



UNIwersytet
Przyrodniczy
we Wrocławiu

Załącznik 3

Autoreferat

dr inż. Agnieszka Dradrach

Wydział Przyrodniczo-Technologiczny
Instytut Agroekologii i Produkcji Roślinnej

Wrocław 2020

Spis treści

1. Imię i nazwisko:	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej:	3
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych:	3
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy.	4
4.1. Wykaz prac naukowych wchodzących w skład jednotematycznego cyklu publikacji.....	4
4.2. Wprowadzenie	5
4.3. Główne cele badawcze	6
4.4. Obszary i obiekty badawcze	7
4.4.1. Metodologia badań	8
4.4.2. Analizy laboratoryjne.....	9
4.5. Najważniejsze wyniki badań.....	12
4.6. Wnioski	19
4.7. Bibliografia	22
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej	23
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę 26	
6.1. Osiągnięcia dydaktyczne	26
6.2. Osiągnięcia organizacyjne i popularyzujące naukę lub sztukę.....	30
7. Inne informacje, nie wymienione w pkt. 1-6, ważne z punktu widzenia przebiegu kariery zawodowej.. 31	
7.1. Opieka naukowa nad doktorantami	31
7.2. Omówienie pozostałych osiągnięć badawczo-naukowych.....	32

1. Imię i nazwisko:

Agnieszka Katarzyna Dradrach

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej:

- magister inżynier rolnictwa, 1996, Wydział Rolniczy Akademii Rolniczej we Wrocławiu
- doktor nauk rolniczych w zakresie agronomii, 2001, Wydział Rolniczy Akademii Rolniczej we Wrocławiu

Tytuł rozprawy doktorskiej: **Zawartość i formy metali ciężkich w glebach Karkonoszy w rejonie występowania kłęski ekologicznej.**

Promotor: prof. dr hab. Jerzy Weber, AR Wrocław

Recenzenci: prof. dr hab. inż. Stefan Skiba, Uniwersytet Jagielloński
prof. dr hab. Jerzy Drozd, AR Wrocław

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych:

- 2001-2010 – adiunkt w Katedrze Łąkarstwa i Kształtowania Terenów Zieleni, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu.
- 2010-2017 – adiunkt w Katedrze Kształtowania Agroekosystemów i Terenów Zieleni, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu.
- 2018-obecnie – adiunkt w Instytucie Agroekologii i Produkcji Roślinnej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu.

(mianowanie, umowa o pracę na czas nieokreślony)

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy.

Tytuł osiągnięcia naukowego:

FITOPRZYSWAJALNOŚĆ I EKOTOKSYCZNOŚĆ ARSENU W GLEBACH SILNIE WZBOGACONYCH W TEN PIERWIASTEK

4.1. Wykaz prac naukowych wchodzących w skład jednotematycznego cyklu publikacji

Osiągnięcie naukowe składa się z pięciu recenzowanych publikacji naukowych, które zostały opracowane i opublikowane po otrzymaniu stopnia naukowego doktora, w czasopismach znajdujących się na liście Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz w bazie Web of Science. Mój wkład w powstanie publikacji przedstawiony jest szczegółowo w załącznikach nr 5-9, łącznie z oświadczeniami współautorów o ich wkładzie w przygotowanie niniejszych publikacji.

- A1. Dradrach A., Karczewska A., Szopka K., Lewińska K. (2020):** Accumulation of Arsenic by Plants Growing in the Sites Strongly Contaminated by Historical Mining in the Sudetes Region of Poland. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17(9), 3342. doi.org/10.3390/ijerph17093342; **70 pkt (IF₂₀₁₉: 2.849)**
- A2. Dradrach A., Karczewska A., Szopka K. (2020):** Arsenic accumulation by red fescue (*Festuca rubra*) growing in mine affected soils - Findings from the field and greenhouse studies. *Chemosphere*, 248, 126045. doi:10.1016/j.chemosphere.2020.126045; **100 pkt (IF₂₀₁₉: 5.350)**
- A3. Dradrach A., Karczewska A., Szopka K. (2020):** Arsenic uptake by two tolerant grass species: *Holcus lanatus* and *Agrostis capillaris* growing in soils contaminated by historical mining. *Plants*, 9(8), 980. doi.10.3390/plants9080980; **70 pkt (IF₂₀₁₉: 2.762)**
- A4. Dradrach A., Szopka K., Karczewska A. (2020):** Ecotoxicity of pore water in meadow soils affected by historical spills of arsenic-rich tailings. *Minerals*, 10, 751; doi:10.3390/min10090751; **100 pkt (IF₂₀₁₉: 2.380)**
- A5. Dradrach A., Szopka K., Karczewska A. (2019):** Ecotoxicity of pore water in soils developed on historical arsenic mine dumps: The effects of forest litter. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 181, 202–213. doi:10.1016/j.ecoenv.2019.05.079; **100 pkt (IF₂₀₁₉: 4.710)**

Łączna liczba punktów za publikacje wchodzące w skład jednotematycznego cyklu publikacji, zgodnie z punktacją MNiSW obowiązującą w latach wydania publikacji wynosi **440**, natomiast ich sumaryczny współczynnik wpływu Impact Factor IF wynosi **18.051**

4.2. Wprowadzenie

Zagrożenia związane z obecnością toksycznych pierwiastków w środowisku glebowym zależą nie tylko od ich całkowitych zawartości w glebie, ale również od ich form, mobilności i bioprzyswajalności [Karczewska 2002]. Arsen to metaloid należący do V grupy układu okresowego pierwiastków, zaliczany jest do pierwiastków silnie toksycznych. Przez WHO został zamieszczony na liście 10 substancji stanowiących największe zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi [WHO 2010]. W Polsce bardzo silne wzbogacenie środowiska w arsen występuje w kilku rejonach na terenie Dolnego Śląska oraz Sudetów, z których szczególne znaczenie ma rejon Złotego Stoku, gdzie do 1962 r. wydobywano i przetwarzano rudy arsenowe. Duże koncentracje tego pierwiastka w środowisku związane są z historycznym wydobyciem i przetwórstwem rud arsenu oraz z historycznym lub współczesnym przetwórstwem rud polimetalicznych, zawierających minerały siarczkowe [Karczewska i in. 2005, 2007, 2013a]. Pozostałością po eksploatacji złóż są hałdy pogórnice, a także zbiorniki poflotacyjne, z których w przeszłości, na skutek nawałnych deszczy, szlam poflotacyjny zmieszany z wodą opadową przelewał się przez korony osadników i spływając zanieczyszczał zarówno najbliższe jak i nieco dalsze ich otoczenie. Ponadto uzyskany urobek górniczy przetwarzany był w procesach hutniczych, w trakcie których poza pożądanymi produktami wytwarzane były duże ilości żużla, deponowane w środowisku w okolicy hut, a emisje pyłowych i gazowych zanieczyszczeń do atmosfery były dodatkową przyczyną zanieczyszczenia środowiska. Stężenia arsenu w materiale odpadów górniczych i hutniczych zgromadzonym na hałdach, a także w najsilniej wzbogaconych glebach, sięgają tysięcy mg/kg, a lokalnie przekraczają 1%. Są to wielkości wielokrotnie wyższe od dopuszczalnych zawartości substancji powodujących ryzyko w glebach, które dla As mieszczą się w przedziale 10-100 mg/kg, zależnie od sposobu użytkowania gruntów i właściwości gleb [Dz. U. 2016 poz. 1395]. Arsen w środowisku występuje w postaci arseninów (III) lub arsenianów (V), a rzadziej – w postaci połączeń organicznych, a jego właściwości zależą między innymi od formy z którą mamy do czynienia [Norman 1998]. Zredukowane formy As(III) dominują w warunkach niedotlenienia lub całkowitej anaerobiozy, natomiast w warunkach wysokich potencjałów redox formy te ulegają utlenieniu do As(V). Zdecydowanie bardziej mobilny i toksyczny jest As(III), przez co łatwiej może być włączany do obiegu i rozprzestrzeniać się w środowisku, tym samym stwarzając ryzyko dla zdrowia człowieka, jak też dla wzrostu i rozwoju flory i fauny w środowisku przyrodniczym [Bergqvist 2011, Wenzel 2013, Ma i in. 2014]. Arsen uważany jest za pierwiastek słabo rozpuszczalny w glebach, a także słabo przyswajalny dla roślin i w niewielkim stopniu podlegający bioakumulacji [Wenzel 2013, Kabata-Pendias 2010]. Jednak w niektórych warunkach może być uwalniany do roztworu glebowego i w konsekwencji - wymywany do wód podziemnych oraz włączany do łańcucha troficznego. Stanowi to zagrożenie dla zdrowia ludzi – zwłaszcza mieszkańców danego terenu, oraz dla prawidłowego funkcjonowania ekosystemów. Roślinność występująca na terenach objętych badaniami zasadniczo nie wykazuje widocznych cech toksycznego oddziaływania As, a stopień pokrycia powierzchni roślinnością wydaje się zależeć głównie od takich czynników, jak relief, wystawa, szkieletowość gleb oraz wilgotność i zawartość próchnicy. Jednak fragmentaryczne dane publikowane dotychczas, dotyczące fitoprzyswajalności i fitotoksyczności arsenu w rejonach ekstremalnie wzbogaconych na

terenie Sudetów i ich Przedgórze, wskazują na występowanie efektów mutagennych u roślin [Giża 2000]. Obserwowano także wypadanie nasadzanych drzew. W doświadczeniach wazonowych stwierdzono silną fitotoksyczność As wobec traw [Karczewska i in. 2013b]. W glebach o dobrych stosunkach powietrzno-wodnych arsen jest silnie wiązany przez tlenki i wodorotlenki żelaza oraz glinu i manganu [Bauer i Blodau 2006, Wenzel 2013]. Czynniki zwiększającymi rozpuszczalność As w środowisku glebowym mogą być m. in. warunki redukcyjne, w których następuje jego uwolnienie z tych tlenków. Do desorpcji arsenu z fazy stałej gleby może przyczynić się także obecność jonów fosforanowych w roztworze glebowym oraz wprowadzenie do gleby materii organicznej, zwłaszcza bogatej w niskocząsteczkowe kwasy organiczne [Bauer i Blodau 2006, Lewińska i in. 2013, Wenzel 2013, Berg 2017, Cuske i in. 2017, Kalbitz i Wennrich 1998, Karczewska i in. 2013, 2017]. Zmiany mobilności As w glebie mogą zatem następować zarówno wskutek modyfikacji warunków środowiskowych jak i działań prowadzonych przez człowieka. Środowiskowe skutki wynikające ze wzrostu rozpuszczalności As w glebach, w tym zmiany jego toksyczności i bioprzyswajalności, zależą jednak od współdziałania wielu czynników towarzyszących i nie zostały jeszcze dobrze poznane. Wyniki badań opisywanych w literaturze w tym zakresie są często rozbieżne, dlatego te zagadnienia wymagają prowadzenia dalszych, wieloaspektowych badań. Niniejszy cykl publikacji stanowi przyczynek do poznania czynników decydujących o fitoprzyswajalności i ekotoksyczności As w glebach silnie wzbogaconych wskutek oddziaływania górnictwa i przetwórstwa rud.

Badania stanowiące podstawę niniejszego cyklu publikacji realizowane były w ramach projektu finansowanego ze środków NCN (nr 2016/21/B/ST10/02221).

4.3. Główne cele badawcze

W badaniach przedstawionych w cyklu publikacji, składającym się na osiągnięcie naukowe, postawiono następujące cele badawcze:

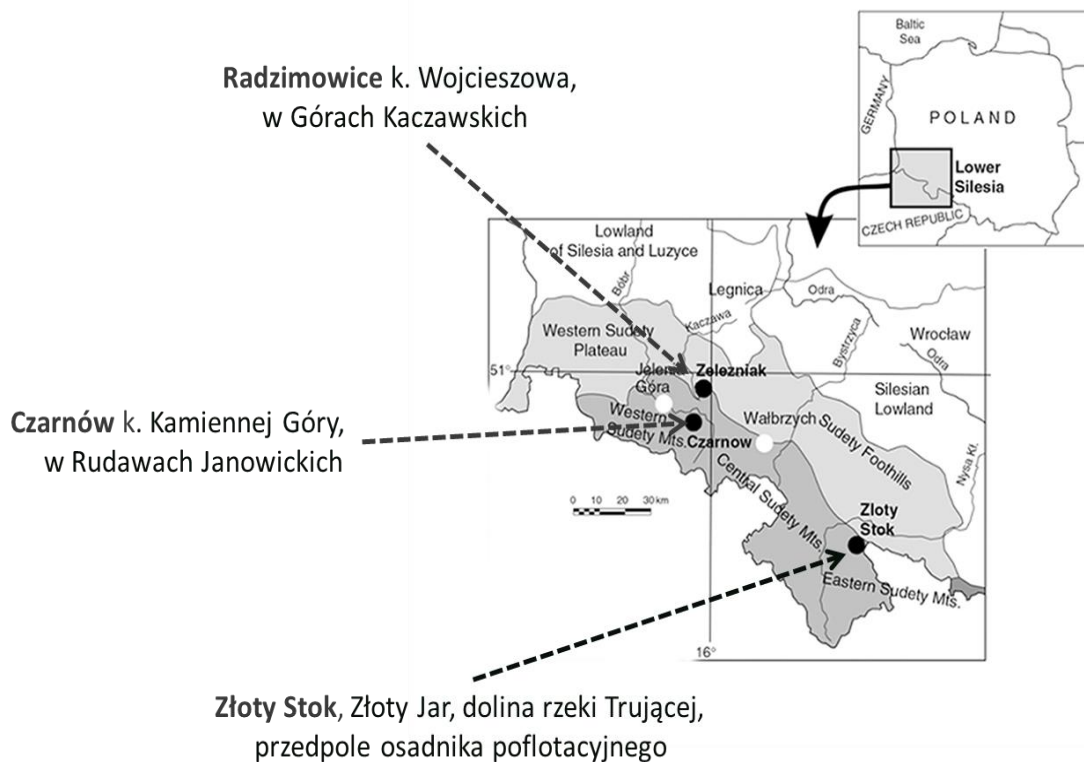
1. Określenie zawartości całkowitej oraz potencjalnej i aktualnej rozpuszczalności As w różnych glebach na terenach dawnej eksploatacji rud w Sudetach i na ich Przedgórzu.
2. Określenie koncentracji As w częściach nadziemnych i korzeniach wybranych gatunków roślin występujących na wytypowanych obszarach oraz wskazanie ryzyka możliwości włączania tego pierwiastka do łańcucha troficznego
3. Wyznaczenie parametrów charakteryzujących fitoprzyswajalność As (współczynnik: translokacji TF, bioakumulacji BAF, biokoncentracji BCF).
4. Określenie wpływu wybranych czynników (w szczególności: dodatku ściółki i nawożenia mineralnego oraz organicznego) na rozpuszczalność As w glebach, jego stężenie w roztworach glebowych i pobranie przez wybrane gatunki traw zastosowane w eksperymentach szklarniowych.
5. Ocena ekotoksyczności roztworów glebowych w oparciu o wybrane biotesty.

