

AUTOREFERAT

DR MONIKA GĄSECKA

Katedra Chemii

Wydział Technologii Drewna

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu



Poznań 2018

1. Imię i nazwisko: Monika Gąsecka

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe:

- Doktor nauk rolniczych – 21 listopada 2006 - uzyskanie stopnia doktora nauk rolniczych w zakresie ogrodnictwa, Wydział Ogrodniczy, Akademia Rolnicza im. A. Cieszkowskiego. Rozprawa doktorska pt. „Zmiany zawartości glukozy, fruktozy i sacharozy w korzeniach spichrzowych i wypustkach szparaga (*Asparagus officinalis* L.)”;

Promotor:

prof. dr hab. Piotr Goliński

Recenzenci:

Prof. dr hab. Mikołaj Knaflewski

Prof. dr hab. Marcin Horbowicz

- Magister chemii - 21 czerwca 1999 - uzyskanie tytułu magistra na kierunku Chemia, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Praca magisterska pt. „Selektywność elektrod jonoselektywnych z ciekłymi membranami”;

Opiekun: prof. dr hab. Walenty Szczepaniak

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu:

- od 1 października 2007 r. – adiunkt, Katedra Chemii, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
- 8 października 1999 r.– 30 września 2007 r., asystent, Katedra Chemii, Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu), w tym:
 - grudzień 2006 r. – wrzesień 2007 r., asystent (pełen etat)
 - listopad 2000 r.– listopad 2006 r., asystent (½ etatu),
 - październik 2000 r. – wrzesień 2005 r., Studium Doktoranckie, Wydział Ogrodniczy, Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu),
 - październik 1999 r. – październik 2000 r., asystent (pełen etat)

4. Wskazanie osiągnięcia* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):

a) tytuł osiągnięcia naukowego:

„Ocena zawartości wybranych związków bioaktywnych oraz właściwości antyoksydacyjnych grzybów uprawnych i dziko rosnących”

b) Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe będące podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego:

- B.1. **Gąsecka M., Magdziak Z., Siwulski M., Mleczek M.** (2018). Profile of phenolic and organic acids, antioxidant properties and ergosterol content in cultivated and wild growing species of *Agaricus*. *European Food Research and Technology* 244(2): 259–268. DOI: 10.1007/s00217-017-2952-9

IF₂₀₁₆=1,664; 25 pkt. MNiSW

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji, wykonaniu analizy zawartości związków fenolowych oraz ergosterolu metodą UPLC, oznaczeniu aktywności antyoksydacyjnej, przygotowaniu części tabel, interpretacji części wyników przygotowaniu tekstu pracy, wprowadzeniu poprawek po recenzji i opracowaniu odpowiedzi na recenzje. Mój udział procentowy szacuję na 75%.

- B.2. **Gąsecka M., Mleczek M., Siwulski M., Niedzielski P., Kozak L.** (2015). The effect of selenium on phenolics and flavonoids in selected edible white rot fungi. *LWT - Food Science and Technology* 63(1): 726-731. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.046>

IF₂₀₁₅=2,711; 35 pkt. MNiSW

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji, wykonaniu analizy zawartości związków fenolowych metodą HPLC, oznaczeniu aktywności antyoksydacyjnej, interpretacji wyników, przeprowadzeniu analizy statystycznej,

przygotowaniu tekstu pracy, opracowaniu korekty po recenzjach i odpowiedzi na recenzje. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

- B.3. **Gąsecka M.**, Mleczek M., Siwulski M., Niedzielski P., Kozak L. (2016). Phenolic and flavonoid content in *Hericium erinaceus*, *Ganoderma lucidum* and *Agrocybe aegerita* under selenium addition. *Acta Alimentaria* 45(2): 301–309. DOI: 10.1556/066.2016.45.2.18

IF₂₀₁₆=0,357; 15 pkt. MNiSW

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji, wykonaniu analizy zawartości związków fenolowych metodą HPLC, oznaczeniu właściwości antyoksydacyjnych, interpretacji wyników, przeprowadzeniu analizy statystycznej, przygotowaniu tekstu pracy oraz opracowaniu korekty pracy po recenzji oraz odpowiedzi dla recenzentów. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

- B.4. **Gąsecka M.**, Mleczek M., Siwulski M., Niedzielski P. (2016). Phenolic composition and antioxidant properties of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii* enriched with selenium and zinc. *European Food Research and Technology* 242(5): 723-732. DOI:10.1007/s00217-015-2580-1

IF₂₀₁₆=1,664; 25 pkt. MNiSW

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji, wykonaniu analizy zawartości związków fenolowych metodą UPLC, interpretacji wyników, przeprowadzeniu analizy statystycznej, przygotowaniu tekstu pracy, wprowadzeniu korekty po recenzji i opracowaniu odpowiedzi dla recenzentów. Mój udział procentowy szacuję na 80%.

- B.5. **Gąsecka M.**, Siwulski M., Mleczek M. (2018). Evaluation of bioactive compounds content and antioxidant properties of soil-growing and wood-growing edible mushrooms. *Journal of Food Processing and Preservation*. 42: e13386. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13386>

IF₂₀₁₆=0,791; 20 pkt. MNiSW

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji, wykonaniu analizy zawartości związków fenolowych oraz ergosterolu metodą UPLC, pomiarze aktywności antyoksydacyjnej, interpretacji wyników, przeprowadzeniu dyskusji, przygotowaniu tekstu pracy oraz wprowadzeniu poprawek i przygotowaniu odpowiedzi na recenzje. Mój udział procentowy szacuję na 80%.

- B.6. **Gąsecka M.**, Rzymiski P., Mleczek M., Siwulski M., Budzyńska S., Magdziak Z., Niedzielski P., Sobieralski K. (2017). The relationship between metal composition, phenolic acid and flavonoid content in *Ilmeria Badia* from non-polluted and polluted areas. *Journal of Environmental Science and Health, Part B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes* 52(3): 171–177. <http://dx.doi.org/10.1080/03601234.2017.1261541>

IF₂₀₁₆=1,362; 20 pkt. MNiSW

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w opracowaniu koncepcji, wykonaniu analizy zawartości związków fenolowych metodą UPLC oraz całkowitej zawartości związków fenolowych, interpretacji wyników, udziale w przygotowaniu tekstu pracy oraz współudziale w opracowaniu odpowiedzi na recenzje. Mój udział procentowy szacuję na 60%.

Łączna punktacja 6 prac zgłoszonych do oceny w postępowaniu habilitacyjnym:

Sumaryczny IF – 8,549

Punkty MNiSW – 140 pkt

Index Hirscha według bazy danych web of Science – 9

Oświadczenia Współautorów dotyczące ich indywidualnego wkładu w powstanie ww. publikacji przedstawiono w Załączniku 6.

Żadna z ww. prac nie była częścią monotematycznego cyklu prac w innym postępowaniu habilitacyjnym.

- c) **Omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.**

„Ocena zawartości wybranych związków bioaktywnych oraz właściwości antyoksydacyjnych grzybów uprawnych i dziko rosnących”

Wprowadzenie

Grzyby jadalne, zarówno uprawne jak i dziko rosnące, stanowią coraz ważniejszy składnik diety człowieka. Polska jest światowym liderem w eksporcie grzybów leśnych oraz znajduje się w czołówce pod względem produkcji niektórych grzybów dostępnych na rynku, w tym pieczarki. Pomimo braku dokładnych danych szacuje się, że konsumpcja grzybów uprawnych, podobnie jak leśnych, może wynosić nawet kilka kilogramów na osobę w ciągu roku. W Polsce występuje około 5000 gatunków grzybów dziko rosnących wytwarzających owocniki, z czego około 1000 jest potencjalnie jadalna. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z 17 maja 2011, nr 115, poz. 672 do obrotu lub produkcji przetworów grzybowych, środków spożywczych zawierających grzyby, dopuszczone są łącznie 44 gatunki grzybów uprawnych oraz leśnych (dziko rosnących). Do najbardziej cenionych przez konsumentów gatunków leśnych należą trufle, borowiki, rydze, koźlarze, podgrzybki, czubajki, gąski oraz opieńki.

