

dr Mirosław Mleczek

AUTOREFERAT

prezentujący dorobek i osiągnięcia naukowe

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Wydział Technologii Drewna

Katedra Chemii

Spis treści

Lp	Temat	Strona
1.	Przebieg kariery naukowej	3
2.	Osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego	4
2.1.	Cel naukowy pracy, osiągnięte wyniki oraz omówienie ich ewentualnego wykorzystania	4
2.1.1.	Wprowadzenie	4
2.1.2.	Cel i zakres pracy	5
2.1.3.	Wyniki badań i wnioski	6
3.	Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych	14
4.	Podsumowanie	17

1. Przebieg kariery naukowej

Imię i Nazwisko: Mirosław Mleczek

Posiadane dyplomy i stopnie naukowe:

- Tytuł i stopień zawodowy – magister chemii w zakresie chemii środowiska

Tytuł pracy:

„Optymalizacja procedury bezpośredniego oznaczania wanadu w certyfikowanych materiałach odniesienia gleb Montana Soil 2711 i Soil S-1, metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej z atomizacją elektrotermiczną i dozowaniem zawiesiny”.

Praca wykonana w Zakładzie Analizy Wody i Gruntów, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Poznań 11 czerwca 2003 r.

- Stopień naukowy – doktor nauk leśnych w zakresie drzewnictwa

Tytuł rozprawy:

„Wpływ warunków środowiskowych na akumulację wybranych metali ciężkich przez różne gatunki wierzby”

Stopień naukowy nadany uchwałą Rady Wydziału Technologii Drewna Akademii Rolniczej im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu z dnia 26 października 2007 r.

Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:

- 1.12.2004 - 30.09.2006 – instruktor, Akademia Rolnicza w Poznaniu, Katedra Chemii,
- 2.11.2006 - 30.09.2007 – instruktor, Akademia Rolnicza w Poznaniu, Katedra Chemii,
- 1.10.2007 - 29.02.2008 – asystent, Akademia Rolnicza w Poznaniu, Katedra Chemii
- 1.03.2008 – do chwili obecnej – adiunkt, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Chemii

2. Osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego

Zgodnie z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.) jako osiągnięcie naukowe wybrałem rozprawę:

„AKUMULACJA NIEKTÓRYCH PIERWIASTKÓW ŚLADOWYCH PRZEZ WYBRANE TAKSONY WIERZBY”

Mirosław Mleczek, Rozprawy Naukowe 468, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań 2014. ISSN 1896-1894.

2.1. Cel naukowy pracy, osiągnięte wyniki oraz omówienie ich ewentualnego wykorzystania

2.1.1. Wprowadzenie

Badania nad możliwością wykorzystania rozmaitych gatunków i odmian roślin w oczyszczaniu terenów zanieczyszczonych pierwiastkami śladowymi lub rozmaitymi związkami organicznymi, prowadzone są od wielu lat – choć w różnej skali – w niemalże wszystkich państwach. Fitoremediacja, jak również jej rozmaite modyfikacje pod względem dodawania określonych związków chemicznych, wyselekcjonowanych mikroorganizmów czy rozmaitych odpadów, przeżywa w ostatnich latach swój dynamiczny rozwój, wynikający zarówno z chęci, jak i konieczności ciągłego podwyższania jej efektywności. Metoda ta posiadająca pewne ograniczenia, oferując zarazem szereg interesujących rozwiązań, jak choćby niski koszt jej stosowania czy możliwość pozyskiwania surowca, mogącego pełnić rolę substratu wykorzystywanego w rozmaitych dziedzinach życia. Niewątpliwą zaletą jest również możliwość włączania jej do innych technologii (także przemysłowych), w których wykorzystuje się odpady celem stymulacji wzrostu roślin. Początkowe badania nad typowymi hiperakumulatorami roślinnymi, przekształciły się stopniowo w poszukiwanie roślin charakteryzujących się zdolnością do efektywnej fitoekstrakcji pierwiastków śladowych lub fitodegradacji związków organicznych, przy jednoczesnym, znaczącym plonie biomasy. Zmiana podejścia do zagadnienia fitoremediacji otworzyła drogę do prowadzonych na szeroką skalę badań nad wykorzystaniem roślin energetycznych w procesach oczyszczania gleb. Rośliny takie jak wierzba czy topola okazały się źródłem wartościowej – pod względem jej dalszego wykorzystania – biomasy a zarazem roślinami zdolnymi do efektywnej akumulacji jonów metali z zanieczyszczonej gleby. Kolejne badania nad możliwościami manipulowania i modyfikowania warunkami uprawy tych roślin, ze szczególnym

uwzględnieniem rozmaitych modyfikacji gleb (nawadnianie, dodawanie osadów ściekowych lub konkretnych substancji stymulujących procesy chelatowania metali), wskazały na uzyskanie przez te rośliny „granicznej” zdolności do fitoekstrakcji metali z gleby i ich akumulacji w tkankach. Obecnie poszukuje się wierzb charakteryzujących się istotnie wyższą akumulacją i/lub biomasą względem roślin dotąd poznanych, które poprzez modyfikacje genetyczne wybranych taksonów cechy te będą mogły pogłębić. O ile pierwszy cel możliwy jest do osiągnięcia poprzez badania podstawowe na reprezentatywnym materiale roślinnym, o tyle drugi wymaga wiedzy z zakresu różnych dyscyplin i specjalności (chemii środowiska, biochemii, biotechnologii, genetyki a nawet biologii molekularnej) i bazuje na wynikach wstępnej selekcji roślin. Z tego powodu istnieje konieczność poszukiwania roślin o określonych cechach pożądanych w fitoremediacji oraz ich klasyfikacji, zależnie od posiadanych cech celem uzyskania możliwie najwyższej efektywności procesu.