Wyniki tego typu badań mogą mieć ważne znaczenie dla oceny ryzyka środowiskowego na obszarach występowania zanieczyszczenia gleb arsenem. Wymóg przeprowadzenia oceny ryzyka dla terenów zanieczyszczonych wprowadzono w latach 80. w USA, zgodnie z procedurami zaproponowanymi przez US EPA [1998, 2015], a sporządzenie oceny ryzyka jest coraz częściej wymagane w różnych krajach, w tym także w Polsce.

4.4. Obszary i obiekty badawcze

Badania prowadzono na terenie południowo-zachodniej części Polski (Rycina 1), w województwie dolnośląskim, na obszarach dawnej eksploatacji rud, która spowodowała silne wzbogacenie środowiska w arsen. Na podstawie literatury i wcześniejszych prac zrealizowanych na tych obszarach do badań wytypowano następujące rejony:

- rejon dawnej eksploatacji złota i rud arsenu w Złotym Stoku [Karczewska i in. 2013a], obejmujący Złoty Jar i jego otoczenie z licznymi hałdami górniczymi i hutniczymi oraz dolinę rzeki Trującej w strefie oddziaływania osadników poflotacyjnych [Krysiak i Karczewska 2007],
- rejony dawnego górnictwa rud arsenu w Czarnowie k. Kamiennej Góry w Rudawach Janowickich [Karczewska i in. 2007],
- rejon dawnego górnictwa rud metali oraz arsenu w Radzimowicach k. Wojcieszowa w Górach Kaczawskich [Karczewska i in. 2005, 2007].



Rycina 1. Lokalizacja regionów, w których prowadzono badania.

Po badaniach przesiewowych w w/w rejonach zostało wyznaczonych 8 obiektów badawczych O_1-O_8 (Tabela 1), reprezentujących różne formy użytkowania terenu - użytki rolne i tereny leśne, a także użytki ekologiczne i nieużytki, w tym hałdy pogórnice, zawierające materiał o dużych stężeniach As. Wyniki badań uzyskane z poszczególnych obiektów zostały przedstawione w publikacjach A1-A5 (Tabela 1).

Tabela 1. Obiekty badawcze

Rejon badań	Obiekt badań	Numeracja obiektów badań w poszczególnych publikacjach					Opis obszaru badawczego
		A1	A2	A3	A4	A5	
Złoty Stok	O_1	1	1	5		1	Hałda Storczykowa o powierzchni 2,4 ha zbudowana z odpadów górniczych, objęta ochroną jako użytek ekologiczny. Swoją nazwę zawdzięcza występującej tam dużej populacji <i>Orchis mascula</i> L.
	O_2	2	2	1,3	1		Łąki kośne (ok. 6,0 ha) w dolinie rzeki Trującej, w przeszłości okresowo zalewanej osadami poflotacyjnymi
	O_3	3	3	2	2		Przedpole zbiornika szlamów, stanowiące nagromadzenie czystych osadów poflotacyjnych, na którym występuje sucha łąka o powierzchni 1,6 ha
	O_4	4				2	Jar w obszarze zalesionym, z licznymi hałdami odpadów kopalnianych i hałdami żużła pochodzącymi z historycznej działalności górniczej i hutniczej
Radzimowice	O_5	5				3	Hałdy skał płonych rozmieszczone w sąsiedztwie szybu Arnold będącego częścią kopalni Wilhelm, która działała do 1925 r. Przedmiotem eksploatacji były żyły polimetaliczne pochodzenia hydrotermalnego wzbogacone w Fe, Cu, Pb i As
	O_6	6					Łęg olszowo-jesionowy poniżej szybu Arnold
	O_7	7		4			Łąki kośne w sąsiedztwie szybów Arnold i Luiza (należących do kopalni Wilhelm). Gleby zawierają domieszki skały płonej a dodatkowo zanieczyszczone są przez emisje pochodzące z lokalnej huty, działającej do 1925 r
Czarnów	O_8	8	4			4	Hałdy pokopalniane zbudowane z odpadów górniczych kopalni Evelinensgluck, która działała do 1925 r., oraz ich bliskie otoczenie, częściowo zalesione, częściowo wykorzystane jako łąki i pastwiska

4.4.1. Metodyka badań

Badania przedstawione w poszczególnych publikacjach, wchodzących w skład niniejszego cyklu, obejmowały prace terenowe i doświadczenia inkubacyjne oraz wegetacyjne realizowane w oparciu o materiał glebowy reprezentatywny dla różnych obiektów i różnych zawartości arsenu.

• Prace terenowe

Z każdego obszaru, w reprezentatywnych 6–8 punktach, pobrano próbki gleb oraz roślin. Materiał roślinny, obejmujący zarówno części nadziemne roślin jak i korzenie (lub kłącza), pobierano do analiz wraz z około 2 kg bryłą wierzchniej warstwy gleby (0–20 cm). Materiał zebrany z każdego punktu był reprezentowany przez trzy podpróbki, więc wszystkie analizy przeprowadzono w trzech powtórzeniach. Części nadziemne roślin zostały oddzielone na miejscu, natomiast bryła glebowa wraz z częściami podziemnymi roślin zostały

przetransportowane do laboratorium, gdzie korzenie starannie odseparowano od materiału glebowego. Glebę i materiał roślinny po wysuszeniu przygotowano do analiz. Oznaczono m.in. całkowite zawartości i formy rozpuszczalne As w glebie, a także zawartość As w materiale roślinnym. Na tej podstawie obliczono współczynniki charakteryzujące fitoakumulację As. W oparciu o wstępne wyniki wytypowano także po jednym punkcie reprezentatywnym dla każdego z ośmiu obiektów i pobrano z nich duże, około 200 kg, próby glebowe, które po przygotowaniu posłużyły przeprowadzeniu doświadczeń wazonowych.

- **Doświadczenia wazonowe - inkubacyjne i wegetacyjne**

Zgromadzony materiał glebowy, po oznaczeniu podstawowych właściwości, zawartości arsenu oraz jego podatności na ekstrakcję chemiczną różnymi odczynnikami (tzw. formy potencjalnie i aktualnie rozpuszczalne), poddano doświadczeniom inkubacyjnym. W doświadczeniach tych analizowano roztwory glebowe pozyskiwane po różnym czasie inkubacji. Gleby inkubowano w mini-wazonach o pojemności 1 kg, w których zamontowano próbniki MacroRhizon. Doświadczenia prowadzono w 3 powtórzeniach, w wariantach gleb bez dodatków oraz z zastosowaniem nawożenia mineralnego (NPK+Mg) i organicznego (obornik), a także z dodatkiem materii organicznej w formie ściółki leśnej (świerkowej i bukowej). Gleby utrzymywano w warunkach wilgotności odpowiadającej około 70% PPW. Roztwory glebowe pobierano po upływie 2, 7, 14, 28, 90 oraz 270 dni od zastosowania dodatków. Bezpośrednio po pobraniu w roztworach oznaczono stężenie As i niektórych metali oraz odczyn, a następnie poddano je analizom ekotoksykologicznym.

Równoległe do doświadczeń inkubacyjnych prowadzone były serie doświadczeń wegetacyjnych z wybranymi gatunkami traw. Doświadczenia te służyły ocenie fitotoksyczności i fitoprzyswajalności As. Schemat doświadczeń wegetacyjnych był tożsamy ze schematem zastosowanym w doświadczeniach inkubacyjnych. Fitotoksyczność oceniano w odniesieniu do parametrów wzrostu roślin w glebach kontrolnych, którymi były gleby niezanieczyszczone, o podobnych właściwościach. Analizowano wielkość biomasy roślin a także zawartość As w ich częściach nadziemnych i korzeniach. Na podstawie wyników określono współczynniki fitoakumulacji As.

4.4.2. Analizy laboratoryjne

- **Analizy gleb**

Po wysuszeniu próbek i przesianiu przez sito o średnicy oczek 2 mm, oznaczono podstawowe właściwości gleb oraz zbliżoną do całkowitej zawartość arsenu i udział jego form potencjalnie i aktualnie rozpuszczalnych. Analizy wykonano następującymi metodami:

- skład granulometryczny - metodą areometryczno-sitową,
- odczyn pH w H₂O i 1 M KCl - potencjometrycznie
- całkowitą zawartość węgla i zawartość węgla – z wykorzystaniem analizatora TOC (CS-MAT 5500, Strohlein);
- całkowitą zawartość N - metodą Kjeldahla;
- przyswajalne formy P, K, Mg – metodami Egnerra-Riehma i Schachtschabela;

- zbliżone do całkowitych zawartości As oraz innych pierwiastków (metali oraz P), zwane dalej w niniejszym opracowaniu zawartościami całkowitymi, oznaczono metodą ICP-AES (iCAP 7400, Thermo Scientific) po mikrofalowym (CEM-MARS Xpres) roztworzeniu próbek w wodzie królewskiej, czyli mieszaninie stężonych kwasów HNO₃ oraz HCl (w stosunku 3:1);
- formy potencjalnie rozpuszczalne As w glebach ekstrahowano roztworem 0,43 M HNO₃;
- formy aktualnie rozpuszczalne As i P w glebach ekstrahowano roztworem 1M NH₄NO₃;

Walidację metod służących oznaczeniu zawartości As w glebach wykonano stosując materiały referencyjne: CNS 392 i CRM 027

• **Dodatki zastosowane w doświadczeniach mini-wazonowych**

- Wykorzystano dwa rodzaje ściółki leśnej: z 60-letniego lasu bukowego (BL) i 50-letniego lasu świerkowego (SL), które wymieszano z glebami w ilości 20 g/kg. W ściółkach oznaczono pH w wodzie (1:2,5, m:v), zawartości węgla organicznego Corg. i rozpuszczalnego węgla organicznego DOC, a także stężenia As i innych pierwiastków, analogicznie jak w glebach;
- Granulowany obornik bydlęcy (Ob) zastosowano w dawce 10 g/kg. Badanie właściwości obornika przeprowadzono tymi samymi metodami, jak dla ściółek.
- Nawożenie mineralne (F) zastosowano w postaci rozpuszczalnych soli, w dawce 250 mg/kg NPK, w tym 50 mg/kg P

• **Analizy roztworów glebowych**

Analizy chemiczne roztworów glebowych obejmowały następujące oznaczenia:

- odczynu pH (potencjometrycznie);
- stężenie As i pierwiastków toksycznych: Cd, Cu, Mn, Pb i Zn (metodą ICP-AES, na aparacie iCAP 7400, Thermo Scientific).
- Roztwory glebowe poddano następującym testom ekotoksykologicznym:
- Phytotox – test toksyczności chronicznej – inhibicji kiełkowania i wczesnego wzrostu roślin z wykorzystaniem *Sinapis alba* L;
- Microtox – test toksyczności ostrej oparty na inhibicji luminescencji bakterii *Allivibrio fischeri*;
- MARA (Microbial Assay for Risk Assessment) - wielogatunkowy test bakteryjny toksyczności ostrej do oceny ryzyka środowiskowego.

• **Analizy materiału roślinnego**

Materiał roślinny pozyskany z doświadczeń wazonowych po wysuszeniu zważono w celu określenia fitotoksyczności.

W materiale roślinnym przywiezionym z terenu, jak i z doświadczenia wazonowego, po wysuszeniu oznaczono zawartości całkowite As, po mikrofalowej mineralizacji (CEM-MARS Xpres) w stężonym kwasie azotowym, poprzedzonej utlenianiem 30% perhydrolem.

Walidację metod służących oznaczeniu zawartości As w materiale roślinnym wykonano stosując materiały referencyjne: BCR-414 i DC-7349

- **Interpretacja wyników**

- Analiza statystyczna:

Wyniki badań terenowych, obejmujące zarówno właściwości gleb, jak i zebranego w terenie materiału roślinnego, poddano opisowej analizie statystycznej i przedstawiono podając - dla poszczególnych obiektów oraz różnych gatunków roślin – zakresy uzyskanych danych (wartości minimalne i maksymalne), a także wartości mediany oraz 25 i 75 percentyla, które przedstawiono na wykresach typu ramka-wąsy. W obliczeniach tych nie uwzględniono wartości odstających, choć zamieszczono je na wykresach.

Zależności między parametrami przedstawiającymi właściwości gleb i zawartością As w materiale roślinnym oraz innymi parametrami charakteryzującymi pobranie As przez rośliny badano w oparciu o obliczone współczynniki korelacji Pearsona. Analizę tę poprzedzono sprawdzeniem normalności rozkładów (wykorzystując w tym celu test Shapiro-Wilka) i w licznych przypadkach zastosowano zabiegi przybliżające rozkłady do normalnych, polegające m.in. na logarytmicznej transformacji danych. Badania korelacji pojedynczych uzupełniono analizą czynnikową PCA (analizą składowych głównych), która pozwala na poznanie i ilustrację powiązań między wieloma zmiennymi.

Interpretację statystyczną doświadczeń inkubacyjnych i mini-wazonowych oparto na analizie różnic między średnimi uzyskanymi dla różnych gleb, różnych wariantów doświadczeń oraz różnych czasów inkubacji. Do oceny istotności różnic (przy $P < 0.05$) zastosowano test Fishera. Zależności między parametrami przedstawiającymi właściwości gleb i roztworów glebowych a parametrami charakteryzującymi wzrost roślin i pobranie przez nie arsenu, a także wynikami testów ekotoksykologicznych, analizowano w oparciu o wartości współczynników korelacji pojedynczej i w drodze analizy czynnikowej, podobnie jak w przypadku interpretacji statystycznej wyników uzyskanych w terenowej części pracy.

Wszystkie analizy statystyczne wykonywano za pomocą programu Statistica 12 i 13 (Dell Inc.), a do sporządzania wykresów w niektórych przypadkach posłużono się narzędziami dostępnymi w programie Excel 2010 (Microsoft).