Spośród około 100 gatunków grzybów, które można uprawiać komercyjnie, zaledwie 10 gatunków uprawiana jest na skalę przemysłową (Reis i in. 2012). Polska należy do czołowych producentów pieczarki dwuzarodnikowej (*Agaricus bisporus*) oraz boczniaka ostrygowatego (*Pleurotus ostreatus*) w Europie. Roczna produkcja w roku 2017 wynosiła ponad 300 tysięcy ton pieczarki, a produkcję boczniaka szacuje się na 30-35 tysięcy ton. Na rynku dostępne bywają również inne, mniej znane w Polsce, za to popularne i spożywane w innych krajach, grzyby uprawne takie jak twardnik japoński (dawniej twardziak jadalny) (*Lentinula edodes*), bocznik eryngii (*Pleurotus eryngii*), bocznik różowy (*Pleurotus djamor*), bocznik żółty (*Pleurotus citrinopileatus*), łuskwiak nameko (*Pholiota nameko*) czy też podblaszek marmurkowaty (*Hypsizygus marmoreus*). Niektóre spośród nich są znane i wykorzystywane w medycynie tradycyjnej w Azji - jeszcze od czasów starożytnych - jako

tzw. grzyby lecznicze. Do najbardziej znanych należy lakownica lśniąca (*Ganoderma lucidum*).

Obecnie grzyby cenione są nie tylko ze względu na aromat wzbogacający smak wielu potraw, lecz przede wszystkim stanowią źródło cennych substancji wywierających pozytywny wpływ na zdrowie i metabolizm człowieka. Ich wartość odżywcza związana jest głównie z obecnością bioaktywnych związków takich jak polisacharydy, białka, niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe, błonnik pokarmowy (głównie w postaci chityny), jak również witaminy oraz makro- i mikroelementy. Istotna z punktu widzenia żywieniowego, jest niska kaloryczność owocników wynikająca głównie z niewielkiej ilości tłuszczu. Wśród witamin dominują B₁, B₂, B₁₂, C, D, niacyna, kwas foliowy oraz w mniejszym stopniu kwas askorbinowy (Anibal i in. 2015, Mattila i in. 2001). O wysokiej wartości odżywczej białka grzybowego decyduje kompozycja aminokwasów, wśród których najistotniejsze są aminokwasy egzogenne (np. leucyna, lizyna, metionina, tryptofan) (Dembitsky i in. 2010, Jedidi i in. 2017, Reid i in. 2016).

Owocniki grzybów bogate są również w nieodżywcze związki biologicznie czynne takie jak związki fenolowe, kwasy organiczne, sterole, alkaloidy i terpenoidy (Alves i in. 2012, Reis i in. 2012, Heleno i in. 2015; Sułkowska-Ziaja i in. 2015), które ze względu na właściwości przeciwutleniające, przeciwbakteryjne, przeciwwirusowe i przeciwzapalne, mogą modyfikować funkcje fizjologiczne i metaboliczne organizmu człowieka oraz wykazywać także działanie prozdrowotne (Chen i in. 2017, Moro i in. 2012, Souilem i in. 2017). Konsumpcja grzybów lub wyizolowanych z nich składników, może mieć korzystny wpływ na zdrowie człowieka, w tym na zmniejszenie ryzyka zachorowania na choroby układu sercowo-naczyniowego, cukrzycę czy nowotwory (Diyabalanage i in. 2008, Guillamón i in. 2010; Roupas i in. 2012). Dotyczy to nie tylko gatunków jadalnych, ale również niejadalnych, które stanowią potencjalne źródło substancji bioaktywnych mogących stanowić dodatki do żywności bądź składniki preparatów farmaceutycznych (Ayala-Zavala i in. 2012). Dowiedziono, że właściwości prozdrowotne grzybów wynikają z obecności w nich między innymi: polisacharydów, związków fenolowych, aminokwasów, nienasyconych kwasów tłuszczowych, związków indolowych czy witamin (Chen i in. 2014, Gan i in. 2012, Jayakumar i in. 2008, Kała i in. 2017, Muszyńska i in. 2016). Ze względu na obecność wymienionych wyżej metabolitów biologicznie aktywnych grzyby owocnikowe mają wysoki potencjał do pełnienia roli jako żywność funkcjonalna, czy też nutraceutyki (Kimatu i in. 2017). Ponadto rozwój wiedzy

na temat dostępności substancji bioaktywnych wpływa na coraz wyższą świadomość konsumenta, co stawia producentom żywności większe wymagania w stosunku do jakości. Spożywanie grzybów przynosi wiele korzyści, jednak u osób cierpiących na choroby układu pokarmowego, w tym wątroby i nerek, spożycie powinno być ograniczone. Grzyby są również nie zalecane do spożycia przez dzieci i osoby starsze.

Dowodzono, że jedną z najważniejszych grup nieodżywczych substancji bioaktywnych obecnych w grzybach są związki fenolowe, które posiadają właściwości antyoksydacyjne (Helano i in. 2012, Nowacka i in. 2014), dzięki którym mogą wspierać naturalne mechanizmy obronne organizmu człowieka. Stwierdzono, że za właściwości antyoksydacyjne oraz przeciwzapalne ekstraktów grzybowych odpowiedzialne są obecne kwasy fenolowe, w tym przede wszystkim kwas kawowy, galusowy i protokatechowy (Muszyńska i in. 2013, Reis i in. 2012). Ze względu na powyższe właściwości mogą pełnić istotną rolę w zapobieganiu niektórym przewlekłym chorobom wywołanym stresem oksydacyjnym, wynikającym z braku równowagi pomiędzy poziomem wolnych rodników, a zdolnością do szybkiej detoksykacji reaktywnych produktów pośrednich. Związki fenolowe to znacząco zróżnicowana pod względem właściwości i struktury grupa metabolitów wtórnych o charakterze aromatycznym, której wspólną cechą jest jeden lub kilka pierścieni aromatycznych z jedną lub kilkoma grupami hydroksylowymi (Palacios i in. 2011). W profilu związków fenolowych owocników grzybów wyróżnia się zarówno kwasy fenolowe jak i flawonoidy (Kaewnarin i in. 2016, Palacios i in. 2011, Woldegiorgis i in. 2014).

Obok związków fenolowych ważnym bioaktywnym składnikiem grzybów są wchodzące w skład błon komórkowych sterole, w tym ergosterol (prowitamina D₂) (Chen i in. 2017, Philips i in. 2011, Shao 2010). Korzystny wpływ ergosterolu na zdrowie i na wiele fizjologicznych funkcji człowieka związany jest z właściwościami przeciwzapalnymi, przeciwbakteryjnymi, przeciwnowotworowymi oraz możliwością zmniejszania częstotliwości występowania chorób układu sercowo-naczyniowego, jak również hamowaniem aktywności cyklooksygenazy (COX) (Chen i in. 2017, Hu i in. 2006, Subbiah i in. 2003, Zhang i in. 2002). Ponadto ekspozycja grzybów na działanie promieniowania UV-B oraz UV-C prowadzi do zwiększenia zawartości w owocnikach witaminy D₂ (Drori i in. 2016). Ergosterol bowiem pod wpływem promieniowania ulega konwersji (poprzez niestabilne pochodne lumisterol, tachysterol i prewitaminę D₂) do witaminy D₂, która jest formą istotnej dla metabolizmu człowieka witaminy D, występującą naturalnie u roślin i grzybów (Matilla 2002, Philips i in. 2011, Villares i in. 2014).