2.1.2. Cel i zakres pracy

Na podstawie uzyskanych wcześniej wyników badań wskazujących na zróżnicowanie zdolności do akumulacji metali przez wierzbę różnych gatunków, podjęto tematykę zmierzającą do wybrania najefektywniejszych pod względem akumulacji wybranych metali taksonów wierzb. Z tego właśnie powodu nadrzędnym celem pracy było porównanie efektywności fitoekstrakcji wybranych metali przez możliwie największą populację równowiekowych roślin rosnących na dwóch, zasadniczo odmiennych – pod względem składu gleby oraz warunków wzrostu – powierzchniach doświadczalnych (odpowiednio 137 i 145 taksonów), wraz z określeniem plonu ich biomasy. Ponieważ część wierzb już we wcześniejszych badaniach wykazywała zdolność do uzyskiwania znaczącego plonu biomasy, dokonano oceny podstawowych składników chemicznych w pędach tych roślin. Równocześnie w przedstawionej rozprawie dokonano oceny zdolności wybranych taksonów wierzb do akumulacji metaloidów (As, Se) oraz Fe ze względu na formę występowania tych pierwiastków w pędach roślin. W przedstawionej rozprawie opisano również wyniki dwóch doświadczeń hydroponicznych, dotyczących interakcji pomiędzy metalami obecnymi w podłożu, jako elementu modyfikującego w sposób znaczący zdolność roślin do pobierania pierwiastków z gleby.

2.1.3. Wyniki badań i wnioski

➤ Badania efektywności akumulacji metali i wzrostu biomasy wierzby zależnie od stężenia metali w pożywce

W ramach pierwszego doświadczenia hydroponicznego, analizie zdolności do akumulacji Cd, Co, Cu, Hg, As, Ni, Pb i Zn, poddano taksony: *Salix cinerea* × *caprea* (S_{50}) oraz *Salix purpurea* 26 (S_{81}). Jednocześnie rośliny te poddawano działaniu wyłącznie jonów Zn, celem wskazania na różnicę w akumulacji tego metalu w układach jedno- i wielopierwiastkowym.

Ogólnie stwierdzono istotnie wyższą zawartość As, Cd, Co i Ni w korzeniach, As, Cd, Co, Ni i Pb w młodych pędach, a także As i Cd w liściach *S. purpurea* 26 (S_{81}) w stosunku do zawartości wymienionych pierwiastków w tych samych organach *S. cinerea* × *caprea* (S_{50}). Jednocześnie stwierdzono istotnie wyższą zawartość Cu i Pb w korzeniach, Cu w młodych pędach, a także Cu i Zn w liściach *S. cinerea* × *caprea* (S_{50}), względem zawartości tych metali w organach *S. purpurea* 26 (S_{81}). Uzyskane wyniki wskazują na zróżnicowaną translokację metali/metaloidów w różnych taksonach wierzby, a więc odmienne możliwości wykorzystania tych roślin w celach aplikacyjnych.

Porównując efektywność akumulacji Zn dodawanego do pożywki w formie pojedynczego metalu, jak również w formie mieszaniny metali, stwierdzono, że wzrost stężenia metalu/metali znajdujących się w zmodyfikowanej pożywce Knopa, powodował wzrost zawartości Zn w badanych organach *S. purpurea* 26 (S_{81}). Wzrost ten był zarazem istotnie wyższy u roślin narażonych na działanie wyłącznie jonów Zn w stosunku do roślin rosnących w układzie wielopierwiastkowym dla stężenia metalu/metali w pożywce wynoszących $\geq 3,0$ mM. Wzrost biomasy liści, a zarazem wzrost zawartości w nich Zn miały miejsce jedynie u roślin rosnących w pożywce zawierającej wyłącznie jony Zn w stężeniu $\leq 4,0$ mM. Dla taksonu *S. cinerea* × *caprea* (S_{50}), stwierdzono istotnie wyższą zawartość Zn w jego korzeniach oraz liściach względem *S. purpurea* 26 (S_{81}), jednakże wyłącznie dla wyższych stężeń metalu/metali w pożywce (powyżej 2,5 mM dla korzeni oraz 2,0 mM Zn lub mieszaniny metali w pożywce dla liści). Zawartość Zn w zdrewniałych prętach *S. cinerea* × *caprea* (S_{50}), była kilkakrotnie wyższa od zawartości Zn w prętach *S. purpurea* 26 (S_{81}), bez względu na obecność w pożywce wyłącznie Zn lub mieszaniny metali. Opisane zależności są istotne z praktycznego punktu widzenia, ponieważ posadzenie testowanych taksonów wierzby na zanieczyszczonym terenie, prawdopodobnie związane będzie z różną potrzebą i w konsekwencji zróżnicowaną efektywnością pobierania zarówno jonów Zn, jak

i pozostałych metali. Jednocześnie akumulacja Zn będzie ograniczana przez obecność innych jonów metali z podłoża, a zatem sadzenie wierzb na terenach silnie zanieczyszczonych pierwiastkami śladowymi, będzie związane z większym ograniczeniem ich akumulacji przez rośliny. Opierając się zarówno na opisanych wynikach badań, jak również niepublikowanych dotąd danych, można spodziewać się także braku wyraźnie wyższej akumulacji metali w roślinie rosnącej na silnie zanieczyszczonym terenie ze względu na zbyt szybki transport jonów metali do jej wnętrza, mogący zaburzać prawidłowe funkcje życiowe a nawet doprowadzać do szybkiej apoptozy komórki.