- Obliczenia współczynników charakteryzujących fitoprzyswajalność As

TF – współczynnik translokacji, wyrażony stosunkiem stężenia As w biomacie części nadziemnej rośliny do stężenia metalu w części podziemnej rośliny (korzeniach), mg/kg.

$$TF = \frac{\text{As w cz. nadziemnych roślin}}{\text{As w korzeniach roślin}}$$

BAF - współczynnik bioakumulacji, wyrażony stosunkiem całkowitego stężenia As w biomacie części nadziemnej/podziemnej rośliny do całkowitego stężenia metalu w glebie.

$$BAF (\text{cz. nadziemne lub korzenie}) = \frac{\text{As w materiale roślinnym (cz. nadziemne lub korzenie)}}{\text{całkowite stężenie As w glebie}}$$

BCF – współczynnik biokoncentracji, wyrażony stosunkiem stężenia As w biomacie części nadziemnej/podziemnej rośliny do stężenia metalu w roztworze glebowym lub do stężenia w glebie form As potencjalnie lub aktualnie rozpuszczalnych (podatnych na ekstrakcję)

$$BCF (\text{cz. nadziemne lub korzenie}) = \frac{\text{As w materiale roślinnym (cz. nadziemne lub korzenie)}}{\text{As rozpuszczalny (ekstrahowalny) w glebie}}$$

4.5. Najważniejsze wyniki badań

A1. Akumulacja arsenu przez rośliny rosnące w miejscach silnie zanieczyszczonych na terenach historycznego górnictwa w Sudetach.

Dradrach A., Karczewska A., Szopka K., Lewińska K. (2020): Accumulation of Arsenic by Plants Growing in the Sites Strongly Contaminated by Historical Mining in the Sudetes Region of Poland. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17(9), 3342.

Analiza poszczególnych gleb z obiektów badawczych wykazała, że zawierają one bardzo zróżnicowane stężenia As, sięgające w niektórych przypadkach wielu tysięcy mg/kg. Najwyższą zawartość As odnotowano w glebie aluwialnej obiektu O_6, nad strumieniem odwadniającym kopalnię w Radzimowicach (Tabela 2).

Tabela 2. Arsen w glebach poszczególnych obiektów badawczych*

Rejon badań	Obiekt badań w pracy A1	pH	As, mg/kg		
			Całkowity	Ekstrahowany 0,43M HNO ₃ -	Ekstrahowany 1M NH ₄ NO ₃
Złoty Stok	O_1	3,14–5,81	751–48,900	42–10,500	0,08–4,88
	O_2	3,53–6,66	102–6070	74–3650	0,30–6,04
	O_3	7,22–7,60	7950– 22700	4710–9860	6,65–12,7
	O_4	3,43–4,89	1950–16700	830–5090	1,45–1,52
Radzimowice	O_5	2,90–7,26	1550–14300	690–3320	0,20–1,56
	O_6	2,91–4,55	2480–193000	650–18,900	0,04–27,5
	O_7	3,60–4,39	73–603	5–78	0,02–0,67
Czarnów	O_8	2,88–7,43	72–98500	4–6570	0,05–38,7

* dane są wartościami średnimi z trzech powtórzeń

W badanych glebach zawartości potencjalnie rozpuszczalnego As były wysokie i zazwyczaj przekraczały 10%, a niekiedy nawet kilkadziesiąt procent, oznaczonej zawartości całkowitej As. Natomiast zawartości arsenu aktualnie rozpuszczalnego, ekstrahowanego 1M NH₄NO₃, należy uznać za zdecydowanie niskie. W większości próbek były one poniżej 10 mg/kg, a często nawet poniżej 1 mg/kg. Jest to zgodne z danymi z literatury i dowodzi ogólnie słabej rozpuszczalności As w glebie, choć zaobserwowano także wartości wyższe, sięgające 38,7 mg/kg (O_8). Ten fakt potwierdził zasadność przeprowadzenia badań nad czynnikami decydującymi o rozpuszczalności i fito- oraz ekotoksyczności arsenu na obszarach szczególnie wzbogaconych w ten pierwiastek.

W prezentowanej publikacji A1 zbadano akumulację As przez rośliny rosnące w różnych rejonach badawczych, związanych z historycznym wydobyciem As: na hałdach kopalnianych, hałdach żużla, przedpolu osadników poflotacyjnych oraz na innych obszarach zanieczyszczonych, gdzie stężenia tego pierwiastka pozostawały w szerokim zakresie 72–193000 mg/kg. Badaniom poddano 13 gatunków roślin. Potencjalnie i aktualnie rozpuszczalne formy As oznaczono w oparciu o ekstrakcje roztworami 0,43 M HNO₃ i 1M NH₄NO₃. Zbadano zależność stężeń As w korzeniach i pędach nadziemnych roślin od zawartości form rozpuszczalnych As w glebie. Stężenia As w materiale roślinnym mieściły się w zakresie 2,3–9400 mg/kg (w korzeniach) i 0,5–509 mg/kg (w częściach nadziemnych) i znacznie różniły się między gatunkami. Stężenia As w pędach nadziemnych większości, bo ponad 66%, próbek roślin przekraczały 4 mg/kg, co stanowi górną bezpieczną granicę dla pasz wg dyrektywy 2002/32/UE. Bardzo wysokie stężenia As w pędach roślinnych były typowe dla gleb najsilniej wzbogaconych w ten pierwiastek, ale występowały również w miejscach o całkowitej zawartości As w glebach nieco niższej, poniżej 1000 mg/kg. Analizując wartości współczynników BCF dla roślin zebranych w terenie, stwierdzono, że zarówno współczynniki BCF dla pędów, jak i BCF dla korzeni wykazywały duże zróżnicowanie. Ich wartości zmniejszały się wraz ze wzrostem stężeń potencjalnie lub aktualnie rozpuszczalnego As w glebie (tab. 4, A1).

Stwierdzono, że stopień akumulacji As przez rośliny dobrze koresponduje z jego całkowitą zawartością w glebie, chociaż stężenia tego pierwiastka w roślinach nie można przewidzieć na podstawie samych tylko właściwości gleb. Gatunki takie jak *Equisetum* spp. i *Calamagrostis epigejos* L. wykazały szczególnie silną akumulację As w pędach, co odzwierciedlają wysokie wartości wskaźnika TF. Najwyższe wartości TF, niekiedy znacznie przekraczające 1, obserwowano dla tych gatunków w pojedynczych przypadkach, w warunkach kwaśnego odczynu gleby. Bardzo wysokie stężenia As w pędach stwierdzono również w niektórych próbkach *Agrostis capillaris* L., pomimo opisywanej w literaturze zdolności tego gatunku do uruchamiania mechanizmów tolerancji, które mogą znacząco ograniczać translokację pierwiastka toksycznego z korzeni do pędu. Efekty fitoakumulacji As przez *Agrostis capillaris* L., a także inny gatunek uważany za tolerancyjny, tj. *Holcus lanatus* L., w warunkach terenowych i w doświadczeniu wazonowym, poddano bardziej szczegółowej analizie w pracy A3.

A2. Akumulacja arsenu przez kostrzewę czerwoną (*Festuca rubra* L.) rosnącą na glebach pogórnicznych - badania terenowe i szklarniowe.

Dradrach A., Karczewska A., Szopka K. (2020): Arsenic accumulation by red fescue (*Festuca rubra*) growing in mine affected soils - Findings from the field and greenhouse studies. *Chemosphere*, 248, 126045.

Jednym z powszechnie akceptowanych sposobów zagospodarowania terenów zanieczyszczonych pierwiastkami śladowymi jest zastosowanie tzw. metody fitostabilizacji, polegającej na unieruchomieniu tych pierwiastków w glebie poprzez aplikację odpowiednich dodatków oraz wprowadzenie roślin o szczególnie niskim współczynniku TF, co gwarantuje ograniczenie włączania tych pierwiastków w łańcuchy troficzne.

Badania prezentowane w niniejszej pracy (A2) miały na celu określenie przydatności kostrzewy czerwonej (*Festuca rubra* L.) do fitoremediacji, a szczególnie fotostabilizacji gleb zanieczyszczonych. Ocenę przydatności tego gatunku do fitostabilizacji oparto na badaniach materiału glebowego i roślinnego zebranego w terenie oraz na eksperymencie szklarniowym.

Materiał badawczy zebrany w terenie, przedstawiony w pracy A1, uzupełniono o dodatkowe próbki gleb i roślin pobrane z kolejnych obiektów silnie wzbogaconych w As. Ogólnie materiał analizowany w niniejszej pracy pochodził z następujących obiektów badawczych: dwóch hałd kopalnianych: w Żłotym Stoku (O_1) i Czarnowie (O_8) oraz z obszarów wcześniej zalewanych wodami zmieszanyymi z osadami poflotacyjnymi (O_2) i z przedpoła osadników poflotacyjnych (O_3). Całkowita zawartość As w badanych glebach była w zakresie 72-48900 mg/kg, podczas gdy pędy i korzenie kostrzewy czerwonej zawierały odpowiednio 1,5-65,5 i 2,3-824 mg/kg As. W przeprowadzonych badaniach nie stwierdzono istotnych statystycznie korelacji między zawartością As w pędach nadziemnych kostrzewy a całkowitą zawartością As w glebach, co potwierdza bardzo niska wartość współczynnika determinacji $R^2 = 0.002$. Jednak fakt ten nie powinien budzić wątpliwości, biorąc pod uwagę ogólnie bardzo niską, ale zróżnicowaną, rozpuszczalność i mobilność As w glebach, co potwierdzają dane literaturowe. Przeprowadzone badania potwierdziły,

że gatunek *Festuca rubra* L. należy do ekskluderów As, na co wskazują niskie wartości współczynnika TF (< 1) i współczynnika BAF dla części nadziemnych ($< 0,03$). Jednak w znacznej liczbie przypadków stężenie As w pędach nadziemnych kostrzewy czerwonej przekraczało wartość 4 mg/kg, co stanowi górną bezpieczną granicę dla pasz .

Część badań, obejmująca eksperyment szklarniowy, oparta była na określeniu wpływu zastosowanych nawozów mineralnych, obornika oraz ściółki leśnej na pobieranie As przez kostrzewę czerwoną z gleb reprezentatywnych dla obiektów badanych w części terenowej. W doświadczeniu zastosowano odporną na stres odmianę Leo-Pol. Pędy trawy zebrano dwukrotnie: po 6 i 12 tygodniach. Stężenia As w roślinach pochodzących z eksperymentu mini-wazonowego były znacząco wyższe niż w roślinach zebranych z terenu. Szczególnie wysokie stężenia As (66,5-1580 mg/kg) oznaczono w pędach kostrzewy czerwonej zebranych w drugim pokosie. Wzrost stężenia As w pędach roślin podczas sezonu wegetacyjnego opisywali też inni badacze [Ernst, Schat 1992, Meharg, Hartley-Whitaker 2002]. Różnice między danymi terenowymi i szklarniowymi wskazują, że populacje kostrzewy czerwonej, które rosną w miejscach bogatych w As, są szczególnie tolerancyjne na znaczne stężenia tego pierwiastka w glebie, a mechanizmy tej tolerancji związane są ze zmniejszonym pobieraniem As przez korzenie roślin. Wskazano na potrzebę prowadzenia dalszych badań, w tym doświadczeń wazonowych, które powinny opierać się na materiale roślinnym wyprodukowanym z nasion pozyskanych z terenów szczególnie wzbogaconych w As.

Dodatek obornika spowodował znaczny wzrost podatności arsenu na ekstrakcję z gleby, ale nie przełożyło się to na znaczące zwiększenie pobrania As przez rośliny. Istotny statystycznie wzrost rozpuszczalności As w glebie wskutek zastosowanego nawożenia mineralnego wystąpił tylko na jednym obiekcie, ale i w tym przypadku nie stwierdzono zwiększonych stężeń As w materiale roślinnym. Efekt ten tłumaczyć można konkurencją między uruchomionymi jonami arsenowymi i obecnymi w wysokich stężeniach w roztworze jonami fosforanowymi [Bolan i in. 2011]. Wyniki przeprowadzonych doświadczeń wykazały wzrost wartości współczynnika translokacji TF przy zwiększającym się stosunku stężeń rozpuszczalnych form P do As. Taka obserwacja wskazuje na zasadność prowadzenia badań nad wpływem nawożenia na pobieranie As przez kostrzewę czerwoną *Festuca rubra* L. z gleb zanieczyszczonych.

A3. Pobieranie arsenu przez dwa tolerancyjne gatunki traw: *Holcus lanatus* i *Agrostis capillaris* rosnące na glebach zanieczyszczonych arsenem w rejonie dawnego górnictwa i przetwórstwa rud arsenu.

Dradrach A., Karczewska A., Szopka K. (2020): Arsenic uptake by two tolerant grass species: *Holcus lanatus* and *Agrostis capillaris* growing in soils contaminated by historical mining. *Plants*, 9(8), 980.

Mimo że odpady kopalniane i odpady poflotacyjne na obszarach objętych badaniami zawierają wysokie stężenia As, sięgające 1 procenta a nawet więcej, to niektóre powierzchnie obecnie porośnięte są zwartą roślinnością. Jednak niektóre z obszarów związanych z dawną eksploatacją rud arsenu całkowicie pozbawione są pokrycia roślinnego, a na innych widać

nieliczne płaty roślin. Zrównoważone gospodarowanie na tych terenach powinno uwzględniać poprawę warunków siedliskowych m.in. poprzez skuteczną fitostabilizację, która uważana jest za najlepszy sposób remediacji takich obszarów.

W prezentowanej pracy (A3) badania skupiły się na dwóch gatunkach traw *Holcus lanatus* L. i *Agrostis capillaris* L., powszechnie i w znacznej liczebności występujących na badanych terenach. Podobnie jak w przypadku badań nad *Festuca rubra* L. (A2), badano pobieranie arsenu przez te gatunki w celu oceny ryzyka związanego z jego nagromadzeniem szczególnie w pędach nadziemnych tych traw, oraz aby porównać te ilości do bezpiecznej granicy zawartości As w paszach. Ponadto badania miały na celu ocenę wpływu zastosowanego nawożenia na pobieraniu arsenu przez *Holcus lanatus* L. i *Agrostis capillaris* L.

Badania obejmowały część terenową i eksperyment szklarniowy. W badaniach terenowych pobrano próbki gleby i roślin z kilkudziesięciu punktów o silnie zróżnicowanej całkowitej zawartości arsenu w glebie, mieszczącej się w przedziale 72–98400 mg/kg. W warunkach terenowych oba gatunki traw były w stanie rosnąć na glebach bardzo silnie wzbogaconych w arsen na hałdach górniczych i w ich bezpośrednim sąsiedztwie. Stwierdzono, że pobieranie arsenu przez trawy jest silnie zróżnicowane, jednak zasadniczo zarówno *Holcus lanatus* L. jak i *Agrostis capillaris* L. wykazywały strategię pobierania As typową dla ekskluderów, przy TF poniżej 1. W próbkach z terenu u obu gatunków traw wartości TF wykazywały tendencję do zmniejszania się wraz ze wzrostem stężenia As w korzeniach roślin, szczególnie w zakresie bardzo wysokich stężeń w korzeniach, powyżej 1000 mg/kg. Tendencję tę można tłumaczyć efektem szczególnej tolerancji w warunkach skrajnie wysokich stężeń As w glebach, co potwierdzają badania Moreno-Jiménez i in. [2012], Raab i in. [2007], Quaghebeur i in. [2003]. Pomimo to stężenia As w pędach ponad 50% próbek rosnących w terenie przekraczały 4 mg/kg, co jest maksymalną dopuszczalną wartością w paszach dla zwierząt. Natomiast przy podobnie wysokich stężeniach As w korzeniach traw badanych w eksperymencie wazonowym zaobserwowano wyraźnie wyższe wartości TF, co może świadczyć o braku takich barier w komercyjnych, nietolerancyjnych lub słabo tolerancyjnych, genotypach traw.