Kolejnymi związkami bioaktywnymi występującymi w grzybach są kwasy organiczne, które mogą przeciwdziałać różnym chorobom ze względu na właściwości antyoksydacyjne (kwas cytrynowy, jabłkowy i bursztynowy) (Valentão i in. 2005, Seabra i in. 2006), antybakteryjne (kwas szczawiowy) (Kwak i in. 2016), przeciwzapalne (kwas mrówkowy) (Altmeyer i in. 1994, Baati i in. 2011). Kwasy organiczne odpowiadają również za smak i aromat grzybów oraz zapobiegają ich brązowieniu i przedłużają ich trwałość (Barros i in. 2013, Brennan 2000, Carvajal i in. 2012, Leal i in. 2013, Fernandes i in. 2016).

Ważną cechą grzybów jest ich zdolność do znaczącego pobierania różnych pierwiastków z podłoża (Mleczek et al. 2016 a, b, c), co może być wykorzystywane w uprawie w celu poprawy właściwości odżywczych owocników (Bhatia i in. 2013, Niedzielski i in. 2014). Wzbogacanie podłoża w mikroelementy, pozwala uzyskać owocniki cechujące się podwyższoną ich zawartością, zmodyfikowanym składem chemicznym, oraz większą wydajnością antyoksydacyjną (Vieira i in. 201; Bhatia i in. 2014).

Cel badań

Szeroki zakres badań dotyczących poszukiwania naturalnych źródeł substancji bioaktywnych oraz właściwości prozdrowotne wielu gatunków grzybów, z jednej strony, a zarazem stosunkowo niska świadomość dotycząca składu chemicznego wielu gatunków występujących i uprawianych w Polsce, skłoniły mnie do podjęcia badań nad wybranymi metabolitami wytwarzanymi przez grzyby wielkoowocnikowe. Wiele spośród dotychczasowych badań ukierunkowane było na związki wykazujące działanie przeciwnowotworowe takie jak β -D-glukany. Te polisacharydy uważane są za najsilniejsze czynniki przeciwnowotworowe wyizolowane z grzybów, które zostały ocenione pod kątem różnych linii komórek nowotworowych, w tym: nowotwory płuc, piersi i żołądka (Ferreira i in. 2010, Friedman 2016, Khatun i in. 2012, Patel i Goyal 2012). Jednak grzyby zawierają również inne bioaktywne składniki (związki fenolowe, kwasy organiczne, ergosterol), które mają istotne znaczenie prozdrowotne, szczególnie w prewencji chorób cywilizacyjnych wynikające między innymi z właściwości antyoksydacyjnych. Wyniki badań prezentowane w przedstawionym przeze mnie osiągnięciu naukowym obejmują analizę zawartości związków fenolowych, kwasów organicznych i ergosterolu w wielu gatunkach grzybów owocnikowych (uprawnych i dziko rosnących). Celem moich badań było poznanie składu jakościowego (profilu) i ilościowego metabolitów o właściwościach prozdrowotnych

występujących w owocnikach badanych grzybów. Ponadto jednym z celów badań było zastosowanie innowacyjnych metod uprawy grzybów i wskazanie, że suplementacja podłoży uprawnych różnymi mikroelementami może być jedną z metod regulowania zawartości substancji aktywnych biologicznie, szczególnie związków fenolowych w owocnikach. Podjęte przeze mnie badania dotyczą możliwości modulowania składu chemicznego, w tym także zawartości niektórych substancji aktywnych biologicznie poprzez modyfikacje na etapie uprawy i są badaniami pionierskimi zarówno w Polsce, jak i w innych krajach. Zatem przeprowadzone przeze mnie badania mogą stanowić istotny wkład w rozwój dyscypliny ogrodnictwo.

W wyżej wymienionym zbiorze prac stanowiących moje osiągnięcie naukowe przedstawiłam wyniki badań, których nadrzędnym celem była ocena zawartości wybranych substancji bioaktywnych, jak również potencjału antyoksydacyjnego w różnych gatunkach grzybów uprawnych i dziko rosnących na terenie Polski. Cele cząstkowe obejmowały:

1. porównanie zawartości wybranych związków bioaktywnych (związków fenolowych, kwasów organicznych i ergosterolu) oraz właściwości antyoksydacyjnych w uprawnych i dziko rosnących gatunkach pieczarek (**zał. 4, pkt. I B.1**),
2. ocenę wpływu wzbogacania podłoży w mikroelementy na zawartość związków fenolowych oraz potencjał antyoksydacyjny grzybów uprawnych (**zał. 4, pkt. I B.2, B.3, B.4**).
3. określenie profilu związków fenolowych oraz zawartości ergosterolu, kwasu askorbinowego i makroelementów, jak również właściwości antyoksydacyjnych w różnych gatunkach grzybów dziko rosnących na terenie Polski (**zał. 4, pkt. I B.5**),
4. ocenę wpływu metali i metaloidów zawartych w glebie na zawartość związków fenolowych w owocnikach grzybów dziko rosnących oraz na potencjał antyoksydacyjny (**zał. 4, pkt. I B.6**).

Stosowane symbole:

SM - sucha masa;

TPC (total phenolic content) – całkowita zawartość związków fenolowych;

TFC (total flavonoid content) - całkowita zawartość flawonoidów;

(% RSA) (radical scavanging activity) - zdolność zmiatania (eliminacji) wolnych rodników;

EC₅₀ (ang. efficient concentration) - stężenie, przy którym następuje neutralizacja 50% wolnych rodników;

Porównanie zawartości wybranych związków bioaktywnych (związków fenolowych, kwasów organicznych i ergosterolu) oraz właściwości antyoksydacyjnych w uprawnych i dziko rosnących gatunkach pieczarek (zał. 4, pkt. I B.1)

Gatunki grzybów należące do rodzaju *Agaricus* to zarówno grzyby uprawne jak i dziko rosnące. Celem prezentowanych badań było określenie profilu kwasów fenolowych i kwasów organicznych, zawartości ergosterolu oraz właściwości antyoksydacyjnych w owocnikach różnych gatunków pieczarek. Badaniami objęłam zarówno gatunki uprawne oraz mniej znane gatunki dziko rosnące, tj. 7 ras *Agaricus bisporus* (jedną brązową oraz sześć białych) oraz *Agaricus blazei*, *Agaricus arvensis*, *Agaricus bitorquis*, *Agaricus campestris* i *Agaricus silvaticus* (Tabela 1).

