Kapusta P., Sobczyk Ł., Rożen A., Weiner J. 2003. Species diversity and spatial distribution of enchytraeid communities in forest soils: effects of habitat characteristics and heavy metal contamination. *Applied Soil Ecology* 23: 187–198.
- Kapusta P., Szarek-Łukaszewska G., Godzik B. 2006. Spatio-temporal variation of element accumulation by *Moehringia trinervia* in a polluted forest ecosystem (South Poland). *Environmental Pollution* 143: 285–293.

- Kapusta P., Szarek-Łukaszewska G., Godzik B. 2014a. Present and past deposition of heavy metals in Poland as determined by moss monitoring. *Polish Journal of Environmental Studies* 23: 2047–2053.
- Kapusta P., Szarek-Łukaszewska G., Godzik B., Łopata B. 2014b. Recent nitrogen deposition in Poland monitored with the moss *Pleurozium schreberi*. *Polish Botanical Journal* 59: 131–135.
- Kapusta P., Szarek-Łukaszewska G., Grodzińska K., Godzik B. 2010. Murawy galmanowe okolic Olkusza (południowa Polska) i problemy ich ochrony. *Chrońmy Przyrodę Ojczyzną* 66: 27–34.
- Kapusta P., Szarek-Łukaszewska G., Kiszka J. 2004. Spatial analysis of lichen species richness in a disturbed ecosystem (Niepołomice Forest, S Poland). *Lichenologist* 36: 249–260.
- Kurek P., Kapusta P., Holeksa J. 2014a. Burrowing by badgers (*Meles meles*) and foxes (*Vulpes vulpes*) changes soil conditions and vegetation in a European temperate forest. *Ecological Research* 29: 1–11.
- Kurek P., Kapusta P., Holeksa J. 2014b. Wpływ kopania i użytkowania nor przez borsuki (*Meles meles*) i lisy (*Vulpes vulpes*) na właściwości gleby i roślinność. *Sylvan* 158: 221–230.
- Nowak T., Jędrzejczyk-Korycińska M., Kapusta P., Szarek-Łukaszewska G. 2015. Characteristics of the vascular plant flora in the Olkusz Ore-bearing Region. W: Godzik B. (red.), Natural and historical values of the Olkusz Ore-bearing Region, s. 147–166. W: Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków.
- Nowak T., Kapusta P., Jędrzejczyk-Korycińska M., Szarek-Łukaszewska G., Godzik B. 2011a. The vascular plants of the Olkusz Ore-bearing Region. W: Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków.
- Nowak T., Urbisz A., Kapusta P., Tokarska-Guzik B. 2011b. Distribution patterns and habitat preferences of mountain species in the Silesian Uplands (Southern Poland). *Polish Journal of Ecology* 59: 219–234.
- Rożen A., Sobczyk Ł., Kapusta P., Niklińska M. 2004. Heavy metal concentrations in Enchytraeidae (Oligochaeta) in the Niepołomice Forest. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 57: 81–88.
- Słomka A., Kuta E., Szarek-Łukaszewska G., Godzik B., Kapusta P., Tylko G., Bothe H. 2011. Violets of the section *Melanium*, their colonization by arbuscular mycorrhizal fungi and their occurrence on heavy metal heaps. *Journal of Plant Physiology* 168: 1191–1199.
- Stefanowicz A.M., Kapusta P., Błońska A., Kompała-Bąba A., Woźniak G. 2015. Effects of *Calamagrostis epigejos*, *Chamaenerion palustre* and *Tussilago farfara* on nutrient availability and microbial activity in the surface layer of spoil heaps after hard coal mining. *Ecological Engineering* 83: 328–337.
- Stefanowicz A.M., Kapusta P., Szarek-Łukaszewska G., Grodzińska K., Niklińska M., Vogt R.D. 2012. Soil fertility and plant diversity enhance microbial performance in metal-polluted soils. *Science of The Total Environment* 439: 211–219.
- Stefanowicz A.M., Niklińska M., Kapusta P., Szarek-Łukaszewska G. 2010. Pine forest and grassland differently influence the response of soil microbial communities to metal contamination. *Science of the Total Environment* 408: 6134–6141.

Stefanowicz A.M., Woch M.W., Kapusta P. 2014. Inconspicuous waste heaps left by historical Zn-Pb mining are hot spots of soil contamination. *Geoderma* 235-236: 1–8.

Suchara I., Florek M., Godzik B., Maňková B., Rabnecz G., Sucharová J., Tuba Z., Kapusta P. 2007a. Mapping of main sources of pollutants and their transport in the Visegrad space. Part I: Eight toxic metals. Expert group on bio-monitoring the atmospheric deposition loads in the Visegrad countries, Průhonice, KLEMO Zvolen.

Suchara I., Florek M., Godzik B., Maňková B., Rabnecz G., Sucharová J., Tuba Z., Kapusta P. 2007b. Mapping of main sources of pollutants and their transport in the Visegrad space. Part II: Fifty three elements. Expert group on bio-monitoring the atmospheric deposition loads in the Visegrad countries, Průhonice, KLEMO Zvolen.

Woch M.W., Kapusta P., Stefanowicz A.M. 2015. Variation in dry grassland communities along a heavy metals gradient. *Ecotoxicology* DOI: 10.1007/s10646-015-1569-7.

Zielonka T., Holeksa J., Fleischer P., Kapusta P. 2010. A tree-ring reconstruction of wind disturbances in the mountain forest of the Slovakian Tatra Mts., Western Carpathians. *Journal of Vegetation Science* 21: 31–42.

Żywiec M., Holeksa J., Wesołowska M., Szewczyk J., Zwijacz-Kozica T., Kapusta P. 2013. *Sorbus aucuparia* regeneration in a coarse-grained spruce forest – a landscape scale. *Journal of Vegetation Science* 24: 735–743.



Kraków, 26 października 2015

Dr Paweł Kapusta