W eksperymencie szklarniowym przetestowane zostały komercyjne odmiany obu gatunków, które uprawiane były na 5 glebach o zawartościach As 394–19600 mg/kg, w wariantach na glebach nawożonych i nienawożonych. W glebie o najwyższej zawartości As (1,96%) nasiona obu gatunków wykielkowały, ale siewki traw wkrótce obumarły. W przypadku pozostałych gleb, zawierających do 8000 mg/kg (to jest do 0,80%) As, obserwowano zróżnicowany wzrost roślin. Wprowadzenie do gleby nawozu mineralnego i organicznego spowodowało wzrost podatności As na ekstrakcję, ale jednocześnie stwierdzono znaczącą poprawę wzrostu roślin, co w pracy przedstawiono w postaci parametru Itox (indeks toksyczności), opartego na porównaniu przyrostu biomasy na glebie badanej i kontrolnej, niezanieczyszczonej, z zastosowaniem takiego samego nawożenia. W większości przypadków zastosowanie nawożenia przyczyniło się do znacznego zmniejszenia stężeń As w nadziemnych częściach traw z wyjątkiem mietlicy *Agrostis capillaris* L., uprawianej na glebie pochodzącej z obiektu O_7 w wariacie z nawożeniem obornikiem. Częściowo mógł być to efekt rozcieńczenia, ale niewątpliwie zadziałał też mechanizm konkurencyjności P i As. Przeprowadzone badania wskazują, że ten wątek badawczy powinien być kontynuowany

z uwzględnieniem identyfikacji tolerancyjnych genotypów występujących w ekstremalnie wzbogaconych miejscach oraz analizy czynników, które skutecznie zmniejszą fitoakumulację As.

A4. Ekotoksyczność roztworów glebowych pochodzących z gleb łąkowych okresowo zalewanych osadami poflotacyjnymi bogatymi w arsen.

Dradrach A., Szopka K., Karczewska A. (2020): Ecotoxicity of pore water in meadow soils affected by historical spills of arsenic-rich tailings. *Minerals*, 10, 751.

Historyczny kompleks wydobywczo-przetwórczy rud w Złotym Stoku przez ponad dwa wieki, aż do 1962 r. był jednym z największych producentów arsenu w Europie. Koncentraty wytworzone w procesie flotacji zawierały ok. 40% As, podczas gdy stężenie As w deponowanych odpadach poflotacyjnych początkowo mieściło się w zakresie 1,5–2,5%, a później, po kolejnym udoskonaleniu technologii, w przedziale: 0,8–1,5%. Po nawalnych opadach deszczu, stosunkowo częstych na tym obszarze, szlamy poflotacyjne przelewały się przez koronę zbiorników i spływały w dolinę potoku Trującej, powodując znaczne wzbogacenie gleb w arsen w odległości sięgającej co najmniej 2 km w dół strumienia. Dolina została częściowo zalesiona a jej duże obszary stanowią obecnie tereny zadarnione. Powierzchnie wytworzone z czystych osadów poflotacyjnych, na przedpolu dawnych osadników, są jedynie częściowo pokryte roślinnością.

Badania przedstawione w niniejszej pracy (A4) przeprowadzono na dwóch rodzajach materiału glebowego, o zawartości As 5020 i 8000 mg/kg, reprezentującego łąkę kośną w przeszłości zalewaną przez wycieki szlamów poflotacyjnych (O_2) oraz suchą łąkę na przedpolu osadnika, ukształtowanym z czystych odpadów poflotacyjnych (O_3). W eksperymencie inkubacyjnym badano wpływ dodatku do gleb obornika oraz nawożenia mineralnego na ekotoksyczność roztworów glebowych. Roztwory glebowe pozyskiwano po 2, 7, 21, 90 i 270 dniach i analizowano pod kątem stężeń As i ekotoksyczności, ocenianej w trzech testach biologicznych: Microtox, MARA i Phytotox z *Sinapis alba* jako rośliną testową. Roztwory glebowe pochodzące z gleby O_3, wytworzonej na przedpolu osadnika, zawierały wysokie stężenia As, nie spadające poniżej 4,5 mg/dm³. Nawożenie tej gleby, zwłaszcza obornikiem, a także nawożenie mineralne, spowodowało dodatkowy wzrost poziomu As w roztworze glebowym. Natomiast w glebie reprezentatywnej dla łąki kośnej O_2, uprzednio zalewanej odpadami poflotacyjnymi, stężenia As w roztworze glebowym były jeszcze wyższe i osiągnęły maksymalną wartość 81,8 mg/dm³. Toksyczność roztworów glebowych dla bakterii oraz siewek roślin, szczególnie w glebach z dodatkiem obornika, wzrastała do poziomu 100%. Bardzo wysoka fitotoksyczność, powyżej 80%, oceniana za pomocą testu Phytotox, występowała, gdy stężenie As roztworach glebowych przekraczało 20 mg/dm³. Stwierdzono także, że ten poziom As w roztworze glebowym może również silnie hamować aktywność różnych szczepów bakterii, w tym *Allivibrio fischeri* stanowiącego podstawę testu Microtox oraz 10 innych, wykorzystywanych w teście MARA. Wobec niskich stężeń innych potencjalnie toksycznych składników w roztworach glebowych, stwierdzono, że wyniki wszystkich testów biologicznych, a szczególnie Phytotox i MARA, bardzo dobrze

korelują ze stężeniami As w roztworze. Pomimo efektu „starzenia się” obserwowanego po długotrwałej inkubacji nawożonych gleb w warunkach umiarkowanej wilgotności (70% PPW), stężenia As w roztworach glebowych pozyskiwanych z obu badanych gleb pozostawały bardzo wysokie, na poziomie kilku mg/dm^3 , powodując potencjalne ryzyko dla środowiska.

A5. Ekotoksyczność roztworów glebowych pochodzących z gleb występujących na dawnych hałdach górnictwa arsenu: Wpływ ściółki leśnej.

Dradrach A., Szopka K., Karczewska A. (2019): Ecotoxicity of pore water in soils developed on historical arsenic mine dumps: The effects of forest litter. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Volume 181, 202–213.

Opisywany w literaturze i udokumentowany we wcześniejszych badaniach wpływ materii organicznej na rozpuszczalność As w glebach, wskazuje, że rozkładające się ściółki leśne mogą wpływać na mobilizację As i innych toksycznych pierwiastków, zmieniając ich specjację w roztworach glebowych i wpływając na toksyczność wobec fauny i flory. Wyniki badań przedstawione w publikacji (A5) dotyczą chemizmu i ekotoksyczności roztworów glebowych uzyskanych z czterech gleb, pochodzenia hałdowego, z miejsc dawnego wydobycia i przetwórstwa As (O_1, O_4, O_5, O_8), w obecności i przy braku dodatku ściółki leśnej z drzewostanu bukowego i świerkowego. Badane gleby zawierały 1540–19600 mg/kg As. Roztwory glebowe pobierano po 2, 7, 21 i 90 dni inkubacji przy użyciu próbników podciśnieniowych MacroRhizon. Analizy chemiczne obejmowały oznaczenia pH oraz stężeń pierwiastków o wysokim współczynniku wzbogacenia $I_{\text{geo}} > 3$: As, Cu i Pb, a także metali uważanych za najbardziej mobilne: Cd, Zn i Mn. Ekotoksyczność roztworów glebowych badano za pomocą trzech testów biologicznych: Microtox, MARA i Phytotox z *Sinapis alba* jako rośliną testową.

Stężenia As w badanych roztworach glebowych były w zakresie: 0,02–34,4 mg/dm^3 , a uwalnianie As, w przeciwieństwie do pierwiastków metalicznych, było szczególnie intensywne z gleb o obojętnym i zasadowym pH. W roztworach z kwaśnej gleby nr 3 (pH 4,01), reprezentatywnej dla hałdy przy szybie Arnold, stężenia As były niskie i nie przekraczały 0,1 mg/dm^3 , natomiast stwierdzono stosunkowo wysokie stężenia Mn i Zn, wynoszące średnio podczas inkubacji: 38–63 mg/dm^3 oraz 5,7–8,8 mg/dm^3 . W przypadku tej gleby za toksyczność roztworów glebowych odpowiadały wysokie stężenia Mn i Zn, a nie As, co potwierdza test Microtox (rys. 3a; praca A5). Najwyższe stężenia As występowały w roztworach glebowych z gleb reprezentujących Hałdę Storczykową (O_1) i hałdy żużla w Żłotym Jarze (O_4).

Uzyskane wyniki testu Phytotox były wysoce skorelowane ze stężeniami As w roztworach glebowych, co wskazuje, że to właśnie stężenie As spowodowało największy fitotoksyczny wpływ na siewki *Sinapis alba*. Wskaźnik toksyczności uzyskany w tym teście mieścił się w zakresie: od -15% (stymulacja wczesnego wzrostu roślin) do 85%. Znaczący wzrost fitotoksyczności zauważono w wariantach z dodatkiem do gleby ściółki leśnej (BL i SL), co szło w parze ze wzrostem stężeń As w roztworach glebowych pod wpływem dodatku ściółek.

Rezultaty testu biologicznego Microtox wykazywały również bardzo silną zależność od stężeń As w roztworach, choć w przypadku gleby kwaśnej, przy bardzo niskich stężeniach As w roztworach, ich toksyczność warunkowały inne czynniki, w tym niewątpliwie – rozpuszczalne formy pierwiastków metalicznych. Uzyskane wyniki wykazały dużą zgodność z wynikami toksyczności wzorcowych roztworów As(V), choć w warunkach bardzo wysokich stężeń As do toksyczności roztworów przyczyniły się prawdopodobnie inne czynniki. Na uwagę zasługuje fakt, że toksyczność As(III) oznaczana w teście Microtox, okazała się niższa niż toksyczność As(V). Najwyższą toksyczność roztworów glebowych wobec *Allivibrio fischer*, sięgającą 93,1% przy pomiarze po 5' i 95,7% przy pomiarze po 15', odnotowano w przypadku gleb z dodatkiem ściółki leśnej. Eksperyment potwierdził, że wprowadzenie ściółki leśnej, zarówno bukowej BL, jak i świerkowej SL, do gleb hałdowych bogatych w As, może stymulować uwalnianie się tego pierwiastku do roztworu glebowego i powodować wzrost ekotoksyczności przy stałej wilgotności gleby, odpowiadającej około 70% PPW.

Natomiast test MARA (Microbial Assay for Risk Assessment) okazał się w warunkach przeprowadzonego eksperymentu niewystarczająco czuły aby dać wyniki powtarzalne i istotnie zróżnicowane. W teście tym mierzono toksyczność roztworów glebowych dla 11 szczepów drobnoustrojów. Średni wskaźnik toksyczności okazał się bardzo niski, i mieścił się w zakresie 1–29%, z dużą różnicą między szczepami. Zaobserwowano zarówno silne zahamowanie wzrostu, jak i intensywną stymulację wzrostu pojedynczych szczepów dla różnych gleb i zastosowanych dodatków ściółki. Analiza PCA wykazała, że wzrost drobnoustrojów w teście biologicznym MARA był słabo uzależniony od stężeń As i metali w roztworach glebowych, za wyjątkiem jednego szczepu drożdży *Pichia anomala*, których inhibicja wzrostu była związana raczej ze stężeniem Cu w roztworze glebowym niż ze stężeniem As. W związku z tym zasadność stosowania testu MARA do badania ekotoksyczności roztworów glebowych w przypadku gleb tworzących się na hałdach arsenowych, należy ocenić jako ograniczoną.

4.6. Wnioski

W badanych glebach, reprezentujących różne rodzaje obiektów: hałdy górnicze, hałdy żużla, przedpole osadnika poflotacyjnego oraz dolinę rzeki Trującej, występujących na obszarach dawnego górnictwa i przetwórstwa rud, całkowite zawartości As mieściły się w szerokim zakresie 72–193000 mg/kg. Większość tych gleb charakteryzowała się względnie wysokimi wartościami pH, powyżej 4,5, przy których - w przeciwieństwie do pierwiastków metalicznych - rozpuszczalność As może być wyższa niż w zakresie odczynu lekko kwaśnego. Takie zakresy pH są nietypowe dla innych obszarów eksploatacji As opisywanych w literaturze.

Zawartości potencjalnie rozpuszczalnego As w badanych glebach były wysokie i zazwyczaj przekraczały 10%, a niekiedy nawet kilkadziesiąt procent oznaczonej zawartości całkowitej As. Zawartości arsenu aktualnie rozpuszczalnego, ekstrahowanego roztworem 1M NH_4NO_3 , należy uznać za zdecydowanie niskie. W większości próbek pozostawały one

poniżej 10 mg/kg, a często nawet poniżej 1 mg/kg, co stanowi fakt bardzo korzystny z punktu widzenia oceny ryzyka środowiskowego.

Stężenia As w materiale roślinnym pobranym w terenie z różnych obszarów o glebach silnie wzbogaconych w As, wykazywały duże zróżnicowanie między gatunkami i w obrębie gatunków. Analiza 13 gatunków roślin wykazała stężenia As w zakresie 2,3–9400 mg/kg w korzeniach roślin oraz w zakresie 0,5–509 mg/kg w częściach nadziemnych. W ponad 66% próbek roślin stężenie As w pędach nadziemnych przekraczało 4 mg/kg, co, zgodnie z przepisami UE, stanowi górną bezpieczną granicę dla pasz i jest traktowane w literaturze jako wartość graniczna w ocenie ryzyka ekologicznego. Bardzo wysokie stężenia As w nadziemnych częściach roślin były typowe dla stanowisk ekstremalnie wzbogaconych w ten pierwiastek, ale występowały również w miejscach o nieco niższej całkowitej zawartości As w glebie, poniżej 1000 mg/kg.