Tabela 1. Wybrane gatunki rodzaju *Agaricus* objęte badaniami

No	Gatunek	Rasa	Pochodzenie
1	<i>A. arvensis</i>	Mycelia M7400	uprawny
2	<i>A. bisporus</i> (brązowa)	Hollander Spawn C9	uprawny
3	<i>A. bisporus</i> (biała)	Sylvan 767	uprawny
4	<i>A. bisporus</i> (biała)	Amycel 2600	uprawny
5	<i>A. bisporus</i> (biała)	Kanmycel 3-1	uprawny
6	<i>A. bisporus</i> (biała)	Italspawn F599	uprawny
7	<i>A. bisporus</i> (biała)	Kanmycel K2	uprawny
8	<i>A. bisporus</i> (biała)	Sylvan A15	uprawny
9	<i>A. bitorquis</i>	-	dziko rosnący
10	<i>A. brasiliensis</i>	-	uprawny
11	<i>A. campestris</i>	-	dziko rosnący
12	<i>A. silvaticus</i>	-	dziko rosnący

Na podstawie wyników analizy UPLC wykazałam występowanie kwasu bursztynowego, cytrynowego, fumarowego, jabłkowego, malonowego, mlekowego, mrówkowego, octowego i szczawiowego. Jednak profil kwasów organicznych był zróżnicowany w wyżej wymienionych gatunkach pieczarek. Jedynie brązowa rasa *A. bisporus*

Hollander Spawn C9 charakteryzowała się obecnością wszystkich kwasów. Dominującymi kwasami organicznymi w badanych gatunkach pieczarek był kwas szczawiowy, mlekowy i bursztynowy. *A. silvaticus*, *A. campestris* i *A. arvensis* należały do gatunków charakteryzujących się największą zawartością kwasów, których suma wynosiła odpowiednio 23566,5; 22985,3 oraz 21540,6 mg/100g DW. Natomiast *A. bitorquius* oraz dwie rasy białe *A. bisporus* (Kanmycel K2 i Sylvan A 15) charakteryzowały się najniższą zawartością kwasów (odpowiednio 6600,5; 6033,1 i 5798,3 mg/100g DW).

W profilu związków fenolowych zidentyfikowałam kwasy fenolowe takie jak: chlorogenowy, galusowy, ferulowy, *p*-hydroksybenzoesowy, kawowy, *p*-kumarowy, syringowy, protokatechowy oraz *trans*-cynamonowy, spośród których tylko kwas galusowy, kawowy oraz ferulowy występowały we wszystkich analizowanych grzybach. Dominującymi natomiast były kwasy: galusowy (5,5-9,2 mg/100g DW), *trans*-cynamonowy (4,6-9,4 mg/100g DW) i chlorogenowy (4,6-6,7 mg/100g DW). W profilu *A. brasiliensis* zidentyfikowałam wszystkie kwasy, a ponadto gatunek ten charakteryzował się najwyższą sumą wykrytych kwasów (33,9 mg/100g DW). Natomiast dwa gatunki dziko rosnące *A. campestris* oraz *A. silvaticus* zawierały najniższą zawartość kwasów fenolowych (odpowiednio 11,3 and 18,2 mg/ 100g DW). Obecność kwasu galusowego, kawowego, *p*-hydroksybenzoesowego, *p*-kumarowego oraz ferulowego potwierdziłam w obu ww. gatunkach, a syringowego i *trans*-cynamonowego w *A. silvaticus*. Profil fenolowy wszystkich ras *A. bisporus* był bardzo zbliżony, nie stwierdziłam jedynie obecności kwasu syringowego.

Całkowita zawartość związków fenolowych (TFC) wynosiła od 132,7 do 1154,7 mg/100g DW, przy czym najwyższą TPC odnotowano dla *A. brasiliensis*, natomiast najniższą dla *A. bisporus* Sylvan A15. Ponadto rasa brązowa *A. bisporus* Hollander Spawn C9 charakteryzowała się wyższą zawartością TP w porównaniu do wszystkich ras pieczarki białej. *A. bisporus* Hollander Spawn C9, *A. bisporus* Kanmycel 3-1, *A. arvensis*, *A. brasiliensis*, *A. bitorquius*, *A. campestris* oraz *A. silvaticus* zawierały TPC na poziomie wyższym niż 600 mg/100g DW, natomiast pozostałe rasy pieczarki białej *A. bisporus* (Sylvan 767, Amycel 2600, Italspawn F599, Kanmycel K2, Sylvan A15) na poziomie niższym niż 600 mg/100g DW.

Zdolność wygaszania wolnych rodników DPPH' dla stężenia ekstraktu wynoszącego 12 mg/ml, wynosiła od 62,7 do 91,3%. Efektywność eliminacji wolnych rodników zależała od gatunku grzyba i malała zgodnie z przedstawioną kolejnością: *A. bitorquius* > *A. arvensis*

> *A. brasiliensis* > *A. bisporus* (rasa brązowa) > *A. campestris* > *A. silvaticus* > *A. bisporus* (rasy białe). Wartość parametru EC₅₀ (stężenia, przy którym następuje neutralizacja 50% wolnych rodników) zawarta była w przedziale od 0,8 do 3,2 mg/ml zależnie od gatunku grzyba, z najniższą wartością dla *A. brasiliensis* oraz *A. arvensis*. Spośród różnych ras *A. bisporus* najlepsze zdolności wychwytywania wolnych rodników charakteryzowały rasę brązową Hollander Spawn C9. Wszystkie rasy białe *A. bisporus* wykazały większe wartości parametru EC₅₀, i mniejszą wartość parametru RSA, tj. zdolności zmiatania wolnych rodników, niż pozostałe gatunki *Agaricus*, co wskazuje na ich mniejszy potencjał antyoksydacyjny. W omawianej pracy potwierdziłam bardzo silną ujemną korelację pomiędzy EC₅₀ a TPC ($r=-0,82$) oraz bardzo silną dodatnią korelację pomiędzy RSA a TPC (całkowita zawartość związków fenolowych) ($r=0,81$).

Poziom ergosterolu w analizowanych gatunkach *Agaricus* wynosił od 1,1 do 45,8 mg/100g DM. *A. silvaticus* i *A. campestris* charakteryzowały się najwyższą zawartością tego sterolu wynoszącą odpowiednio 45,8 i 42,4 mg/100g DM. Pozostałe gatunki zawierały znacznie niższą, nawet kilkukrotnie, jego zawartość. Zawartość ergosterolu była bardzo zróżnicowana zarówno pomiędzy różnymi gatunkami *Agaricus* jak i pomiędzy rasami *A. bisporus*. Uzyskane przeze mnie wyniki sugerują, że zawartość ergosterolu może być determinowana także przez inne czynniki oddziałujące podczas uprawy i przechowywania owocników, takie jak dostęp do światła w czasie wzrostu i po zbiorach oraz temperatura.

Podsumowując, na podstawie otrzymanych wyników moich badań dla różnych gatunków z rodzaju *Agaricus* (uprawnych i dziko rosnących) wnioskuję, że ww. grzyby mogą stanowić potencjalne źródło różnych związków bioaktywnych, w tym związków fenolowych i kwasów organicznych o niskiej masie cząsteczkowej. Najwyższą zawartością kwasów fenolowych oraz całkowitą zawartością związków fenolowych charakteryzował się dziko rosnący gatunek *A. brasiliensis*. Kwas galusowy, kawowy oraz ferulowy były obecne we wszystkich analizowanych gatunkach grzybów. Na ogół dominował kwas galusowy, jak również kwas trans-cynamonowy oraz chlorogenowy. Natomiast spośród analizowanych gatunków pieczarek dwa gatunki dziko rosnące *A. silvaticus* i *A. campestris* oraz jeden gatunek uprawny *A. arvensis* Mycelia M7400 charakteryzowały się istotnie wyższą zawartością kwasów organicznych. Dominującymi kwasami organicznymi występującymi w analizowanych gatunkach grzybów był kwas szczawiowy, kwas mlekowy i bursztynowy. Udowodniona korelacja pomiędzy aktywnością antyoksydacyjną ekstraktów i całkowitą

zawartością związków fenolowych i niektórych kwasów fenolowych, może wskazywać na rolę związków w ochronie przed uszkodzeniami oksydacyjnymi. Daje to możliwość wykorzystania różnych gatunków pieczarek jako żywności funkcjonalnej oraz nutraceutyków.