Analiza biomasy obu taksonów badanych w opisanych układach doświadczalnych wskazała na ogólny jej spadek, wraz ze wzrostem stężenia Zn lub mieszaniny metali w pożywce. Dokonując porównania obu testowanych taksonów wierzb, stwierdzono istotnie większy przyrost długości pędów *S. cinerea* × *caprea* (S_{50}) względem pędów *S. purpurea* 26 (S_{81}), rosnących w układzie wielopierwiastkowym przy nieistotnych różnicach we wzroście tych roślin poddawanych działaniu wyłącznie jonów Zn. Porównując wyniki pomiarów długości korzeni *S. cinerea* × *caprea* (S_{50}) z wynikami uzyskanymi dla taksonu *S. purpurea* 26 (S_{81}), stwierdzono podobieństwa między badanymi roślinami. Należy jednak podkreślić, że długość korzeni *S. cinerea* × *caprea* (S_{50}) była istotnie większa względem długości korzeni *S. purpurea* 26 (S_{81}) dla roślin rosnących w pożywce zawierającej mieszaninę metali i zarazem zbliżona w przypadku ich wzrostu w pożywce wzbogaconej wyłącznie o jony Zn. Opisany wzrost badanych organów oraz zdolności do akumulacji wybranych pierwiastków śladowych zarówno przez *S. cinerea* × *caprea* (S_{50}), jak i *S. purpurea* 26 (S_{81}), pozwalają na wstępną ocenę potencjału tych roślin celem dalszego ich testowania w środowisku i możliwości praktycznego zastosowania w fitoremediacji. Obserwowane różnice w długości pędów choć pozornie nieistotne, mają ogromne znaczenie dla łatwości testowanych wierzb do ich adaptacji w nowych warunkach wzrostu, determinując zarazem ich zdolność (lub brak) do efektywnej akumulacji metali z podłoża. Jednocześnie różnice we wzroście pędów są o tyle istotne, że w przypadku wysadzenia obu taksonów wierzb w środowisku w ilości kilku tysięcy zrzesów na hektar, mogą okazać się parametrem kluczowym określającym zarówno opłacalność uprawy konkretnego taksonu, jak i jego efektywność. Uzyskanie większej biomasy przy jednoczesnej wyższej akumulacji metalu/metali związanej pośrednio m.in. z łatwiejszą adaptacją rośliny, pozwala wyselekcjonować rośliny, dzięki którym możliwe będzie szybsze oczyszczanie środowiska i/lub pozyskiwanie większej biomasy w krótszym czasie.

➤ Interakcje pomiędzy metalami, a efektywność ich akumulacji przez wierzby

Istotną, choć niejednokrotnie pomijaną kwestią przy ocenie zdolności roślin do akumulacji pierwiastków śladowych z podłoża (gleba, osady ściekowe, modyfikowane podłoża organiczne) są wzajemne interakcje między nimi, których rodzaj oraz wielkość może determinować określoną odpowiedź rośliny. W ramach drugiego doświadczenia hydroponicznego testowano zrzesy *S. purpurea* 23 (*S*₇₇), które poddawano działaniu soli azotanowych Cu, Pb i Zn w różnorodnych konfiguracjach ilościowych i jakościowych:

- Me₁: 1mM Cu + 1mM Pb + 1mM Zn,
- Me₅: 5mM Cu + 5mM Pb + 5mM Zn,
- Cu₅: 5mM Cu + 1mM Pb + 1mM Zn,
- Pb₅: 1mM Cu + 5mM Pb + 1mM Zn,
- Zn₅: 1mM Cu + 1mM Pb + 5mM Zn,
- Cu₅+Pb₁: 5mM Cu + 1mM Pb,
- Cu₁+Pb₅: 1mM Cu + 5mM Pb,
- Cu₅+Zn₁: 5mM Cu + 1mM Zn,
- Cu₁+Zn₅: 1mM Cu + 5mM Zn,
- Pb₅+Zn₁: 5mM Pb + 1mM Zn,
- Pb₁+Zn₅: 1mM Pb + 5mM Zn.

Zróznicowanie to miało na celu stwierdzenie możliwego wspomagania (synergizm) lub hamowania (antagonizm) akumulacji poszczególnych metali przez pozostałe metale obecne w pożywce w takim samym lub wyższym stężeniu. Zawartość poszczególnych metali w korzeniach, prętach, młodych pędach i liściach *S. purpurea* 23 (*S*₇₇) była zróznicowana zależnie od rodzaju metali obecnych w pożywce, ich stężenia oraz wzajemnego stosunku molowego. Stwierdzone różnice pomiędzy roślinami rosnącymi w układach Me₁ i Me₅ wskazały na ogólną zależność pomiędzy zawartością wszystkich trzech metali we wszystkich organach, a stężeniem metali w pożywce.

Badając korzenie *S. purpurea* 23 (*S*₇₇) wskazano na silne hamowanie pobierania Cu w przypadku obecności jonów Pb w pożywce, a także – w mniejszym stopniu – hamowanie akumulacji Cu w obecności podwyższonego stężenia Zn. Zbliżone zależności stwierdzono również w badaniach prowadzonych w układach dwupierwiastkowych. Akumulacja jonów Pb była hamowana w podobny sposób przez jony Cu oraz Zn w układach składających się z trzech metali jednocześnie oraz jeszcze silniej hamowana przez jony Cu niż przez jony Zn (Pb₁+Zn₅) w układach dwupierwiastkowych. Najwyższą akumulację Zn stwierdzono

w korzeniach roślin rosnących w układzie równomolowym (Me_5) oraz w układach, w których Zn podawany był w podwyższonych stężeniach: Zn_5 Cu_1+Zn_5 oraz Pb_1+Zn_5 . Zawartość Zn zarówno w układach Cu_5 , jak i Pb_5 , a także wyłącznie par metali Cu_5+Zn_1 i Pb_5+Zn_1 , wskazały na zbliżony sposób hamowania pobierania Zn przez jony Cu i Pb.