Badania wykazały, że mimo bardzo wysokich stężeń As w glebie jest on ogólnie słabo pobierany przez rośliny i w większości badanych gatunków akumulowany w korzeniach, a w niewielkim stopniu translokowany do części nadziemnych, co potwierdzają uzyskane wartości współczynników bioakumulacji BAF i translokacji TF.

Wartości współczynnika BCF, charakteryzujące pobranie As przez rośliny na tle aktualnej rozpuszczalności As w glebie, określone dla roślin zebranych w terenie, wykazywały bardzo duże zróżnicowanie i zawierały się w przedziałach $<0,1$ –1210 dla pędów i $<0,1$ –8290 dla korzeni. Współczynniki BCF dla pędów i korzeni były słabo skorelowane ($R = 0,273$), z tego wynika, że niektóre rośliny, które łatwo kumulują formy rozpuszczalne As w korzeniach, wykazują bardzo słabą translokację tego pierwiastka do pędów nadziemnych.

W badaniach szczególną uwagę poświęcono ocenie przydatności 3 gatunków traw: *Holcus lanatus* L., *Agrostis capillaris* L. i *Festuca rubra* L. do fitostabilizacji gleb silnie wzbogaconych w As. Wyniki uzyskane z badań terenowych i szklarniowych wskazują, że badane gatunki rosnące w terenie w miejscach bardzo bogatych w As, są szczególnie tolerancyjne na znaczne stężenia tego pierwiastka w glebie, a mechanizmy tej tolerancji oparte są na zmniejszonym pobieraniu As przez korzenie tych roślin.

Stężenia arsenu w trawach analizowanych w terenie były silnie zróżnicowane, jednak zasadniczo zarówno *Holcus lanatus* L., *Festuca rubra* L. jak i *Agrostis capillaris* L. wykazywały strategię pobierania As typową dla ekskluderów, przy TF poniżej 1 i współczynniku BAF dla części nadziemnych $< 0,03$. Wartości współczynników translokacji (TF) oraz bioakumulacji (BAF) dla części nadziemnych przy jednocześniej wysokiej wartości współczynnika bioakumulacji (BAF) dla części podziemnych pozwalają stwierdzić, że kostrzewa czerwona *Festuca rubra* agg. L., kłosówka wełnista *Holcus lanatus* L. i mietlica pospolita *Agrostis capillaris* L. z powodzeniem mogą być wykorzystywane w fitoremediacji gleb zanieczyszczonych arsenem, w opcji fitostabilizacji.

Wprowadzenie do gleb ściółki leśnej, zarówno bukowej (BL) jak i świerkowej (SL), i procesy jej transformacji w warunkach wilgotności 70% PPW, przyczyniały się do uwalniania As do roztworu glebowego. Stwierdzono, że efekt ten zależy od właściwości gleby, w tym jej pH, i może być znaczący w glebach obojętnych lub lekko zasadowych. W takich warunkach mogą utrzymywać się zwiększone stężenia As w roztworach glebowych przez dość długi czas (co najmniej 90 dni). Podobnie dodatek obornika (M) oraz nawożenia mineralnego (F) powodował silny wzrost stężenia As w roztworach glebowych, przy czym zastosowane dawki nawozów mineralnych powodowały znacznie mniejszy efekt wzrostu stężenia rozpuszczalnego As, niż wprowadzenie do gleby obornika.

Doświadczenie wazonowe pokazało, że pobieranie As z gleb przez *Holcus lanatus* L., *Agrostis capillaris* L. i *Festuca rubra* L. jest zależne od różnych czynników, w tym od zastosowanego nawożenia. Wprowadzenie do gleby nawozów mineralnych i organicznych spowodowało poprawę wzrostu roślin i zwykle obserwowano znaczne zmniejszenie stężeń As w nadziemnych częściach traw, mimo zwiększonej rozpuszczalności As w glebie, potwierdzonej analizami podatności na ekstrakcję i analizami roztworów glebowych w doświadczeniach inkubacyjnych. Wyjątek stanowił jeden przypadek mietlicy pospolitej *Agrostis capillaris* L. uprawianej na glebie pochodzącej ze stosunkowo słabo wzbogaconej łąki w Radzimowicach (O_7) w wariancie z nawożeniem obornikiem. Zmniejszenie stężeń As w pędach traw, mimo zwiększonej rozpuszczalności As w glebie, można tłumaczyć po części efektem rozcieńczenia, ale niewątpliwie także konkurencyjnością P i As.

Uzyskane wyniki wskazują, że ograniczenie wzrostu korzeni siewek gorczycy białej w teście Phytotox jest dobrym wskaźnikiem stężenia As w roztworach glebowych, a efekt 100% toksyczności występuje przy stężeniu As powyżej 20 mg/dm³.

Wyniki testu biologicznego Microtox zależały nie tylko od zakresów stężeń As w roztworach glebowych ale i od odczynu gleb. W przypadku gleb o odczynie obojętnym i zasadowym wyniki testu Microtox bardzo dobrze odzwierciedlały stężenia As w roztworach, natomiast w przypadku gleby o odczynie kwaśnym toksyczność roztworów glebowych wobec bakterii *Allivibrio fischeri* ewidentnie była powodowana przez inne czynniki, m.in. przez rozpuszczalne formy pierwiastków metalicznych. Najwyższą toksyczność w tym teście odnotowano w stosunku do *Allivibrio fischeri* w roztworach glebowych pochodzących z gleb bogatych w As z dodatkiem obornika, gdzie toksyczność wzrosła nawet do 100%.

MARA jest spośród trzech badanych testów ekotoksykologicznych testem najmniej czułym na wysokie stężenia As w roztworach glebowych. W doświadczeniu inkubacyjnym z glebami z obiektów O_2 i O_3, z doliny Trującej, gdzie po zastosowaniu do gleby obornika stężenia As w roztworach glebowych były najwyższe i dochodziły do 81,8 mg/dm³, test MARA wykazał znaczną toksyczność tych roztworów. Jednak w doświadczeniach z innymi glebami (O_1, O_4, O_5 i O_8), gdzie stężenia As w roztworach glebowych były niższe (do 36,4 mg/dm³), wyniki testu MARA nie potwierdzały jednoznacznie ich toksyczności.

Uzyskane wyniki znacząco uzupełniają wiedzę na temat występowania arsenu w glebach i roślinach, jego rozpuszczalności, fitoprzyswajalności oraz ekotoksyczności na terenach historycznego wydobycia i przetwórstwa rud. Ponadto istotnym osiągnięciem niniejszego cyklu było wskazanie na wykształcenie się w terenie ekotypów roślin, w tym traw, tolerancyjnych wobec wysokich i bardzo wysokich stężeń As w glebie. Warto tu podkreślić, że uwarunkowania geologiczne występowania sudeckich rud As są inne od większości przypadków opisywanych w literaturze światowej, gdyż w skałach towarzyszących występują węglany, co powoduje, że odpady górnicze i gleby wzbogacone w As mają często odczyn zbliżony do obojętnego, a rozpuszczalność As w tych warunkach jest znacznie wyższa niż w zakresie odczynu lekko kwaśnego. Wyniki badań wskazują, że mechanizmy tolerancji roślin na wysokie stężenia As w glebie, opierają się na ograniczonym pobieraniu tego pierwiastka przez korzenie, bądź też na jego zminimalizowanej translokacji do części nadziemnych, co jest bardzo istotne dla skutecznej fitostabilizacji gleb zanieczyszczonych. Te wyniki otwierają perspektywę dla dalszych badań nad mechanizmami tolerancji roślin oraz innych organizmów na bardzo wysokie stężenia As w glebach i roztworach glebowych na terenach dawnego górnictwa rud.

4.7. Bibliografia

- Bauer M., Blodau C. (2006) Mobilization of arsenic by dissolved organic matter from iron oxides, soils and sediments, *Sci. Total Environ.* 354, 179–190.
- Berg B. (2017) Decomposing litter, limit values, humus accumulation, locally and regionally. *Review Appl Soil Ecol* 280 doi:org/10.1016/j.apsoil.2017.06.026
- Bergqvist C. (2011). Arsenic accumulation in various plant types. Stockholm University, 29 pp.
- Bolan, N.S., Park, J.H., Robinson, B., Naidu, R., Huh, K.Y., 2011. Phytostabilization: a green approach to contaminant containment. In: *Advances in Agronomy*, 112. Academic Press, pp. 145-204.
- Cuske M, Karczewska A, Gałka B, Matyja K. (2017) Would forest litter cause a risk of increased copper solubility and toxicity in polluted soils remediated via phytostabilization? *Pol J Environ St* 26(1): 419-423.
- Ernst, W.H.O., Verkleij, J.A.C., Schat, H. (1992). Metal tolerance in plants. *Acta Bot. Neerl.* 41 (3), 229-248.
- Giza W. (2000). Flora spontaniczna szlamów arsenowych w Złotym Stoku. *Arch. Ochr. Środ.* 26: 125-136.
- Kabata-Pendias A. (2010). *Trace Elements in Soils and Plants*, Third Edition, CRC.
- Kalbitz, K., Wennrich, R., (1998) Mobilization of heavy metals and arsenic in polluted wetland soils and its dependence in dissolved organic matter. *Sci. Total Environ.* 209, 27–39.
- Karczewska A. 2002: Metale ciężkie w glebach zanieczyszczonych emisjami hut miedzi - formy i rozpuszczalność. ZN AR we Wrocławiu. CLXXXIV, 432, Wrocław.
- Karczewska A., Bogda A. i in. (2005). Ocena zagrożenia środowiska przyrodniczego w rejonie oddziaływania złoża rud polimetalicznych Żeleźniak (Wojcieszów – Góry Kaczawskie). Wyd. AR we Wrocławiu.
- Karczewska A., Bogda A., Krysiak A. (2007). Arsenic in soils in the areas of former arsenic mining & processing in Lower Silesia, SW Poland. W: *Arsenic in soil and groundwater environments*. Elsevier. 411-440.
- Karczewska A., Krysiak A. i in.. (2013a). Arsenic distribution in soils of a former As mining area and processing. *Pol. J. Environ. St.* 22, 1, 175-181.

- Karczewska A., Lewińska K., Gałka B. (2013b). Arsenic extractability and uptake by velvetgrass *Holcus lanatus* and ryegrass *Lolium perenne* in variously treated soils. *J. Hazard. Mat.* 262, 1014– 1021
- Karczewska A., Gałka B., Dradrach A., Lewińska K., Mołczan M., Cuske M., Gersztyn L., Litak K. 2017. Solubility of arsenic and its uptake by ryegrass from polluted soils amended with organic matter. *Journal of Geochemical Exploration* 182(B), 193-200. DOI : 10.1016/j.gexplo.2016.11.020
- Krysiak A., Karczewska A. (2007). Arsenic extractability in soils in the areas of former arsenic mining and smelting, SW Poland. *Sci Total Env.* 379, 2, 190-200.
- Lewińska, K., Karczewska, A., Siepak, M., Gałka, B., Stysz, M., Kaźmierowski, C. (2017) Recovery and leachability of antimony from mine- and shooting range soils. *J. Element.*, 22(1), 70–90.
- Ma R., Shen J., Wu J., Tang Z., Shen Q., Zhao F.J. (2014). Impact of agronomic practices on arsenic accumulation and speciation in rice grain. *Environmental Pollution*, 194, 217-223.
- Meharg, A.A., Hartley-Whitaker, J. (2002). Arsenic uptake and metabolism in arsenic resistant and nonresistant plant species. *New Phytol.* 154, 29e43.
- Moreno-Jiménez, E.; Esteban, E.; Peñalosa, J.M. (2012). The fate of arsenic in soil-plant systems. In: Whitacre D. Ed.; *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. Springer, New York, Volume 215, pp. 1-37.
- Norman N.C. (1998). Chemistry of arsenic, antimony and bismuth. *J Natl Cancer Inst*, 40, 453–463.
- Raab, A.; Williams, P.N.; Meharg, A.; Feldmann, J. (2007). Uptake and translocation of inorganic and methylated arsenic species by plants. *Environ. Chem.*, 4(3).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi [Dz.U. 2016 poz.1395].
- Quaghebeur, M.; Rengel, Z. (2003) The distribution of arsenate and arsenite in shoots and roots of *Holcus lanatus* is influenced by arsenic tolerance and arsenate and phosphate supply. *Plant Physiol.*, 132(3), 1600-1609.
- US EPA (1998, 2015) Risk assessment. <http://www2.epa.gov/risk>
- Wenzel W.W. (2013) Arsenic. In: Alloway BJ (ed) *Heavy Metals in Soils. Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*, 3rd edn. Springer, pp 241-282
- WHO 2010. Ten chemicals or groups of chemicals of major public health concern. WHO. Geneva 2010.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej

W trakcie pracy zawodowej od 2015 roku podjęłam współpracę z Pracownią Teledetekcji Środowiskowej i Gleboznawstwa w Instytucie Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu (Załącznik 3.B), podczas której uczestniczyłam w badaniach poświęconych mobilności antymonu i arsenu w glebach silnie zanieczyszczonych na terenie Sudetów. W latach 2017-2019 odbyłam kilkakrotne krótkoterminowe pobyty w IGFiKŚP w Poznaniu, w trakcie których uczestniczyłam w realizacji doświadczeń inkubacyjnych wazonowych oraz brałam udział w roboczych spotkaniach dotyczących interpretacji uzyskanych wyników doświadczeń. Rezultatem wspólnego zaangażowania w prace badawcze są między innymi wspólne publikacje oraz doniesienia na konferencjach krajowych jak i zagranicznych. Obecnie współpraca jest kontynuowana, w recenzji są dalsze współautorskie prace oraz omawiane są

koncepteje kolejnych wspólnych projektów badawczych dotyczących rozpuszczalności i bioprzyswajalności pierwiastków toksycznych w glebach zanieczyszczonych.

Publikacje naukowe i komunikaty na konferencjach naukowych krajowych i zagranicznych wynikające ze współpracy z UAM w Poznaniu

Publikacje

- Karczewska A., Gałka B., **Dradrach A.**, Lewińska K.* , Mołczan M., Cuske M., Gersztyn L., Litak K. 2017. Solubility of arsenic and its uptake by ryegrass from polluted soils amended with organic matter. *Journal of Geochemical Exploration* 182(B), 193-200. DOI : 10.1016/j.gexplo.2016.11.020
- Karczewska A., Lewińska K.* , Siepak M.* , Gałka B., **Dradrach A.**, Szopka K. 2018. Transformation of beech forest litter as a factor that triggers arsenic solubility in soils developed on historical mine dumps. *Journal of Soils and Sediments*, Volume 18, Issue 8, 2749–2758. DOI: 10.1007/s11368-018-2031-2
- **Dradrach A.**, Karczewska A., Szopka K., Lewińska K.* . (2020): Accumulation of Arsenic by Plants Growing in the Sites Strongly Contaminated by Historical Mining in the Sudetes Region of Poland. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17(9), 3342. doi.org/10.3390/ijerph17093342.