Ocena wpływu wzbogacania podłoży w mikroelementy na zawartość związków fenolowych oraz potencjał antyoksydacyjny grzybów uprawnych (zał. 4, pkt. I B.2, B.3, B.4).

Wprowadzanie soli niektórych mikroelementów do podłoży uprawnych pozwala na uzyskanie owocników o zwiększonej ich zawartości wynikającej ze zdolności do akumulacji różnych pierwiastków z podłoża, w porównaniu z konwencjonalną uprawą (zał. 4, pkt. I A.31, A.35). Wyniki tych badań stały się dla mnie punktem wyjścia do rozpoczęcia prac związanych z możliwością modyfikacji zawartości niektórych związków bioaktywnych poprzez wprowadzanie do podłoży uprawnych soli wybranych mikroelementów. W związku z powyższym w kolejnym etapie podjęłam badania nad określeniem wpływu wzbogacania podłoży solami nieorganicznymi na syntezę związków fenolowych oraz na właściwości antyoksydacyjne. Podłoża uprawne suplementowane były solami mikroelementów takich jak selen i cynk, których codzienne zapotrzebowanie często jest niewystarczające w diecie konsumenta. Do badań wybrałam popularne wśród konsumentów w Polsce oraz innych krajach, ze względu na walory smakowe oraz właściwości prozdrowotne, gatunki grzybów uprawnych oraz leczniczych: *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus eryngii*, *Pholiota nameko*, (zał. 4, pkt. I B.2, pkt. I B.4) *Hericium erinaceus*, *Ganoderma lucidum* i *Agrocybe aegerita* (zał. 4, pkt. I B.3).

Do podłoży uprawnych *P. ostreatus*, *P. eryngii* oraz *P. nameko* (zał. 4, pkt. I B.2) dodawane były sole selenu, tj. seleninu sodu (Na_2SeO_3) i selenianu sodu (Na_2SeO_4) o stężeniu od 0; 0,5; 1; 2,5; 5 mmol/l. Wyniki moich badań wykazały zahamowanie wzrostu owocników wszystkich analizowanych gatunków rosnących na podłożach wzbogaconych w selen (Se). Najbardziej wrażliwym gatunkiem okazał się *P. nameko*, ponieważ tworzenie owocników odnotowałam jedynie przy dodatku Se na poziomie 0-0,5 mmol/l. Pozostałe gatunki formowały owocniki w zakresie 0-1 i 0-5 mmol/l (odpowiednio *P. ostreatus* i *P. eryngii*). Podłoża uprawne trzech gatunków grzybów powszechnie uznawane za tzw. „grzyby lecznicze”: *Hericium erinaceus*, *Ganoderma lucidum* oraz *Agrocybe aegerita* zostały wzbogacone w Se (Na_2SeO_3 oraz Na_2SeO_4) o stężeniu od 0 do 0,8 mmol/l (zał. 4, pkt. I B.3).

Najwyższa dawka tego mikroelementu powodowała zahamowanie wzrostu owocników *H. erinaceus* oraz *A. aegerita*. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdziłam, że zastosowana dawka selenu mogła być toksyczna dla ww. gatunków.

Owocniki uzyskane w uprawie na podłożach suplementowanych zawierały wielokrotnie wyższą zawartość tego mikroelementu w porównaniu z owocnikami niesuplementowanymi. Dla *P. ostreatus* był to wzrost prawie dwudziestopięciokrotny (**zał. 4, pkt. I B.2**), a *G. lucidum* prawie dziewięciokrotny (**zał. 4, pkt. I B.3**). Biorąc pod uwagę istotną rolę Se w metabolizmie człowieka, między innymi jako komponentu wielu enzymów i białek oraz dzienne zapotrzebowanie sięgające nawet do 70 µg, przy jednocześnie niskim spożyciu tego pierwiastka, wzbogacanie grzybów uprawnych w ten mikroelement wydaje się być korzystną dla zdrowia człowieka modyfikacją uprawy. Suplementacja podłoży w selen powinna jednak uwzględniać dualistyczny charakter tego pierwiastka, tak by nie przekroczyć w owocnikach przeznaczonych do konsumpcji dziennej dawki tego mikroelementu. Zgodnie z wytycznymi IOM (2000) bezpieczna dawka tego pierwiastka dla zdrowego człowieka wynosi do 200 µg na dzień, a tolerowalna do 400 µg na dzień.

Kolejnym etapem moich badań było określenie wpływu suplementacji podłoża na zawartość związków fenolowych. Wzbogacanie podłoży w Se pozytywnie wpłynęło na całkowitą zawartość związków fenolowych (TPC) i całkowitą zawartość flawonoidów (TFC). Uzyskane, w tego typu uprawie, owocniki charakteryzowały się wzrostem zawartości tych związków wraz z wyższymi dawkami Se (**zał. 4, pkt. I B.2, B.3**). Dla *P. ostreatus* i *P. nameko* zwiększoną zawartość obu grup metabolitów potwierdziłam już przy aplikacji Se o stężeniu 0,5 mmol/l. Dla *P. eryngii* istotne zmiany stwierdziłam odpowiednio dla TPC i TFC od 2,5 i 1 mmol/l Se (Na_2SeO_3 oraz Na_2SeO_4) w podłożu. Ostatecznie uzyskałam zwiększenie zawartości związków fenolowych z 6,69 do 7,99 mg/g ekstraktu dla *P. ostreatus*; z 4,44 do 7,18 mg/g ekstraktu dla *P. eryngii* oraz z 8,69 do 12,5 mg/g ekstraktu dla *P. nameko*. Całkowita zawartość flawonoidów wzrosła odpowiednio z 4,9 do 5,67 mg/g ekstraktu, z 3,27 do 6,16 mg/g ekstraktu i 6,9 do 9,24 mg/g ekstraktu (**zał. 4, pkt. I B.2**). W owocnikach grzybów leczniczych wskaźniki TPC i TFC istotnie wzrastały już przy zaaplikowaniu selenu w najniższych stężeniach.

Profil związków fenolowych owocników *P. ostreatus*, *P. eryngii*, *P. nameko* charakteryzował się obecnością kwasów: ferulowego, *p*-hydroksybenzoesowego, *p*-kumarowego, mirycetyny, a także kwasu galusowego i *trans*-cynamonowego dla *P. nameko*