Stwierdzono ponadto wyraźne podobieństwa pomiędzy zawartością badanych metali w korzeniach oraz zdrewniałych prętach, szczególnie pod względem pobierania Cu i Pb we wszystkich układach dwupierwiastkowych. Zawartość Zn w prętach *S. purpurea* 23 (S_{77}) rosnących w układach Pb_5+Zn_1 oraz Pb_1+Zn_5 była niemalże identyczna, co wskazuje na równoważenie się wpływu jonów obu metali obecnych w podwyższonym stężeniu na pobieranie jonów Zn przez pręty *S. purpurea* 23 (S_{77}). W przypadku układów składających się z trzech metali (Me_1 , Me_5 , Cu_5 , Pb_5 oraz Zn_5), stwierdzono zbliżony sposób ograniczania pobierania określonego metalu przez dwa pozostałe, co jednoznacznie wskazuje na zbliżony charakter interakcji pomiędzy wszystkimi badanymi metalami w prętach.

Zawartość Cu i Pb w młodych pędach *S. purpurea* 23 (S_{77}) rosnących w układach Me_1 oraz Me_5 była mniejsza niż zawartość Cu oraz Pb w korzeniach tego taksonu, a zarazem istotnie wyższa niż zawartość Cu oraz Pb w zdrewniałych prętach. Jednocześnie dla obu wspomnianych układów Me_1 i Me_5 , zawartość Zn była zbliżona do zawartości stwierdzonej w młodych pędach oraz w korzeniach, a zarazem istotnie wyższa niż w prętach. W przypadku Zn stwierdzono zbliżoną zawartość tego metalu w młodych pędach oraz w korzeniach *S. purpurea* 23 (S_{77}), rosnących w niemalże wszystkich układach doświadczalnych, co dowodzi łatwości transportu Zn do nadziemnych organów badanego taksonu wierzyby.

W przypadku liści testowanego taksonu wierzyby, stwierdzono zbliżony sposób hamowania akumulacji Cu przez jony Pb i Zn w układach trzypierwiastkowych (Pb_5 oraz Zn_5), natomiast wyraźnie silniejszy antagonistyczny wpływ jonów Pb niż Zn względem jonów Cu w układach dwupierwiastkowych Cu_1+Pb_5 oraz Cu_1+Zn_5 . Wyniki dotyczące zawartości Pb w liściach *S. purpurea* 23 wskazały na silny antagonizm Cu i Zn względem Pb. Silne zahamowanie akumulacji Pb stwierdzono zarówno w układach dwu- (Cu_5+Pb_1 oraz Pb_1+Zn_5), jak i trzypierwiastkowych (Cu_5 Pb_5 oraz Zn_5). W obu rodzajach układów stwierdzono zbliżony sposób ograniczania akumulacji Pb, potwierdzający antagonizm pomiędzy Cu i Zn, a jonami Pb.

Prezentowane wyniki wskazują na zróżnicowanie akumulacji Cu, Pb i Zn, zależnie od wzajemnych relacji ilościowych i jakościowych tych metali. Jest to tym bardziej istotne, że znajomość odpowiedzi wierzb na obecność określonych jonów metali w zanieczyszczonej glebie, pozwala na wykorzystanie odpowiednich roślin zdolnych do ukierunkowanej

akumulacji określonego pierwiastka/pierwiastków z gleby, celem uzyskania wyższej efektywności procesu. Warto podkreślić, że ujęcie opisywanych zależności w jedną, prostą całość nie jest możliwe, ze względu na różnice w translokacji poszczególnych jonów na profilu pionowym rośliny, niemniej wyższa akumulacja określonego metalu w konkretnych warunkach wzrostu rośliny wydaje się być informacją wystarczającą.

Pod względem wzrostu roślin, opisywanym przyrostem długości korzeni oraz pędów, stwierdzono największy przyrost obu organów dla roślin rosnących w układzie kontrolnym, natomiast niższy w układach Me₁ i Me₅. W przypadku układów złożonych z trzech metali, największe zahamowanie wzrostu powodowały kolejno jony: Pb, Zn oraz Cu. Jednocześnie największy przyrost korzeni stwierdzono w układach zawierających Cu w podwyższonym stężeniu Cu₅+Pb₁ oraz Cu₅+Zn₁. W pozostałych układach przyrost długości korzeni był zbliżony (podobny sposób hamowania wzrostu korzeni przez jony Pb i Zn). Również w pędach stwierdzono spadek ich długości wraz ze wzrostem stężenia wszystkich badanych metali w pożywce (Me₁ i Me₅). Zahamowanie wzrostu roślin w obecności większej liczby pierwiastków lub większego ich stężenia w glebie jest rzeczą oczywistą, jednakże znajomość odpowiedzi roślin na obecność w glebie konkretnych ilości metali pozwala na zastosowanie roślin zdolnych do efektywnego wzrostu i/lub efektywnej akumulacji tych właśnie metali.

➤ Analiza wierzb z Leśnego Zakładu Doświadczalnego Siemianice

Na podstawie uzyskanych wyników oraz dokonanych obserwacji prowadzonych dla wierzb rosnących w Leśnym Zakładzie Doświadczalnym Siemianice, stwierdzono istotne zróżnicowanie pomiędzy badanymi taksonami wierzby, zarówno pod względem efektywności akumulacji wybranych pierwiastków śladowych, jak również ich budowy chemicznej.