* Uniwersytet Adama Mickiewicza w Poznaniu

Komunikaty

- Karczewska A., Krysiak A., Lewińska K.* , Cuske M., Gałka B., Jezierski P., Szopka K., **Dradrach A.** 2015. The soils strongly contaminated with arsenic in south-western Poland - historical and present concerns. *Materiały 29. Kongresu Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego: Zasoby glebowe a zrównoważony rozwój*, Wrocław, s. 336.
- Karczewska A., Krysiak A., Lewińska K.* , Cuske M., Gałka B., Jezierski P., Szopka K., **Dradrach A.** 2015. Gleby silnie zanieczyszczone arsenem w południowo-zachodniej Polsce - problem historyczny czy aktualny? *Materiały 29. Kongresu Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego: Zasoby glebowe a zrównoważony rozwój*, Wrocław, s. 137.
- Karczewska A., Lewińska K.* , Gałka B., Siepak M.* , Cuske M., Gersztyn L., Mołczan M., Szopka K., **Dradrach A.** 2016. Rozpuszczalność arsenu w ekstremalnie wzbogaconych glebach złotego stoku w aspekcie oceny ryzyka środowiskowego. XVI Międzynarodowa Konferencja Polskiego Towarzystwa Magnezologicznego im. prof. Juliana Aleksandrowicza "Jawny i Utajony Niedobór Magnezu" oraz XIII Międzynarodowe Sympozjum z cyklu Pierwiastki Śladowe w Środowisku "Problemy Ekologiczne i Analityczne", Olsztyn, s. 1-2
- Szopka K., Lewińska K.* , Karczewska A., Siepak M.* , Gałka B., **Dradrach A.** 2017. Transformation of beech forest litter as a factor that triggers arsenic solubility in soils developed on historical mine dumps. 11th International Conference: Humic Substances in

Ecosystems (HSE11): book of abstracts and field session guide. Wrocław-Kudowa Zdrój, s. 84.

- Szopka K., **Dradrach A.**, Lewińska K.*, Gałka B., Karczewska A. 2017. Phytotoxicity of pore water in soils rich in arsenic - effects of various amendments. 9th International Workshop on "Chemical Bioavailability in the Terrestrial Environment". Warszawa, s. 68-70.
- Karczewska A., **Dradrach A.**, Lewińska K.*, Gałka B., Siepak M.*, Szopka K. 2017. Arsenic solubility and phytotoxicity in highly enriched soils of Złoty Stok. VIII International Scientific Conference "Toxic substances in the environment". Kraków: Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, s. 62-62.
- Karczewska A., Lewińska K.*, **Dradrach A.**, Siepak M.*, Gałka B. 2017. Arsen i antymon w glebach historycznych ośrodków górnictwa rud w Sudetach - rozpuszczalność i fitotoksyczność. VII Krajowa Konferencja Bioindykacyjna "Praktyczne wykorzystanie systemów bioindykacyjnych do oceny jakości i toksyczności środowiska i substancji chemicznych": Streszczenia; ISBN 978-83-7493-984-3; s. 27-28.
- Karczewska A., Lewińska K.*, **Dradrach A.**, Siepak M.*, Gałka B. 2017. Arsen i antymon w glebach historycznych ośrodków górnictwa rud w Sudetach - rozpuszczalność i fitotoksyczność. VII Krajowa Konferencja Bioindykacyjna "Praktyczne wykorzystanie systemów bioindykacyjnych do oceny jakości i toksyczności środowiska i substancji chemicznych": Streszczenia; ISBN 978-83-7493-984-3; s. 27-28.
- **Dradrach A.**, Lewińska K.*, Cuske M., Gałka B., Szopka K., Karczewska A. 2017. Phytotoxicity of soil solution in soils rich in As and Sb from various sources. International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements (ICOBTE) - ETH Zurich, Szwajcaria.
- Szopka K., Karczewska A., Lewińska K.*, Gałka B., Siepak M., **Dradrach A.** 2017. Solubility of arsenic and antimony in historical mine soils in the Sydetes, SW Poland". International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements (ICOBTE) - ETH Zurich, Szwajcaria.
- **Dradrach A.**, Szopka K., Karczewska A., Gałka B., Lewińska K.*. 2018. Rozpuszczalność i ekotoksyczność arsenu w glebach łąkowych Złotego Stoku – wpływ nawożenia organicznego. XII Międzynarodowa Konferencja Naukowo Techniczna Obieg pierwiastków w przyrodzie: Bioakumulacja-Toksyczność-Przeciwdziałanie. Warszawa.
- Karczewska A., Szopka K., **Dradrach A.**, Lewińska K.*, Bernard Gałka. 2018. Phytotoxicity of arsenic in strongly enriched soils of historical ore mining sites in the Sudetes. VI Międzynarodowa Konferencja Naukowa "Przyczyny i skutki degradacji środowiska glebowego". Rzeszów-Krasiczyn , s. 147.
- Szopka K., **Dradrach A.**, Karczewska A., Lewińska K.*, Kosyk B. 2019. Ekotoksyczność roztworów glebowych na terenach dawnego górnictwa arsenu - w świetle testów Microtox, Phytotox i MARA. IX Krajowa Konferencja Bioindykacyjna. „Praktyczne wykorzystanie systemów bioindykacyjnych do oceny jakości i toksyczności środowiska i substancji chemicznych”. Poznań, s. 79.

* Uniwersytet Adama Mickiewicza w Poznaniu

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę

6.1. Osiągnięcia dydaktyczne

W ramach działalności dydaktycznej prowadzę wykłady i ćwiczenia na studiach I i II stopnia na kierunkach Rolnictwo, Ogrodnictwo, Ochrona Środowiska, Medycyna Roślin, Bezpieczeństwo żywności i Zootechnika.

Zestawienie prowadzonych zajęć w ostatnim dziesięcioleciu (2010-2020)

Wydział Przyrodniczo-Technologiczny

Wykłady:

Kierunek: Ochrona Środowiska

- Podstawy produkcji rolniczej III
- Roślinność terenów zadarnionych
- Roślinność rekultywacyjna
- Biologiczna rekultywacja terenów trudnych i zdegradowanych
- Elementy waloryzacji krajobrazu

Kierunek: Ogrodnictwo

- Kształtowanie krajobrazu z elementami projektowania i utrzymania terenów zieleni
- Urządzanie i pielęgnacja terenów zieleni
- Roślinność terenów zadarnionych

Kierunek: Rolnictwo

- Łąkarstwo
- Roślinność terenów zadarnionych

Kierunek: Medycyna Roślin

- Bioróżnorodność terenów zadarnionych
- Diagnostyka chwastów w różnych siedliska

Ćwiczenia laboratoryjne/audytoryjne/terenowe:

Kierunek: Ochrona Środowiska

- Podstawy produkcji rolniczej III
- Roślinność terenów zadarnionych
- Roślinność rekultywacyjna
- Gleboznawstwo
- Elementy waloryzacji krajobrazu

Kierunek: Ogrodnictwo

- Kształtowanie krajobrazu z elementami projektowania i utrzymania terenów zieleni
- Urządzanie i pielęgnacja terenów zieleni
- Roślinność terenów zadarnionych

Kierunek: Rolnictwo

- Łąkarstwo

Kierunek: Medycyna Roślin

- Bioróżnorodność terenów zadarnionych

Wydział Nauk o Żywności

- Ćwiczenia laboratoryjne/audytoryjne/terenowe

Kierunek: Bezpieczeństwo żywności

- Przyrodnicze i technologiczne podstawy produkcji roślinnej

Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt

- Ćwiczenia laboratoryjne/audytoryjne/terenowe

Kierunek: Zootechnika

- Uprawa łąk i pastwisk
- Podstawy produkcji roślinnej

Opieka naukowa nad studentami

Promotorstwo i recenzje prac magisterskich

W latach 2003-2020 byłam promotorem **42 prac magisterskich** oraz recenzentem 27 prac realizowanych przez studentów Wydziału Przyrodniczo-Technologicznego (dawniej Wydziału Rolniczego) na kierunkach:

- Ochrona Środowiska specjalności „Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych” oraz „Zarządzanie ryzykiem środowiskowym”
- Rolnictwo
- Ogrodnictwo specjalności „Kształtowanie Terenów Zieleni”

Tematyka zrealizowanych pod moją opieką prac magisterskich na kierunku **Ochrona Środowiska** dotyczyła między innymi:

- Oceny wartości bonitacyjnej nawierzchni trawnikowych w aglomeracjach miejskich.
- Oceny przydatności różnych mieszanek trawnikowych do zadarnień terenów przemysłowych, około przemysłowych i miejskich.

- Analizy ryzyka środowiskowego związanego z zanieczyszczeniem gleb w otoczeniu zakładów przemysłowych.
- Oceny ryzyka środowiskowego na podstawie wyników zanieczyszczenia gleb obszarów silnie wzbogaconych w pierwiastki toksyczne.
- Pobierania metali ciężkich przez rośliny rosnące na terenach silnie wzbogaconych w te pierwiastki.
- Wpływu dodatków mineralnych i organicznych na wzrost roślin na glebach zanieczyszczonych.

Tematyka zrealizowanych pod moją opieką prac magisterskich na kierunku **Rolnictwo** dotyczyła między innymi:

- Oceny wartości gatunków i odmian traw pastewnych i gazonowych.
- Oceny produktywności runi łąkowej podsianej mieszankami różnego typu.
- Możliwości poprawy produktywności runi łąkowej.
- Oceny zawartości makroelementów w zielonkach po zastosowaniu różnych czynników pratotechnicznych.

Tematyka zrealizowanych pod moją opieką prac magisterskich na kierunku **Ogrodnictwo KTZ** dotyczyła między innymi:

- Zastosowania traw ozdobnych na terenach zieleni w miastach.
- Inwentaryzacji i projektów zieleni w ogrodach dydaktycznych.
- Inwentaryzacji i projektów zagospodarowania zieleni przy obiektach użyteczności publicznej.
- Rewitalizacji zieleni na osiedlach mieszkaniowych.
- Oceny wizualnej i funkcjonalnej mieszanek trawnikowych oraz ich przydatność w zastosowaniu w warunkach trudnych.
- Oceny i projektów renowacji terenów zadarnionych.
- Analizy wartości użytkowej nawierzchni trawnikowych i sposobów ich renowacji

Promotorstwo i recenzje prac inżynierskich

W okresie od 2010 do 2020 roku byłam promotorem **37 prac inżynierskich** i recenzentem 35 prac inżynierskich studentów Wydziału Przyrodniczo-Technologicznego, kierunkach:

- Ochrona Środowiska specjalności „Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych” oraz „Zarządzanie ryzykiem środowiskowym”
- Rolnictwo
- Ogrodnictwo specjalności „Kształtowanie Terenów Zieleni”

Tematyka zrealizowanych pod moją opieką prac magisterskich na kierunku **Ochrona Środowiska** dotyczyła między innymi:

- Koncepcji zagospodarowania terenu m.in.: przy stacjach paliw, przy zakładach przemysłowych, przy ciągach komunikacyjnych, składowisk odpadów komunalnych.

Tematyka zrealizowanych pod moją opieką prac magisterskich na kierunku **Rolnictwo** dotyczyła między innymi:

- Oceny wartości użytkowej łąk śródleśnych oraz koncepcja ich rewitalizacji.
- Problematyki związanej z koncepcjami zagospodarowania różnych typów użytków zielonych.
- Projektami renowacji użytków zielonych, zgodnie z warunkami siedliskowymi wybranych regionów.

Tematyka zrealizowanych pod moją opieką prac magisterskich na kierunku **Ogrodnictwo KTZ** dotyczyła między innymi:

- Koncepcji zagospodarowania terenów zieleni m.in.: w bezpośrednim kontakcie ciągów komunikacyjnych, pasów zieleni miejskiej oraz zabudowy biologicznej na osiedlach mieszkaniowych.
- Doborów gatunków roślin do zagospodarowania terenów o różnym charakterze użytkowania i przeznaczenia.

Opieka merytoryczna nad studentami zagranicznymi:

- Lopes Jose. Kraj pochodzenia: Hiszpania

Kierunek studiów: Rolnictwo. Liczba miesięcy sprawowanej opieki: 2

- Da Silva Marcia. Kraj pochodzenia: Portugalia

Kierunek studiów: Rolnictwo. Liczba miesięcy sprawowanej opieki: 4

Studenci w ramach programu ERASMUS w trakcie pobytu realizowali zajęcia dydaktyczne dla studentów kierunku Rolnictwo. Pod moją opieką uczestniczyli w pracach związanych z zakładaniem doświadczeń łąkarskich, zaangażowani byli w przygotowywanie oraz zakładanie doświadczeń polowych, wstępne obserwacje oraz analizę wyników.

- Leshchenko Aleksandra. Kraj pochodzenia: Ukraina

Kierunek studiów: Ogrodnictwo. Liczba miesięcy sprawowanej opieki: 1

Studentka pod moją opieką odbyła krótkoterminowy staż w ramach stypendium Tołpy. Podczas pobytu przeprowadziła doświadczenie laboratoryjne przy użyciu fitotronu, w którym sprawdzana była zdolność kiełkowania kilku odmian *Lolium perenne* L. pochodzących z polskich i ukraińskich hodowli. Wyniki Studentka wykorzystała w realizacji przewodu doktorskiego,

Inne formy opieki nad studentami:

- W latach 2010-2012 opiekun roku na studiach stacjonarnych I stopnia na kierunku Ogrodnictwo w latach
- W latach opiekun roku na studiach niestacjonarnych II stopnia na kierunku Rolnictwo w latach 2015-2017
- Od 2018 do dziś opiekun roku na studiach stacjonarnych I stopnia na kierunku Ochrona Środowiska

6.2. Osiągnięcia organizacyjne i popularyzujące naukę lub sztukę

- Udział - jako członek - w komisjach obron prac magisterskich i inżynierskich na kierunku Ogrodnictwo specjalizacji KTZ od 2009 roku do dzisiaj
- Sekretarz Wydziałowej Komisji ds. Studenckich i Kształcenia, Wydziału Przyrodniczo-Technologicznego, 2012-2019
- Udział w pracach Komisji rekrutacyjnej na kierunku Ogrodnictwo studia I i II stopnia w latach 1999-2016
- Członek Wydziałowej Rady Programowej na kierunku Ogrodnictwo w latach 2015-2016
- W latach 2008-2012, 2012-2016 oraz 2016-2019 członek Rady Wydziału Przyrodniczo-Technologicznego wybrany spośród grona pracowników nieposiadających tytułu profesora oraz stopnia dr. hab. (przedstawiciel adiunktów)
- Od 2008 do 2017 roku pełniłam funkcję osoby odpowiedzialnej za rozdział i rozliczanie godzin dydaktycznych w jednostkach:
 - ✓ 2008-2010 – w Katedrze Łąkarstwa i Kształtowania Terenów Zieleni, Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.
 - ✓ 2010-2017 – w Katedrze Kształtowania Agroekosystemów i Terenów Zieleni, Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.
- Od 2015 do dziś pełnię funkcję osoby układającej plany zajęć na studiach stacjonarnych I i II stopnia na kierunku Rolnictwo
- W latach 2012 – 2016 opiekun koła naukowego SKN „Łąkarze”
- Członek Uczelnianej Komisji Dyscyplinarnej dla Studentów w latach 2014 - 2016
- Członek Wydziałowej Rady Programowej, Wydziału Przyrodniczo-Technologicznego, w latach 2009-2014
- W latach 2013 -2014 prowadzenie Kolekcji Traw Ozdobnych w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym Swojec.
- Organizator oraz prowadzący warsztaty pt.: „Biotechnologia i medycyna roślin wyzwanie współczesnej nauki” w ramach przybliżania i działalności naukowej i dydaktycznej Wydziału Przyrodniczo-Technologicznego. 16.04.2015 rok.
- Organizator oraz prowadzący warsztaty pt.: „Trawa w Życiu Człowieka” w ramach Jarmarku Pawłowickiego, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu.