(zał. 4, pkt. I B.2). Suplementowanie podłoża solami selenu, już przy najniższym stężeniu, powodowało istotny wzrost zawartości kwasu ferulowego i *p*-kumarowego oraz mirycetyny dla *P. ostreatus*; kwasu *p*-kumarowego i mirycetyny dla *P. eryngii* oraz kwasu *p*-hydroksybenzoesowego, *p*-kumarowego, *trans*-cynamonowego oraz mirycetyny dla *P. nameko*. Aplikacja wyższych dawek selenu do podłoża skutkowałą dalszym wzrostem wszystkich zidentyfikowanych metabolitów. Ze względu na brak występowania owocników *P. nameko* przy wyższych stężeniach Se w podłożu nie mogłam stwierdzić wpływu tego mikroelementu na zawartość kwasu galusowego i ferulowego. Wszystkie omawiane (niesuplementowane) grzyby lecznicze zawierały w profilu fenolowym następujące związki: kwas *p*-hydroksybenzoesowy, chlorogenowy, kawowy, wanilinowy, synapowy, *trans*-cynamonowy, rutynę, kwercetynę oraz kemferol (zał. 4, pkt. I B.2, B.3). Dla *H. erinaceus* i *A. aegerita* potwierdziłam także obecność kwasów: protokatechowego, siringowego (brak dla *A. aegerita*), *p*-kumarowego oraz ferulowego (brak dla *A. aegerita*). Obecności kwasu protokatechowego nie potwierdziłam w profilu *G. lucidum*. Zastosowanie w uprawie podłoża wzbogaconych selenem wpłynęło na wzrost zawartości poszczególnych związków fenolowych, ale również modulowało profil tych związków. W suplementowanych owocnikach *G. lucidum* stwierdziłam występowanie również kwasu protokatechowego, siringowego, *p*-kumarowego i ferulowego, a w *A. aegerita* kwasu ferulowego. Generalnie zastosowanie suplementacji powodowało istotny wzrost zawartości poszczególnych związków fenolowych. Jednak zastosowanie Se w stężeniu 0,1-0,2 mmol/l nie miało wpływu na zawartość niektórych z nich. Z przeprowadzonych przeze mnie badań wynika, że istnieją istotne korelacje pomiędzy zawartością Se w owocnikach a całkowitą zawartością związków fenolowych i całkowitą zawartością flawonoidów, poziomem kwasu *p*-kumarowego (*P. ostreatus*) ($0,789 \leq r \leq 0,987$) oraz poszczególnymi związkami fenolowymi zidentyfikowanymi w owocnikach grzybów leczniczych (z wyjątkiem kwasu siringowego i ferulowego dla *H. erinaceus*, siringowego i *p*-hydroksybenzoesowego dla *G. lucidum*, oraz wanilinowego, kawowego i sinapinowego dla *A. aegerita*) (zał. 4, pkt. I B.2, B.3).

Potencjał antyoksydacyjny ekstraktów grzybowych wyznaczyłam poprzez zdolność do wygaszania rodników DPPH[·] oraz ABTS⁺⁺ (tylko dla *P. ostreatus*, *P. eryngii* oraz *P. nameko*). Największą wartość RSA dla owocników niesuplementowanych, wskazującą na zdolność zmiatania wolnych rodników, uzyskałam w przypadku zastosowania stężenia ekstraktu 5,2 mg/l dla *P. nameko* (odpowiednio 47,1 i 54,2%), a najniższą dla *P. eryngii* (37,4 i 46,9%). W owocnikach *P. ostreatus*, *P. eryngii* oraz *P. nameko*

suplementowanych Se potwierdziłam istotny (kilkuprocentowy) wzrost zdolności zmiatania wolnych rodników Ponadto potwierdziłam wysoce istotne korelacje pomiędzy zawartością Se w owocnikach *P. ostreatus* a RSA ($0,957 \leq r \leq 0,958$) oraz TPC, TFC a RSA ($0,897 \leq r \leq 0,972$). Zdolność do zmiatania rodnika DPPH[•] dla niewzbogacanych ww. gatunków grzybów leczniczych wynosiła przy stężeniu ekstraktu 5mg/l 60,93% dla *G. lucidum*, 68,99% dla *H. erinaceus* oraz 74,16% *A. aegerit* (zał. 4, pkt. I B.3). Podobnie jak dla wcześniej omawianych gatunków uprawnych i w tym przypadku Se istotnie wpłynął na poprawę właściwości antyoksydacyjnych, co znalazło swoje odzwierciedlenie we wzroście RSA dla stężenia Se 0,6 mM do 84,63% dla *H. erinaceus*, 86,99% dla *G. lucidum* oraz 93,56% dla *A. aegerita* oraz istotnej redukcji wielkości EC₅₀ (stężenia, przy którym następuje neutralizacja 50% wolnych rodników) nawet do 0,38 mg/ml dla *G. lucidum*. Ujemne korelacje stwierdziłam pomiędzy EC₅₀ a stężeniem Se, oraz EC₅₀ a zawartością związków fenolowych, z wyjątkiem kwasu *p*-hydroksybenzoowego dla *H. erinaceus*, ferulowego dla *G. lucidum*, wanilinowego, kawowego i trans-cynamonowego dla *A. aegerita*.

Kolejnym etapem moich badań podjętym w ramach realizacji powyższego zadania było określenie wpływu jednoczesnej suplementacji podłoża selenem (Na₂SeO₃ oraz Na₂SeO₄) i cynkiem (Zn(NO₃)₂ × 6H₂O) o stężeniu 1,5 mmol/l na zawartość związków fenolowych i flawonoidów oraz właściwości antyoksydacyjne w owocnikach *P. ostreatus* oraz *P. eryngii* (zał. 4, pkt. I B.4). Wyniki tych badań wskazują, że jednoczesna aplikacja Se i Zn do podłoża w sposób istotny podwyższała poziom obu pierwiastków w owocnikach. Dla *P. ostreatus* był to wzrost z 2,73 do 109,74 mg/kg DW oraz z 26,00 do 32,93, a dla *P. eryngii* z 2,07 do 54,39 i 22,98 do 85,95 mg/kg DW odpowiednio dla Se i Zn. Jednoczesna suplementacja Se i Zn bardzo pozytywnie wpłynęła na zawartość w owocnikach obu mikroelementów, a w szczególności na zawartość Se. Na uzyskane przeze mnie wyniki obok takich czynników jak odczyn roztworu (pH), czy też skład substratu, wpływ mogły mieć interakcje pomiędzy dodawanymi pierwiastkami. Analiza zawartości TPC z jednoczesnym oznaczeniem zawartości kwasu askorbinowego oraz TFC wskazuje na wyższą zawartość tych związków dla *P. ostreatus* niż dla *P. eryngii*. Wzbogacanie podłoża ww. pierwiastkami skutkowało istotnym wzrostem analizowanych związków. Dla przykładu dla *P. ostratus* całkowita zawartość związków fenolowych wzrastała od 9,64 do 13,38 mg/g ekstraktu, a flawonoidów od 2,11 do 2,72 mg/g ekstraktu. Dla *P. eryngii* stwierdziłam, że całkowita zawartość związków fenolowych w owocnikach niesuplementowanych wynosiła 7,91 a flawonoidów 1,26 mg/g ekstraktu, natomiast w owocnikach suplementowanych

odpowiednio 10,86 oraz 1,89 mg/g ekstraktu. Jednoczesne oznaczenie kwasu askorbinowego wskazuje na istotny wzrost jego zawartości w owocnikach suplementowanych oraz wyższą zawartość dla *P. eryngii* zarówno w owocnikach niesuplementowanych oraz suplementowanych.

W profilu fenolowym obu gatunków zidentyfikowałam takie kwasy jak: 4-hydroksybenzoesowy, ferulowy, *p*-kumarowy, protokatechowy, *t*-cynamonowy, wanilinowy oraz naringeninę. Natomiast występowanie kwasu 2,5 dihydroksybenzoesowego odnotowałam jedynie w owocnikach *P. eryngii*. Suplementacja podłoży znajdowała swoje odzwierciedlenie we wzroście zawartości wszystkich wyżej wymienionych metabolitów.