Akumulacja Cd, Cu, Hg, Pb i Zn przez poszczególne taksony wierzby była istotnie zróżnicowana, stąd ze względu na znaczącą liczbę roślin dokonano analizy grupowania obiektów. Taksonami o najwyższej zawartości badanych metali w pędach były: *S. fragilis* 9 (S₂₃₉) 5,885±0,022 mg_{Cd} kg⁻¹ s.m., *S. purpurea subsp. lambertiana* (S₈₅) 10,547±0,019 mg_{Cu} kg⁻¹ s.m.), *S. 'Semipalatinskiensis'* (S₈₉) 0,920±0,010 mg_{Hg} kg⁻¹ s.m.), *S. purpurea* 12 (S₆₁) 4,287±0,009 mg_{Pb} kg⁻¹ s.m. oraz *S. purpurea* 33 (S₁₂₆) 76,547±0,026 mg_{Zn} kg⁻¹ s.m. Odzwierciedleniem rzeczywistego potencjału testowanych taksonów wierzby były obliczone wartości współczynników bioakumulacji, które dla najefektywniejszych pod względem akumulacji metali taksonów wierzby wynosiły: BAF_{Cd} = 18,86; BAF_{Cu} = 2,02; BAF_{Hg} = 17,69; BAF_{Pb} = 1,23 oraz BAF_{Zn} = 2,89 wskazując tym samym na efektywną (BAF>1) akumulację metali z gleby.

Równocześnie taksonami wierzbymi interesującymi pod względem ich wykorzystania na cele przemysłu ligno-celulozowego były: *S. fragilis* 3 (S_{25}), takson charakteryzujący się najwyższą zawartością celulozy ($49,66 \pm 5,27\%$) oraz *S. purpurea* 6 (S_{21}) zawierający najmniejszą ilość ligniny ($22,50 \pm 2,47\%$) w swoich pędach. Innymi wierzbami, które ze względu na skład chemiczny mogą znaleźć praktyczne zastosowanie były: *S. eriocephala* 2 (S_{51}), *S. fragilis* 8 (S_{231}), *S. eriocephala* 'Nicholsoni Purpurescens' 1 (S_{204}), *S. eriocephala* 5 (S_{237}), a także *S. purpurea* 46 (S_{225}).

Trafny wybór odpowiedniego taksonu wierzbymy celem jego dalszego wykorzystania na rozmaite cele wymaga kompleksowej wiedzy na temat jego budowy, wymagań siedliskowych, zdolności do wzrostu, czy też efektywności akumulacji zanieczyszczeń. W zamian możliwe jest uzyskanie wartościowszego surowca w krótszym czasie lub uniknięcie jakże częstego błędu związanego z nasadzeniem wierzb na terenach, na których nie jest on w stanie dać odpowiednio wysokiego plonu.

➤ **Badania wierzb z terenów o zróżnicowanym stopniu zanieczyszczenia gleby**

Porównując efektywność fitoekstrakcji Cu, Pb i Zn przez wierzbymy rosnące na dwóch powierzchniach doświadczalnych zlokalizowanych w Puszczy Zielonka oraz wsi Grodziec Mały, stwierdzono w przypadku kilku z nich selektywną akumulację jonów tych metali, przy równoczesnym ograniczaniu wiązania pozostałych pierwiastków. Taksonami, które ze względu na uzyskane wyniki mogą stanowić rośliny interesujące pod względem ich wykorzystania w fitoremediacji gleb zanieczyszczonych Cu i Pb okazały się być Cfr. *S. ×smithiana* (S_5) ($90,45 \pm 1,31 \text{ mg}_{\text{Cu}} \text{ kg}^{-1} \text{ s.m.}$ oraz $53,12 \pm 19,14 \text{ mg}_{\text{Pb}} \text{ kg}^{-1} \text{ s.m.}$) oraz *S. purpurea* 46 (S_{225}) ($13,57 \pm 0,32 \text{ mg}_{\text{Cu}} \text{ kg}^{-1} \text{ s.m.}$ oraz $10,34 \pm 5,04 \text{ mg}_{\text{Pb}} \text{ kg}^{-1} \text{ s.m.}$), natomiast takson Cfr. *S. viminalis* ($S_{207/191}$) okazał się rośliną o istotnie (kilkukrotnie) wyższej – względem pozostałych genotypów – akumulacji Zn w pędach ($600,71 \pm 16,86 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$), opisaną również wysoką wartością współczynnika bioakumulacji ($\text{BAF} = 27,34$). Akumulacja badanych metali przez rośliny rosnące na terenie Puszczy Zielonka była istotnie zróżnicowana a zarazem dla Pb oraz Zn ogólnie wyższa w pędach niż w liściach. W przypadku wierzb rosnących we wsi Grodziec Mały (wysoki poziom zanieczyszczenia gleby badanymi metalami), stwierdzono również istotne różnice w zawartości wszystkich trzech metali i zarazem istotnie wyższą zawartość Cu i Pb w pędach niż w liściach testowanych wierzb.

Celem dokonania oceny potencjału wszystkich taksonów wierzbymy rosnących na obu powierzchniach doświadczalnych, pod względem ich zdolności do akumulacji Cu, Pb i Zn w pędach i liściach, wykonano kolejną analizę grupowania obiektów. Taksonami rosnącymi

na powierzchni doświadczalnej w Puszczy Zielonka, charakteryzującymi się największą akumulacją Cu, Pb i Zn w pędach były: *S. eriocephala* 6 (S_{241}), *S. viminalis* PR4 ($S_{S.v.PR4}$) oraz *S. ×laurina* 2 ($S_{220/205}$), natomiast w liściach: *S. purpurea* 46 (S_{225}) s.m., *S. purpurea* 46 (S_{225}) oraz *S. viminalis* × *purpurea* 4 (S_{30}). W przypadku roślin rosnących w obrębie powierzchni doświadczalnej zlokalizowanej we wsi Grodziec Mały, najwyższą akumulację badanych metali stwierdzono w pędach: Cfr. *S. ×smithiana* (S_5), Cfr. *S. ×smithiana* (S_5) oraz Cfr. *S. viminalis* ($S_{207/191}$) oraz w liściach: *S. ×smithiana* 1 (S_{44}), *S. purpurea* 13 (S_{63}) oraz *S. purpurea* 10 (S_{58}).