- Organizator wycieczek prezentująca Wydział Przyrodniczo - Technologiczny dla młodzieży z Zespołu Szkół Rolniczych w Głubczycach oraz Zespołu szkół Ponadgimnazjalnych w Raciborzu
- Organizator Seminarium Naukowego „Ekonomiczno-Społeczne Problemy Rozwoju Rolnictwa U Obszarów Wiejskich Terenów Górskich” 06 czerwca 2013 roku.
- Prowadzenie wykładów szkoleniowych w Centrum Kształcenia Ustawicznego w Pawłowicach pt. „Ocena stanu użytków rolnych w zależności od stosowanych technologii uprawy i warunków środowiskowych” oraz „Charakterystyka i diagnostyka najważniejszych gatunków użytków zielonych” 06-07.06.2011 rok.
- Organizacja i prowadzenia warsztatów pt. "murawa sportowa" dla Szkół Średnich w ramach Prezentacji Wydziału, 2010 rok.
- Udział w organizacji warsztatów "Sposoby zakładania i pielęgnacji nawierzchni trawiastych" w ramach Dni Przyrodnika, Pawłowice, 2011 rok.
- Udział w organizacji warsztatów "Biotechnologia i medycyna roślin wyzwanie współczesnej nauki", 2015 rok.
- Organizacja i prowadzenia warsztatów pt. "murawa piłkarska" dla Szkół Średnich w ramach Prezentacji Wydziału, 2012 rok.
- Udział w programie „Studia w pigułce” organizowanego na Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu prowadziłam zajęcia "Człowiek w Świecie Przyrody - jaki to pęd?" dla uczniów techników Leśnych, Ochrony Środowiska i Architektury krajobrazu.
- Udział w programie „Drzwi otwartych Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu” prowadziłam warsztaty pt.: „Trawa w życiu człowieka” dla młodzieży z Zespołu Szkół Rolniczych w Lututowie.

7. Inne informacje, nie wymienione w pkt. 1-6, ważne z punktu widzenia przebiegu kariery zawodowej

7.1. Opieka naukowa nad doktorantami

- Promotor pomocniczy w przewodzie doktorskim Marty Katarzyny Talar-Krasy: pt.: „Wpływ biostymulacji roślin na wartość cech użytkowych muraw trawnikowych”. Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Przyrodniczo-Technologiczny, promotor: prof. dr hab. Karol Piotr Wolski. Data uzyskania stopnia doktora: 21/11/2017

7.2. Omówienie pozostałych osiągnięć badawczo-naukowych

Poza pracami, które posłużyły do przygotowania osiągnięcia naukowego pt. „**Fitotoksyczność, ekotoksyczność oraz bioprzyswajalność arsenu w glebach silnie wzbogaconych w ten pierwiastek**”, moja aktywność badawcza skupiała się w pięciu obszarach tematycznych:

1. Metale ciężkie - ich zawartość i formy w glebach piętra subalpejskiego Karkonoszy w rejonie występowania klęski ekologicznej.
2. Gleby terenów zadarnionych na obszarach zurbanizowanych, ze szczególnym uwzględnieniem zawartości pierwiastków śladowych.
3. Ocena przydatności i wykorzystanie traw pastewnych, charakterystyka zbiorowisk łąkowych i krajobrazu rolniczego.
4. Ocena użytkowa różnych typów nawierzchni trawiastych, znaczenie obszarów zadarnionych w krajobrazie oraz kształtowaniu środowiska.
5. Pobieranie pierwiastków toksycznych przez trawy z gleb na terenach silnie zanieczyszczonych.

1. Metale ciężkie - ich zawartość i formy w glebach piętra subalpejskiego Karkonoszy w rejonie występowania „klęski” ekologicznej.

Jeden z obszarów moich badań obejmował zagadnienia dotyczące “klęski” ekologicznej, która wystąpiła w latach 80. i 90. XX w. w Karkonoszach. Rozwój cywilizacji i związane z nim negatywne zmiany środowiska zrodziły potrzebę kontrolowania stanu ekologicznego wysokogórskiej części Sudetów Zachodnich. Prowadzone badania wskazywały na niekorzystne zmiany zachodzące w ekosystemach Karkonoszy. W panujących warunkach klimatycznych, ograniczających proces wietrzenia chemicznego, powstawały gleby płytkie i średnio głębokie, o różnym składzie mineralogicznym, co nie sprzyjało utrzymywaniu się roślinności wyższej [2], a postępujący wzrost zakwaszenia gleb oraz zwiększony udziałem form glinu ruchomego i wymiennego, potęgowały kwasowość i toksycznie oddziaływały na system korzeniowy roślin, przyczyniając się do ich degradacji. Doprowadziło to do obniżenia zawartości materii organicznej w poziomach ektohumusowych, a w konsekwencji zaobserwowano przyspieszoną mineralizację i zdecydowanie zmniejszającą się miąższość poziomów organicznych oraz postępującą sukcesję muraw subalpejskich [1].

Analizując przyczyny niekorzystnych zmian, zwrócono również uwagę na zawartości i formy metali ciężkich z uwzględnieniem ich roli, wiązania, uruchamiania i przemieszczania w materiale glebowym. Całkowita zawartość tych pierwiastków w glebach uwarunkowana jest przede wszystkim ich pierwotną koncentracją w skałach macierzystych oraz stopniem zanieczyszczenia środowiska, wynikającym z antropopresji. Wyniki badań wyraźnie wskazywały na podwyższone zawartości ołowiu w poziomach próchnicy nadkładowej, jak też na znaczny udział jego form łatwo rozpuszczalnych. Dowodziło to, że ilości tego metalu kształtowane były pod wpływem emisji przemysłowych dalekiego zasięgu. W procesach

kumulacji miedzi, niklu i kadmu bardzo istotną rolę odgrywały substancje próchniczne, o czym świadczyły ilości tych metali w poziomach ektohumusu. Znacznie mniejszej kumulacji w próchnicy nadkładowej podlegał cynk, mangan i kobalt, których najwyższe koncentracje stwierdzono w poziomach skały macierzystej. W warunkach bardzo silnego zakwaszenia i surowego klimatu karkonoskiego piętra halnego, profilowe rozmieszczenie metali ciężkich uwarunkowane było przebiegiem procesu bielnicowania, modyfikowanego intensywnym przemieszczaniem się substancji organicznych w całym profilu glebowym. W poziomach mineralnych wszystkie metale ciężkie wykazywały najniższe koncentracje w poziomach Ees natomiast metale typowo litogeniczne wykazywały najwyższe koncentracje w poziomach skały macierzystej, za wyjątkiem ołowiu, który kumulował się w poziomach Bhfe. Analiza form specyacyjnych metali, badanych metodą sekwencyjnej ekstrakcji, wykazała dominację formy rezydualnej miedzi we wszystkich analizowanych poziomach mineralnych, jak też niski udział frakcji łatwo rozpuszczalnych w poziomach ektohumusu, co wskazuje na litogeniczne pochodzenie tego pierwiastka. Wśród pozostałych frakcji największy udział miały organiczno-mineralne połączenia miedzi. Wraz z głębokością w profilu glebowym zaznaczał się też zdecydowany wzrost udziału frakcji rezydualnej cynku, która w poziomach skały macierzystej osiągała 60-85% całkowitej zawartości. Znaczący udział form łatwo rozpuszczalnych Zn, świadczył o jego dużej mobilności, wskazując na możliwość wymywania tego pierwiastka poza profil glebowy [3, 4].

1. Drozd J., Licznar M., Weber J., Licznar S.E., Jamroz E., **Dradrach A.**, Mastalska-Cetera B., Zawerbny Z. *Degradacja gleb w niszczonej ekosystemach Karkonoszy i możliwości jej zapobiegania*. 1998. Wrocław: Pol. Tow. Substancji Humusowych. il. tab. Summ. bibliogr. Poz. 67; ss 125.
2. Weber J., Garcia-Gonzales T., **Dradrach A.** 1998. *Skład mineralogiczny gleb bielicowych wytworzonych z granitów karkonoskich w rejonie występowania kłęski ekologicznej*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 464, 251-259.
3. Weber J., **Dradrach A.**, Karczewska A. Kocowicz A. 2018. *The distribution of sequentially extracted Cu, Pb, and Zn fractions in Podzol profiles under dwarf pine of different stages of degradation in subalpine zone of Karkonosze Mts (central Europe)*. *Journal of Soils and Sediments*, Volume 18, Issue 6, 2387–2398. DOI:10.1007/s11368-017-1715-3
4. **Dradrach A.**, 2002. *Zawartość i formy metali ciężkich w glebach Karkonoszy rejonie występowania kłęski ekologicznej*. Cz. 1, *Pierwiastki śladowe w glebach piętra subalpejskiego Karkonoszy*, Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, LXXXIV, 445, 84, 47-64.

2. Gleby terenów zadarnionych na obszarach zurbanizowanych, ze szczególnym uwzględnieniem zawartości pierwiastków śladowych.

W badaniach, które były prowadzone na terenie miasta Wrocławia, analizie poddano gleby darniowe, reprezentowane przez profile z terenu trzech parków: Parku Południowego, Parku Szczytnickiego i Parku Zachodniego oraz wybranych trawników ulicznych i osiedlowych trzech dzielnic: Śródmieścia, Krzyków i Fabrycznej. Celem badań była charakterystyka właściwości tych gleb ze szczególnym zwróceniem uwagi na zawartości w nich pierwiastków śladowych. Próbkę gleb pobierano z dwóch głębokości: 0-5 cm oraz 5-15 cm. Analizowane gleby charakteryzowały się dużą miąższością poziomów próchnicznych i stosunkowo niewielką zawartością frakcji szkieletovej. W składzie granulometrycznym dominowała frakcja piaszczysta, przy niewielkim udziale frakcji ilowej. Odczyn kształtował się od lekko kwaśnego do obojętnego. Gleby trawników wrocławskich parków i osiedli wykazywały

wysoką i bardzo wysoką zasobność w magnez oraz potas, przy silnie zróżnicowanej zasobności w fosfor [8, 9, 12]. Natomiast zawartości analizowanych pierwiastków śladowych Cu, Zn, Pb i Cd w badanych glebach charakteryzowały się dużym zróżnicowaniem zarówno między parkami, jak również między punktami w obrębie jednego parku, podobne tendencje stwierdzono także w odniesieniu do gleb trawników przyulicznych i osiedlowych. Najwyższe średnie zawartości analizowanych pierwiastków śladowych stwierdzono w glebach trawników Parku Zachodniego, przy czym najwyższe zawartości cynku odnotowano w poziomach powierzchniowych 0-5 cm tego parku, zaś ołowiu - w poziomach głębszych 5-15 cm. Natomiast zawartości kadmu w obu warstwach wskazywały na przekroczenie wartości wg wówczas obowiązujących standardów jakości gleb dla terenów grupy B, obejmującej m.in. tereny zurbanizowane. W glebach pozostałych obszarów zawartości tego pierwiastka były znacznie niższe, a wartości mediany, charakteryzujące przeciętną zawartość Cd, były zbliżone do naturalnych stężeń Cd w glebach wytworzonych z podobnych skał macierzystych. Ogólnie najniższe zawartości analizowanych pierwiastków śladowych spośród wszystkich badanych gleb odnotowano w Parku Południowym. W glebach trawników poza parkami w poszczególnych dzielnicach nie stwierdzono przekroczenia ówczesnych standardów jakości gleb dla miedzi, cynku i kadmu, natomiast w przypadku ołowiu przekroczenie takie stwierdzono w nielicznych punktach dzielnicy Krzyki [5, 6, 10, 11]. W przypadku rtęci gleby reprezentatywne dla wrocławskich trawników miejskich, zawierały dopuszczalne jej ilości w odniesieniu do norm jakości gleby ustanowionych przez prawo. Stężenia rtęci w glebach zadarnionych zależały w znacznym stopniu od funkcji trawników, a nie od ich lokalizacji w mieście. Najwyższe stężenia rtęci odnotowano w trawnikach parkowych, a najniższe - na trawnikach przyulicznych. Wskazuje to na historyczne obciążenia rtęcią wrocławskich parków i najprawdopodobniej odzwierciedla ich wiek, co jest zgodne z badaniami Birke i Raucha odnośnie stężeń tego pierwiastka w glebach parków berlińskich, zakładanych w podobnym czasie [7].