Wykazałam również, że zdolność wychwytywania wolnych rodników DPPH' zarówno w owocnikach niesuplementowanych oraz suplementowanych wzrastała wraz ze stężeniem ekstraktu. Zdolność zmiatania wolnych rodników (RSA) dla ekstraktów uzyskanych z niesuplementowanych owocników *P. eryngii* osiągała 62,1% a dla *P. ostreatus* 76,7%. Suplementacja podłoży korzystnie wpłynęła na wzrost RSA, zatem wynosiła do 87,8% i 91,4%, odpowiednio. Wartości EC₅₀ malały dla obu gatunków przy zastosowaniu suplementacji. Wysoce istotne korelacje potwierdziłam pomiędzy zawartością Se i Zn a zawartością związków fenolowych (całkowitą oraz kwasami i flawonoidami, za wyjątkiem kwasu ferulowego dla *P. ostreatus* i kwasu wanilinowego dla *P. eryngii*) ($0,873 \leq r \leq 0,995$) oraz EC₅₀ ($-0,893 \leq r \leq -0,999$).

Podsumowując niniejsze badania wykazałam, że ww. gatunki grzybów charakteryzowały się obecnością szerokiego spektrum związków fenolowych w owocnikach. Dominującym związkiem w owocnikach *P. osteratu* i *P. eryngii* był kwas ferulowy, w owocnikach *P. nameco* myrcetyna, w owocnikach *H. erinaceus* kwas kawowy, w owocnikach *A. aegerita* kemferol, a w *G. lucidum* kwas synapinowy i kemferol. Owocniki analizowanych grzybów uzyskane w uprawie na podłożach wzbogacanych selenem i cynkiem charakteryzowały się istotnie wyższą zawartością związków fenolowych (całkowitą oraz poszczególnych metabolitów), ww. mikroelementów oraz większą zdolnością wychwytywania wolnych rodników w stosunku do owocników niesuplementowanych. Zatem moje badania wykazały, że zastosowana modyfikacja uprawy daje możliwość modulowania składu chemicznego jak i polepszenie właściwości antyoksydacyjnych grzybów. Istotne korelacje pomiędzy zawartością selenu i cynku w owocnikach a zawartością omawianych związków wskazują na stymulację syntezy związków fenolowych przez te pierwiastki.

Określenie profilu związków fenolowych oraz zawartości ergosterolu, kwasu askorbinowego i makroelementów, jak również właściwości antyoksydacyjnych w różnych gatunkach grzybów dziko rosnących na terenie Polski (zał. 4, pkt. I B.5).

W celu realizacji powyższego zadania badawczego wyselekcjonowałam 17 gatunków grzybów jadalnych, dziko rosnących w Polsce (Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 17 maja 2011 r. nr 115, poz. 672, Wojewoda 2003), w tym 11 gatunków grzybów rosnących na glebie oraz 6 gatunków nadrzewnych (Tabela 2).

Tabela 2. Wykaz wybranych gatunków grzybów dziko rosnących na glebie objętych analizami.

Gatunek	Dodatkowe informacje	
GRZYBY ROSNĄCE NA GLEBIE		
Pieczarka dwuzarodnikowa <i>Agaricus bisporus</i> (J.E. Lange) Imbach	jadalne tylko młode owocniki	
Czasznica olbrzymia <i>Calvatia gigantea</i> (Batsch) Lloyd		
Pieprznik jadalny <i>Cantharellus cibarius</i> Fr.		
Koźlarz babka <i>Leccinum scabrum</i> (Bull.) Gray		
Gąsówka rudawa <i>Lepista gilva</i> (Pers.: Fr) Roze		
Kępkowiec ciemnoszary <i>Lyophyllum fumosum</i> (Pers.) P.D. Orton		
Czubajka kania <i>Macrolepiota procera</i> (Scop.) Singer		
Smardz jadalny <i>Morchella esculenta</i> (L.) Pers		częściowo chroniony*
Siedzuń sosnowy <i>Sparassis crispa</i> (Wulf.) Fr.		
Maślak sitarz <i>Suillus bovinus</i> (L.) O. Kuntze		
Gąska zielona <i>Tricholoma equestre</i> (L.) P. Kumm.		

Tabela 3. Wykaz wybranych gatunków grzybów dziko rosnących na drzewach objętych analizami.

Gatunek	Dodatkowe informacje
GRZYBY ROSNĄCE NA DRZEWACH	
Opieńka miodowa <i>Armillaria mellea</i> (Vahl) P. Kumm.	Surowe owocniki mogą być trujące
Uszak bzowy <i>Auricularia auricula-judae</i> (Bull.) Quél.	
Ozorek dębowy <i>Fistulina hepatica</i> (Schaeff.) With.	częściowo chroniony*
Żawglica listkowata <i>Grifola frondosa</i> (Dicks.) Gray	częściowo chroniony*
Żółciak siarkowy <i>Laetiporus sulphureus</i> (Bull.) Murrill	jadalne tylko młode owocniki
Żagiew łuskowata <i>Polyporus squamosus</i> (Huds.) Fr.	jadalne tylko młode owocniki

*Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 17 maja 2011 r. w sprawie grzybów dopuszczonych do obrotu lub produkcji przetworów grzybowych, środków spożywczych zawierających grzyby oraz uprawnień klasyfikatora grzybów i grzyboznawcy (Dz.U. 2011 nr 115 poz. 672)

Stan wiedzy dotyczący zawartości substancji aktywnych biologicznie wielu wyżej wymienionych gatunków grzybów jest pobieżny, a podjęte przeze mnie badania istotnie tę wiedzę uzupełniają i wzbogacają. Profil związków fenolowych uzyskanych metodą UPLC, był zróżnicowany i zależny od gatunku grzyba. W ekstraktach stwierdziłam obecność kwasów fenolowych (pochodne zarówno kwasu benzoowego jak i cynamonowego) oraz flawonoidów. Zidentyfikowałam kwasy takie jak: chlorogenowy, ferulowy, galusowy, 2,5-dihydroksybenzoowy, 4-hydroksybenzoowy, kawowy, *p*-kumarowy, protokatechowy, salicylowy, syringowy, *trans*-cynamonowy oraz wanilinowy. W grupie flawonoidów (flawonole, flawony, flawonony) zidentyfikowałam apigeninę, katechinę, kamferol, luteolinę, naringinę, kwercetynę, rutynę oraz witeksynę. Stwierdziłam, że grzyby rosnące na glebie wykazały większą całkowitą zawartość oznaczonych związków fenolowych (sumę) dla *L. gilva* (38,64 µg/g SM) oraz *L. scabrum* (22,90 µg/g SM). Większość analizowanych gatunków charakteryzowała się zawartością sumy zidentyfikowanych związków fenolowych