Warto podkreślić, że taksonami o istotnym przyroście biomasy organów nadziemnych okazały się być: *S. fragilis* 1 (S_9) rosnący w zanieczyszczonym środowisku zasobnym w wodę (biomasa pędów i liści wynosiła odpowiednio: 4,705 i 1,818 kg), natomiast *S. eriocephala* 1 (S_{255}) rosnąca w czystszy, aczkolwiek uboższym w wodę środowisku (biomasa pędów i liści odpowiednio: 0,868 i 0,478 kg). Warto podkreślić, że dokonując nasadzeń najefektywniej przyrastających, a opisanych w niniejszej pracy sadzonek wierzb (S_9 , $S_{168/155}$ oraz S_{89}) w ilości 13000 sztuk·ha⁻¹, po dwóch latach można by uzyskać odpowiednio około: 61,1; 46,9 oraz 41,5 tony ś.m.·ha⁻¹·rok⁻¹, co porównywalne jest z wynikami uzyskiwanymi na plantacjach wierzb energetycznej. Rośliny rosnące na obu powierzchniach doświadczalnych różniły się także procentowym udziałem masy liści i pędów. W przypadku roślin z Puszczy Zielonka, średni stosunek masy liści do pędów wynosił 33:67, podczas gdy dla roślin z Grodzca Małego 25:75. Informacja dotycząca biomasy liści jest wielokrotnie pomijana w literaturze naukowej dotyczącej fitoremediacji, podczas gdy uzyskane wyniki jednoznacznie wskazały, że pozostawianie opadających liści, szczególnie w przypadku roślin charakteryzujących się wysoką akumulacją metali w swoich liściach, może istotnie spowalniać proces oczyszczania gleby.

Testując wybrane taksony wierzb pod względem zdolności do pobierania z gleby metaloidów (As i Se), stwierdzono niewielką akumulację określonych form (As^{3+} , As^{5+} , DMAA (kwas kakodylowy), Se^{4+} , Se^{6+}) tych pierwiastków, jak również nieistotną z punktu widzenia fitoremediacji całkowitą zawartość tych metaloidów. Spośród badanych wierzb, najwyższą całkowitą zawartością As charakteryzowały się taksony: *S. acutifolia* (S_{124}) oraz *S. alba* × *fragilis* (S_{39}), natomiast całkowitej zawartości Se taksony: *S. purpurea* × *viminalis* 3 (S_{93}) oraz *S. purpurea* × *viminalis* 8 ($S_{66/52}$). Uzyskane wyniki dla poszczególnych form As i Se w badanych wierzbach, kształtowały się poniżej granicy oznaczalności (<0.04 mg kg⁻¹ s.m. dla form As oraz <0.40 mg kg⁻¹ s.m. dla form Se). W oparciu o uzyskane wyniki oraz dostępną

literaturę stwierdzono, że testowane wierzby nie mają zdolności do efektywnego pobierania jonów arsenu i selenu z gleby.

Dla taksonów analizowanych pod względem zawartości As i Se, dokonano analizy całkowitej zawartości Fe, jak również jego form Fe^{2+} i Fe^{3+} . Najwyższą całkowitą zawartość Fe stwierdzono w taksonach: *S. alba* $\times$ *fragilis* (S_{39}), *S. purpurea* 26 (S_{81}) oraz *S. purpurea* 46 (S_{225}), natomiast najniższą w pędach *S. fragilis* 1 (S_9). W przypadku 15 spośród 20 testowanych wierzb, zawartość zarówno Fe^{2+} i Fe^{3+} była mniejsza niż 1 mg kg^{-1} s.m., natomiast zawartość Fe^{2+} i Fe^{3+} przekraczające tę wartość stwierdzono odpowiednio dla obu form wyłącznie w pędach: Cfr. *S. viminalis* ($S_{207/191}$) a także *S. alba* $\times$ *fragilis* (S_{39}).

Biorąc pod uwagę wszystkie wyniki oraz obserwacje poczynione dla badań wykonanych w środowisku stwierdzono, że efektywność akumulacji badanych pierwiastków śladowych z gleby przez testowane wierzby, zależała w dużym stopniu od warunków w jakich następował ich wzrost (zawartość metali w glebie, ich wzajemne stosunki ilościowe, ilość dostępnej wody), które w wielu przypadkach okazały się czynnikiem istotniej modyfikującym efektywność akumulacji metali niż sam takson wierzby. Trudno spodziewać się takiej samej odpowiedzi tego samego taksonu wierzby rosnącego na dwóch odmiennych powierzchniach pod względem składu gleby, jednakże prezentowane wyniki wskazują na istotną rolę czynników środowiskowych, mogących znacząco przyspieszać lub hamować konkretną odpowiedź rośliny.

Ubiegając się o stopień doktora habilitowanego nauk leśnych w zakresie drzewnictwa (zgodnie z art. 16 ust. 2 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595, z późniejszymi zmianami)), za moje największe osiągnięcie naukowe uważam wskazaną monografię, w ramach której dokonałem porównania największej liczby taksonów wierzby rosnących na dwóch istotnie zróżnicowanych glebach, pod względem ich zdolności do akumulacji trzech (Cu, Pb i Zn) spośród czterech (Cd, Cu, Pb i Zn) najczęściej badanych w tematyce fitoremediacji pierwiastków śladowych. Wartość i wiarygodność uzyskanych wyników podnosi fakt, że stanowią one podstawę do ubiegania się – w chwili obecnej – o kolejne projekty NCN i NCBiR.

3. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Głównym nurtem mojej działalności naukowo-badawczej są pierwiastki śladowe, ich zawartość, a ostatnio także ich forma występowania w różnych elementach środowiska, ze szczególnym wskazaniem na rośliny (wierzby) oraz gleby. Drugim istotnym nurtem badań jest efektywność akumulacji makro- i mikroelementów, zarówno przez dziko rosnące grzyby jadalne i niejadalne, jak również grzyby uprawne oraz wybrane gatunki grzybów leczniczych. Od początku zatrudnienia w Katedrze Chemii UP w Poznaniu do chwili obecnej, realizuję badania związane z efektywnością pobierania metali w różnorodnych układach biologicznych, stopniowo poszerzając zakres prowadzonych badań o wybrane biomolekuły (kwasy organiczne o niskich masach cząsteczkowych, wybrane związki fenolowe, glutation) sygnalizujące niekorzystny wpływ toksycznych pierwiastków obecnych w glebach na wzrost wierzb. W oparciu o wyniki badań, z których część do chwili obecnej została ogłoszona drukiem, jak choćby cytowane Osiągnięcie naukowe, natomiast reszta stanowi niepublikowany dotąd materiał, stwierdziłem istotne zróżnicowanie pomiędzy badanymi taksonami wierzby. Zróżnicowanie, o którym mowa można dostrzec niemalże we wszystkich rodzajach badań prowadzonych przeze mnie lub przy współpracy z naukowcami z innych ośrodków w kraju, poczynając od różnic w zawartości związków fenolowych czy podstawowych składników drewna (celuloza, lignina), poprzez skład elementarny (N, C, H, O, S), a na ekspresji genów kończąc. W tym zakresie kluczowym były badania jakie prowadziłem w ramach projektu rozwojowego (NR12 0065 10), finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, a zatytułowanego: „Uprawy odmian wierzby na nieużytkach oraz na terenach zdegradowanych i chemicznie zanieczyszczonych, celem efektywnego pozyskania biomasy, surowca budowlanego i energetycznego oraz fitoremediacji środowiska”. W oparciu o uzyskane wyniki dokonałem podziału testowanych taksonów wierzby pod względem możliwości ich wykorzystania na rozmaite cele, stwierdzając istotny wpływ czynników środowiskowych na wzrost i rozwój wierzb.

W swoich pracach poruszałem kwestię efektywności akumulacji pierwiastków śladowych oraz przyrostu biomasy, wraz z uwzględnieniem zmian morfometrycznych roślin testowanych zarówno w środowisku, jak i w ramach doświadczeń modelowych (hydroponicznych). Pomimo różnic w odpowiedzi roślin rosnących w warunkach kontrolowanych i w środowisku, w swojej pracy starałem się jako punkt wyjściowy traktować właśnie obserwacje w układzie hydroponicznym, ze względu na możliwość wyeliminowania większości czynników środowiskowych. To właśnie one przyczyniają się do różnic

w odpowiedzi roślin i zarazem różnic w obserwacjach prezentowanych w różnych pracach w tym także w moich. Z tego względu zwróciłem swoją uwagę na rolę interakcji pomiędzy metalami, a zarazem realizując jeden z projektów badawczych (N N310 3218 33), na wpływ wzajemnego stosunku Ca/Mg, na efektywność akumulacji Cd, Cu, Pb i Zn. W ramach wykonanych badań stwierdziłem wyraźne różnice w zdolności określonych taksonów wierzby do akumulacji metali w przypadku zmiennego stosunku Ca/Mg, co miało zarazem swoje odzwierciedlenie we wzroście roślin badanych, zarówno w doświadczeniach modelowych, jak i polowych.

To właśnie uzyskiwane na bieżąco wyniki badań, wraz z badaniami prowadzonymi w ramach kolejnych projektów badawczych, których byłem uczestnikiem, pozwoliły mi na jeszcze szersze spojrzenie na zagadnienie akumulacji metali i prowadzenie równoległe doświadczeń z udziałem, zarówno grzybów dziko rosnących, jak i grzybów uprawnych. Będąc kierownikiem projektu badawczego własnego (N N305 372538) finansowanego przez NCN, a zatytułowanego: „Bioakumulacja metali ciężkich przez grzyby jadalne miarą zanieczyszczenia środowiska”, prowadziłem badania nad zróżnicowaniem efektywności akumulacji metali przez grzyby dzikorosnące pobierane z różnych regionów Polski w latach 1990-2013, poszerzając je o badania wybranych form As w owocnikach podgrzybka brunatnego (*Xerocomus badius*), pochodzących z terenów o istotnie zróżnicowanym stopniu zanieczyszczenia gleb pierwiastkami śladowymi. Dowiodłem istotnego zróżnicowania efektywności akumulacji wybranych pierwiastków (głównie: As, Ag, Ca, Cr, Cu, K, Na, Ni, Pb, Sb, Ti oraz Zn) przez różne gatunki grzybów dziko rosnących. Jednocześnie stwierdziłem istnienie różnic w efektywności akumulacji tych pierwiastków przez owocniki tych samych gatunków rosnących na tym samym terenie w kolejnych latach. Badania te stały się podstawą do kolejnych doświadczeń, tym razem nad suplementacją lub współsuplementacją grzybów uprawnych Se oraz Zn, jak również badań nad toksycznym wpływem różnych form As i Se zawartych w podłożach uprawowych i/lub owocnikach grzybów na zdrowie ludzi. Uzyskane do chwili obecnej wyniki są zbieżne z wieloma innymi obserwacjami, wskazującymi na ogólnie wyższą zdolność grzybów do pobierania większości pierwiastków śladowych aniżeli większości roślin w tym również wierzby.