5. **Dradrach A., Szopka K., Karczewska A., Bogacz A.** 2016. Zróżnicowanie zawartości kadmu w poziomach powierzchniowych gleb wybranych parków miejskich Wrocławia. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, CXVIII*: 19-30.
6. **Szopka K, Dradrach A., Karczewska A., Bogacz A.** 2014. Fitostabilizacyjna rola runi trawników na glebach miejskich różnie zanieczyszczonych metalami ciężkimi. *Zeszyty Naukowe Południowo-Wschodniego Oddziału Polskiego Towarzystwa Inżynierii Ekologicznej z siedzibą w Rzeszowie i Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego Oddział w Rzeszowie. nr 18*, 127-128.
7. **Dradrach A., Karczewska A.,** 2013: Mercury in soils of municipal lawns in Wrocław, Poland. *Fresenius Environmental Bulletin, Volume 22, No. 4*, 968-972.
8. **Dradrach A., Bogacz A.,** 2013. Niektóre właściwości gleb wybranych trawników ulicznych i osiedlowych Wrocławia. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, CVII*, 596, 19-32.
9. **Dradrach A., Bogacz A.,** 2012. Właściwości gleb wybranych trawników na obszarach Parków Miejskich Wrocławia. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, CII*, 588, 23-34.
10. **Dradrach A., Szopka K., Karczewska A., Bogacz A.,** 2012. Zawartość cynku, miedzi i ołowiu w poziomach powierzchniowych gleb darniowych wybranych parków miejskich Wrocławia. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, CIII*, 589, 51-58.
11. **Dradrach A., Szopka K., Karczewska A., Bogacz A.,** 2012: Zróżnicowanie zawartości miedzi w warstwie wegetacyjnej wybranych trawników miejskich Wrocławia. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, CII*, 588, 35-42.
12. **Dradrach A., Gierula A., Szymura M., Wolski K.,** 2005. The analysis of soil environment under several taxa from *Aesculus* genera. *Acta Horticulturae et Regiotecturae, Nitra, vol. 8*, 83-86.

3. Ocena przydatności i wykorzystanie traw pastewnych do siewów bezpośrednich, charakterystyka zbiorowisk łąkowych i krajobrazu rolniczego

Odrębny dział w mojej dotychczasowej działalności naukowej stanowiły badania nad wpływem metod renowacji, oceny i przydatności zastosowanych mieszanek i roślin bobowatych oraz gatunków traw pastewnych i ich odmian na plonowanie runi użytków zielonych między innymi w warunkach klimatyczno – glebowych Dolnego Śląska. Badania te wykazały, że siewy bezpośrednie wykonane w okresie wiosennym spowodowały korzystne zmiany w składzie runi łąkowej, przyczyniając się do wyższej wydajności produkcyjnej podsianych użytków. Zastosowane nawożenie mineralne NPK istotnie zwiększyło udział traw podsianych oraz roślin bobowatych, a do gatunków, które stanowiły najwyższy odsetek w runi należały *Lolium. perenne* L. i *Phleum pratense* L., dlatego gatunki te należy uważać za bardzo cenne przy renowacji łąk. Badania te potwierdziły także, że nawożenie mineralne wpływa także na plonowanie użytków zielonych oraz na zmiany w składzie chemicznym paszy, zwiększając udział białka ogólnego w suchej masie [13, 14, 15, 16].

Kolejne prace związane były ze zbiorowiskami łąkowymi i krajobrazem rolniczym. Dotyczyły skuteczności ochrony łąk w programie rolnośrodowiskowym [20, 21], a także różnorodności biologicznej, zmian florystycznych i odtwarzania ekstensywnych zbiorowisk łąkowych na przykładach użytków zielonych wybranych obszarów Sudetów. Na szczególną uwagę zasługiwały łąki w Parku Narodowym Gór Stołowych wyróżniające się w krajobrazie leśnym. Charakteryzowały się bogatym składem gatunkowym, w którym przy kilku gatunkach traw łąkowych występowały liczne chronione i rzadkie gatunki roślin, np.: *Traunsteinera globosa* (L.) Rchb., *Colchicum autumnale*, *Platanthera bifolia* (L.) Rich., *Listera ovata* (L.) R. Br, *Gladiolus imbricatus*, *Carlina acaulis* L., *Trollius europaeus* L., *Lilium bulbiferum* L. [17]. Tu należy nadmienić, że różnorodność biologiczna tych muraw zależy od kilku czynników, takich jak warunki abiotyczne, historia zarządzania roślinnością i strukturą krajobrazu [18]. Wyniki prowadzonych badań wskazywały na rolę lokalnej puli gatunków, która miała zdecydowany wpływ na ogólną różnorodność muraw analizowanego regionu [17, 19].

13. Wolski K., Szymura M., Świerszcz S., **Dradrach A.**, Talar-Krasa M. 2017. The effect of sward renovation method, forage mixture and fertilization on grassland yield on sandy soil. *Acta Scientiarum Polonorum Agricultura* 16(2), 99–106.
14. **Dradrach A.**, Zdrojewski Z., 2008. Ocena produktywności runi łąkowej po podsiewie mieszanką jednoroczną. *Łąkarstwo w Polsce*, Poznań, 11, 247-259.
15. Wolski K., Baranowski M., **Dradrach A.**, Jurkowski M., 2006. Ocena przydatności czterech odmian *Lolium sp.* do siewu bezpośredniego w warunkach klimatyczno – glebowych Dolnego Śląska. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu*, 545, 88, 315-320.
16. Baranowski M., **Dradrach A.**, Sokulska D., Szymura M., Wolski K. 2005. Ocena przydatności różnych gatunków żyć do siewu szczelinowego w warunkach klimatyczno-glebowych Dolnego Śląska. *Annales UMCS, Sect. E Suppl. Vol. 81*, 206-210.
17. Szymura M., Szymura T.H., **Dradrach A.**, Mikołajczak Z. 2016. Biodiversity of grasslands of Stołowe Mountains National Park. *Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura*; ISSN 1644-0625; ISSN 2300-8504 (online); 2016; 15 (1) s. 69-82.
18. Bogacz A., Wolski K., Gawęcki J., **Dradrach A.**, 2009. Właściwości łąkowych gleb brunatnych wybranych obszarów Sudetów. *Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych*, Warszawa, z. 540, 147-156.
19. **Dradrach A.**, Gawęcki J., Gierula A., Sokulska D., Wolski K., 2007. Zmiany florystyczne na odłogowanych użytkach zielonych w Sudetach na przykładzie Łężyc k/Dusznik, *Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich*, Kraków, 54, 149-156.

20. **Dradrach A.**, Szymura M., 2011. Ochrona walorów przyrodniczych obiektu „Zagórzyckie łąki”. *Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych*, z. 564, 55-63.
21. Szymura M., **Dradrach A.**, 2011. Występowanie gatunków wskaźnikowych dla pakietów przyrodniczych programy rolnośrodowiskowego a różnorodność biologiczna łąk na przykładzie Doliny Baryczy. *Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych*, z. 564, 291-300.

4. Ocena użytkowa różnych typów nawierzchni trawiastych, znaczenie obszarów zadarnionych w krajobrazie oraz kształtowaniu środowiska.

Ważny wątek w moich zainteresowaniach naukowych, zwłaszcza w latach 2006-2017, stanowiła tematyka związana z ekologią krajobrazu oraz kształtowaniem terenów zieleni. W ramach tych zagadnień prowadzone badania dotyczyły składu florystycznego i wartości przyrodniczej terenów zieleni zarówno na terenach zurbanizowanych jak i w krajobrazie otwartym [22, 25, 27, 28, 29, 31, 32, 22]. Ponadto badania opierały się także na ocenie wartości użytkowej jak i funkcjonalnej różnych nawierzchni trawiastych wykorzystywanych w zagospodarowaniach miejskich [23, 24, 26]. Zagadnieniem godnym uwagi w tej tematyce była ocena przydatności gatunków traw ozdobnych i możliwości ich zastosowania w substancji miejskiej. Przeprowadzone badania pozwoliły na porównanie wartości wizualnych i funkcjonalnych wybranych gatunków traw rabatowych. Wyniki wskazywały na długi okres atrakcyjności wizualnej analizowanych gatunków tj.: *Leymus arenarius* (L.) Hochst., *Pennisetum setaceum* (Forssk.) Chiov., *Spodiopogon sibiricus* Trin, *Panicum virgatum* F. Muell., *Miscanthus sinensis* (Thunb.) Andersson, *Phalaris arundinacea* L. ‘Picta’, *Leymus arenarius* (L.) Hochst. ‘Glaucus’, *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack. ‘Robustus’, *Spartina pectinata* Link. ‘Aureomarginata’, *Sasa veitchii* (Carr.) Rehder. - który trwał od wczesnej wiosny do późnej jesieni, a wiele z nich zachowywało wartości estetyczne także zimą. Ponad to badane taksony charakteryzowały się dobrą zdrowotnością oraz przetrzymywaniem. Różne typy wzrostu, pokrój, zabarwienie liści oraz różnorodna postać kwiatostanów wskazywały na celowość do zastosowania tych roślin na terenach zieleni [30].

22. Bogacz A., Glina B., Januszewska K., Midor A., Tomaszewska K., Podlaska M., Telega P., **Dradrach A.** 2017. The effect of long-term peatlands drainage on the properties of soils in microrelief in the Długie Mokradło Bog (Central Sudetes – Sw Poland). *Polish Journal of Soil Science Vol. L/2*, 237-247. DOI: 10.17951/pjss/2017.50.2.237
23. Wolski K., Talar-Krasa M., Świerszcz S., Biernacik M., **Dradrach A.**, Szymura M. 2016. Visual and functional evaluation of football turf, *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities* 19(4), #01.
24. Wolski K., Talar-Krasa M., **Dradrach A.**, Szymura M., Biernacik M., Świerszcz S., 2015. Ocena użytkowa murawy piłkarskiej na przykładzie KŚ AZS we Wrocławiu. *Łąkarstwo w Polsce*, 18, 241-254.
25. Szymura M., **Dradrach A.** 2015. Wpływ wybranych roślin inwazyjnych na wartości przyrodnicze i estetyczne terenów zieleni. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu - Rolnictwo*, CXV, z. 115 (615), s. 33-46.
26. Leshchenko O.Y., Lihanov A. F., **Dradrach A.** 2014. Variability of the photosynthetic system of plant leaves *Lolium perenne* L. as an example on varieties of Ukrainian breeding. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu - Rolnictwo*, CIX, 605, 45 - 54.
27. Szymura M., **Dradrach A.**, Wolski K., Świerszcz S. 2014. Invasive plant species – threat to grasslands in river valleys. *Botanika-Steciana*, Vol. 18(2): 89–94.
28. **Dradrach A.**, Zawieja J., 2011. Ocena składu botanicznego i wartości użytkowej wybranych nawierzchni trawiastych miasta Wrocławia. *Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych*, z. 562, 39-48.
29. Zawieja J., **Dradrach A.**, 2011. Zbiorowiska roślinne na obrzeżach miasta Wrocławia. *Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych*, z. 562, 283-292.

30. Szymura M., Grzywniak S., Wolski K., Szymura T.H., **Dradrach A.** 2010. Ocena wartości użytkowej wybranych gatunków traw ozdobnych w warunkach Dolnego Śląska, *Nauka, Przyroda, Technologie, dział Ogrodnictwo* 4 (3): 1-12.
31. **Dradrach A.**, Gierula A., Sokulska D., Szymura M. 2006. Ocena nawierzchni trawnikowych Parku Zdrojowego w Polanicy Zdroju. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, LXXXVIII*: 65-70.
32. Gierula A., **Dradrach A.** Stan zieleni Parku Zdrojowego w Polanicy Zdroju. *Zieleń miejska – naturalne bogactwo miasta*. 2006. *Problemy zieleni zabytkowej w miastach Unii Europejskiej*; ISBN 83-918047-6-3; Toruń: Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Toruń, 2006; 169-182.
33. **Dradrach A.**, 2006. Ocena wschodów kilku mieszanek trawnikowych w warunkach miejskich. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, LXXXIX*, 546, 51-55.

5. Pobieranie pierwiastków toksycznych przez trawy z gleb na terenach silnie zanieczyszczonych

W badaniach terenów miejskich i przemysłowych bardzo dużo uwagi poświęca się skutkom oddziaływania zanieczyszczeń, które w głównej mierze pochodzą z przemysłu, zarówno obecnie działającego, jak i historycznego. Jednocześnie szuka się najlepszych rozwiązań rekultywacyjnych i remediacyjnych, uwzględniających wykorzystanie do tego celu roślin. Dlatego moje zainteresowania naukowe skupiły się wokół tematyki dotyczącej przydatności wybranych gatunków traw do fitostabilizacji gleb zanieczyszczonych pierwiastkami toksycznymi. Badania prowadzone na glebach z rejonu huty miedzi Legnica miały na celu analizę wpływu różnych czynników, na wzrost traw dwóch gatunków: *Festuca rubra* L. i *Lolium perenne* L. oraz na pobieranie Cu, Zn i As przez te trawy, z uwagi na ich potencjalne wykorzystanie do fitostabilizacji gleb zanieczyszczonych pierwiastkami toksycznymi. Z badań wynikało, że wpływ fitotoksyczności Cu i Zn oraz fitoakumulacja tych pierwiastków w znacznym stopniu zależały od pH gleby, zawartości rozpuszczalnych związków organicznych DOC, a także od ilości azotu amonowego obecnego w glebie. Ważny wniosek dotyczył związku między fitotoksycznym oddziaływaniem roztworów glebowych na kostrzewę czerwoną, a badaniami ekotoksykologicznymi przeprowadzonymi z wykorzystaniem testów Phytotoxkit i Microtox. Uzyskane wyniki z obu testów wskazywały na to, że mogą być one pomocne w planowaniu fitostabilizacji gleb skażonych miedzią, prowadzonej z wykorzystaniem kostrzewy czerwonej [35]. Natomiast z badań prowadzonych z udziałem życicy trwałej na glebach pobranych z terenów historycznego wydobywania i przetwarzania rudy w Złotym Stoku i Radzimowicach wynika, że gatunek ten jest dość tolerancyjny np. na wysokie stężenia As w glebie, wykazuje względnie wysokie wartości współczynnika translokacji TF. Wysokie wartości bezwzględne stężeń As w pędach nadziemnych życicy trwałej, stwierdzone w doświadczeniach wazonowych, budzą obawy związane z możliwym włączaniem tego pierwiastka do łańcucha pokarmowego [34]. Warto zaznaczyć jedną, że dalsze badania prowadzone nad innymi gatunkami traw pobranymi z terenu, wskazują że stężenia arsenu w ich częściach nadziemnych mogą okazać się znacznie niższe w porównaniu ze stężeniami tego pierwiastka w częściach nadziemnych tych gatunków w doświadczeniach wazonowych, co wymagałoby dalszych badań.

34. Karczevska A., Gałka B., **Dradrach A.**, Lewińska K., Molczan M., Cuske M., Gersztyn L., Litak K. 2017. Solubility of arsenic and its uptake by ryegrass from polluted soils amended with organic matter. *Journal of Geochemical Exploration* 182(B), 193-200. DOI : 10.1016/j.gexplo.2016.11.020

35. Cuske M., Karczewska A., Gałka B., **Dradrach A.** 2016. *Some adverse effects of soil amendment with organic materials – the case of soils polluted by copper industry phytostabilized with red fescue.* *International Journal of Phytoremediation*, 18(8), 839–846.

Wrocław, 26.08.2020

..... A. Dradrach