Osobnymi zagadnieniami badań, jakie prowadziłem równocześnie z opisanymi powyżej tematami były:

- a) możliwość oczyszczania środowiska metodami technicznymi, ze szczególnym uwzględnieniem geooksydacji prowadzonej w porozumieniu z firmą Buhck-Recycling z Niemiec,

W ramach badań nad geooksydacją, które prowadziłem na specjalnie przygotowanych przyrmach, dokonywałem oceny efektywności tego procesu, określanej miarą spadku zawartości zarówno pierwiastków śladowych, jak i wybranych grup związków organicznych (węglowodory alifatyczne, BETX, WWA, PCB). Dowiodłem wysokiej efektywności tego procesu, szczególnie pod względem degradacji wybranych związków organicznych i możliwości jego połączenia z metodami biologicznymi.

b) analiza pierwiastkowa okrywy zwierząt futerkowych w ramach współpracy z Wydziałem Hodowli i Biologii Zwierząt naszego Uniwersytetu.

W przypadku badań zwierząt futerkowych, przebadałem kilkaset osobników obu płci lisów oraz jenotów pod względem zawartości w ich sierści oraz w wybranych organach miękkich, określonych makro- i mikroelementów, celem wykazania różnic w ich akumulacji, a następnie oceny wpływu zawartości pierwiastków na ich prawidłowy rozwój oraz funkcjonowanie. Stwierdziłem istotne różnice w zawartości większości z badanych pierwiastków w sierści lisów różnych gatunków, a także istotny wpływ sposobu karmienia na stan okrywy tych zwierząt.

Realizowana przeze mnie tematyka badawcza była i nadal jest istotnie zróżnicowana, jednakże jest ona celowo prowadzona w taki właśnie sposób, celem lepszego poznania rzeczywistej natury pierwiastków śladowych oraz łatwiejszej i trafniejszej oceny wyników uzyskiwanych w trakcie kolejnych badań. Jednocześnie wiedza i doświadczenie jakie zdobyłem pełniąc rolę Pełnomocnika Rektora UP w Poznaniu ds. Laboratoriów Akredytowanych w zakresie badań laboratoryjnych zgodnych z PN-ISO 17025, pozwoliły mi na uzyskiwanie wartościowych i wiarygodnych wyników analitycznych.

4. Podsumowanie

Prowadzone przeze mnie do chwili obecnej badania miały zarówno charakter czysto poznawczy, jak i aplikacyjny, jednakże wszystkie one związane były z zawartością i/lub rolą pierwiastków śladowych w różnych elementach środowiska. Przeważająca liczba opublikowanych dotąd przeze mnie prac dotyczyła wierzby, jej odpowiedzi na stres wywołany obecnością metali, jak również zmian jakie dokonują się w samej roślinie na skutek stresu. Wyniki opisane w monografii, którą wskazałem jako największe osiągnięcie naukowe stanowią jedynie część wszystkich wyników i obserwacji zgromadzonych na przestrzeni ostatnich 10 lat.

Zestawienie dorobku naukowego

Rodzaj publikacji/aktywności	Ilość	IF	Punkty MNiSW*
Oryginalne prace twórcze	30	44,339	685
Rozdziały w monografiach i książkach naukowych	5		25
Artykuły popularno - naukowe			
Referaty naukowe wygłoszone na konferencjach	10		
Postery prezentowane na konferencjach	24		
Łącznie	69	44,339	710
- w tym wykorzystane w rozprawie habilitacyjnej	0	0	0

Współczynnik Hirscha $h=5$, liczba cytowań: 102, w tym bez autocytowań: 75

* - zgodnie z załącznikiem do komunikatu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 17 grudnia 2013 r.

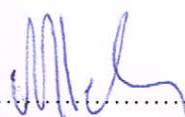
Szczegółowy wykaz publikacji

Nazwa czasopisma	Liczba publikacji	Liczba punktów	Sumaryczna liczba punktów	Impact Factor zgodnie z rokiem wydania pracy	Sumaryczny Impact Factor
Czasopisma zagraniczne					
Acta Physiologiae Plantarum	2	25	50	1,524	3,048
Biomass and Bioenergy	1	35	35	3,840	3,840
Central European Journal of Chemistry	1*	-	-	0,560	0,560
Ecotoxicology	1	30	30	2,355	2,355
Ecotoxicology and Environmental Safety	1	30	30	2,294	2,294
Environmental and Experimental Botany	2	35	70	3,164	6,328
Fresenius Environmental Bulletin	1	15	15	0,641	0,641
Food Chemistry	1	15	15	0,660	0,660
International Journal of Green Energy	1	40	40	3,259	3,259
International Journal of Phytoremediation	1	30	30	1,469	1,469
Journal of Animal Science Advances	-	-	-	-	-
Journal of Environmental Science and Health, Part A	1	20	20	1,252	1,252
	2	20	40	1,107	2,214
	1	20	20	1,363	1,363
Journal of Environmental Science and Health, Part B	2	20	40	1,234	2,468
Journal of Hazardous Materials	1	45	45	3,925	3,925
Photosynthetica	1	25	25	0,862	0,862
Renewable Energy	1	35	35	3,361	3,361
Trees – Structure and Function	1	35	35	1,869	1,869
Czasopisma polskie					
Acta Biol. Cracov. Bot.	1	20	20	0,586	0,586
Acta Scientiarum Polonorum	3	10	30	-	-
Technologia Alimentaria					
Dendrobiology	1	15	15	0,500	0,500
Oceanological and Hydrobiological Studies	1	15	15	0,306	0,306
Łącznie**	28	565	685	37,310	44,339

* - prace opublikowane przed doktoratem

** - łącznie prace opublikowane po doktoracie

Poznań, 09.09.2014 r.



.....
podpis Wnioskodawcy