w zakresie od ~2,00 do ~10 µg/g SM, tylko *A. mellea*, *A. auricular-judae*, *C. cibarius*, *G. frondosa* i *S. crispa* zawierały mniej niż 2 µg/g SM. W owocnikach *L. gilva* stwierdziłam obecność wszystkich wyżej wymienionych związków fenolowych, z wyjątkiem kwasu 4-hydroksybenzoesowego. Równie szerokie spektrum związków fenolowych potwierdziłam dla *L. scabrum*, w owocnikach którego zidentyfikowano kwasy takie jak: 2,5-dihydroksobenzoesowy, 4-hydroksobenzoesowy, kawowy, chlorogenowy, ferulowy, protokatechowy, *p*-kumarowy salicylowy, *trans*-cynamonowy i wanilinowy, oraz flawonoidy: apigeninę, katechinę, kamferol, oraz rutynę. Profil fenolowy niektórych owocników spośród analizowanych grzybów był bardzo ubogi. Na przykład w owocnikach *C. cibarius* i *A. mellea* zidentyfikowałam tylko pojedyncze związki fenolowe takie jak: kwas *trans*-cynamonowy i katechina. Z kolei w owocnikach *L. fumosum* potwierdziłam jedynie obecność kwasu protokatechowego i *trans*-cynamonowego, natomiast u *C. gigantea* tylko kwasu galusowego, *trans*-cynamonowego oraz katechiny. *C. cibarius*, *L. fumosum* i *P. squamosus* były gatunkami, w których nie zidentyfikowałam flawonoidów. Kwas chlorogenowy zidentyfikowałam w owocnikach *L. gilva*, *L. scabrum* oraz *S. bovinus* a jego zawartość wynosiła od 0,11 do 9,78 µg/g SM. Zawartość kwasu ferulowego, którego obecność potwierdziłam w owocnikach *A. bisporus*, *G. frondosa*, *L. scabrum*, i *L. gilva*, wynosiła od 0,12 do 0,32 µg/g SM. Kwas galusowy, znany jako silny antyoksydant, występował w analizowanych gatunkach z wyjątkiem *A. mellea*, *C. cibarius*, *F. hepatica*, *G. frondosa*, *L. scabrum* oraz *L. fumosum* a jego poziom wynosił od 0,35 (*S. crispa*) do 7,60 µg/g SM (*L. gilva*). Kwas 2,5-dihydroksybenzoesowy oznaczyłam w owocnikach *S. bovinus*, *F. hepatica*, *L. scabrum*, *L. sulphureus*, *T. equestre* i *L. gilva*, na poziomie od 0,27 do 2,27 µg/g SM. Wykazałam, że zawartość kwasu 4-hydroksybenzoesowego wynosiła od 0,10 (*S. crispa*) do 1,08 µg/g SM (*L. sulphureus*). Obecność tego kwasu potwierdziłam również w owocnikach *A. auricular-judae*, *F. hepatica*, *G. frondosa*, *L. scabrum*, *P. squamosus*, *S. bovinus* i *T. equestre*. W profilu fenolowym *M. esculenta*, *A. bisporus*, *L. scabrum*, *L. sulphureus*, *T. equestre* oraz *L. gilva* wykazałam obecność kwasu kawowego na poziomie od 0,11 do 1,05 µg/g SM. Zawartość kwasu *p*-kumarowego była bardzo niska i związek ten był oznaczony tylko dla dwóch gatunków, tj. *L. gilva* (0,14 µg/g SM) i *P. squamosus* (0,19 µg/g SM). Kwas protokatechowy zidentyfikowałam w owocnikach *A. bisporus*, *L. gilva*, *L. fumosum*, *L. scabrum*, *L. sulphureus*, *M. esculenta*, *M. procera*, jak i w owocnikach *P. squamosus* w ilości od 0,35 do 7,21 µg/g SM. Z kolei kwas salicylowy oznaczyłam w *A. bisporus*, *F. hepatica*, *G. frondosa*, *L. gilva*, *L. scabrum*, *M. esculenta*, *M. procera*,

S. bovinus oraz *T. equestre*. Stwierdziłam, że zawartość kwasu syringowego wynosiła 0,11-3,25 µg/g SM i związek ten występował w owocnikach *M. procera*, *A. auricular-judae*, *A. bisporus*, *L. scabrum*, *M. esculenta*, *P. squamosus*, *T. equestre* oraz *L. gilva*. Kwas trans-cynamonowy oznaczyłam w owocnikach: *M. procera*, *C. cibarius*, *C. gigantea*, *L. fumosum*, *L. gilva*, *P. squamosus*, *A. auricula-judae*, *G. frondosa*, *F. hepatica* i *L. scabrum*, na poziomie 0,10 i 12,57 µg/g SM. Poziom kwasu wanilinowego wynosił w ilości 0,18-4,49 µg/g SM w *A. bisporus*, *F. hepatica*, *L. gilva*, *L. scabrum*, *L. sulphureus*, *M. esculenta*, *S. bovinus*, *S. crispa* oraz *T. equestre*. Stwierdziłam także obecność apigeniny i kamferolu, ale jedynie w owocnikach *L. gilva* i *L. scabrum*. Katechinę oznaczyłam na poziomie 0,13 do 3,95 µg/g SM, w owocnikach grzybów z wyjątkiem pięciu gatunków takich jak: *A. auricular-judae*, *C. cibarius*, *L. fumosum*, *P. squamosus* oraz *S. crispa*. Luteolina była obecna tylko w *L. gilva* (0,24 µg/g SM) oraz *S. crispa* (0,62 µg/g SM), natomiast naringenina w *G. frondosa* (0,11 µg/g SM) i *L. gilva* (0,36 µg/g SM). Zawartość kwercetyny wynosiła od 0,11 do 0,31 µg/g SM dla *L. gilva*, *A. bisporus*, *F. hepatica* oraz *T. equestre*. Rutinę zidentyfikowałam w owocnikach *L. gilva*, *A. bisporus*, *F. hepatica*, *L. scabrum* oraz *A. auricula-judae* (0,11-0,47 µg/g SM), a witeksynę w *S. crispa*, *A. bisporus*, *F. hepatica*, *M. esculenta* i *L. gilva*, w ilości 0,17 to 1,07 µg/g SM.

Kolejny etap moich analiz obejmował oznaczenie całkowitej zawartości fenoli (TPC) i flawonoidów (TFC). Najwyższą i najniższą TPC stwierdziłam u gatunków rosnących na glebie, tj. w *L. scabrum* (9,24 mg/g ekstraktu) i *C. gigantea* (3,34 mg/g ekstraktu). U większości analizowanych gatunków TPC kształtowała się na poziomie od ~4,2 do ~7,5 mg/g ekstraktu. Przeliczając TPC na mg/g SM wartość ta nie przekroczyła 1 mg/g z wyjątkiem *L. scabrum* (1,54 mg/g SM). TFC wynosiła od 0,21 (*C. gigantea*) do 0,77 mg/g ekstraktu dla *L. scabrum*.

W celu określenia potencjału antyoksydacyjnego ekstraktów zastosowałam rutynową metodę, mierzącą ich zdolność do zmiatania rodnika DPPH[•] (% RSA). Wykazałam, że wartość ta wzrastała wraz ze wzrostem stężenia ekstraktu. Ponadto większość z analizowanych gatunków rosnących na glebie wykazywała większą zdolność eliminacji wolnych rodników w porównaniu z gatunkami nadrzewnymi, dla których RSA nie przekroczyło 68%. W przypadku najwyższego stężenia ekstraktu (10 mg/ml) wartość RSA wynosiła od 60% dla gatunku *C. gigantea* (najniższa wartość spośród wszystkich gatunków) do 87% dla gatunku *L. scabrum*. Wartość EC₅₀ (stężenie, przy którym następuje neutralizacja 50% wolnych rodników), która jest odwrotnie proporcjonalna do efektywności

przeciwutleniacza (potencjału antyoksydacyjnego), wynosiła od 1,35 mg/ml dla *L. gilva* do 5,50 mg/ml dla *F. hepatica* i była skorelowana z całkowitą zawartością związków fenolowych i flawonoidów (odpowiednio $r=-0,608$, $r=-0,599$, $P\leq 0,05$). Wyniki moich badań wskazują, że właściwości antyoksydacyjne grzybów dziko rosnących związane są z zawartością związków fenolowych, jednak wartości współczynnika korelacji sugerują również wpływ antagonistyczny jak i synergistyczny innych metabolitów na właściwości antyoksydacyjne.

Zawartość ergosterolu, który jest najważniejszym steroidem syntezowanym przez grzyby, w gatunkach dziko rosnących na glebie i na drzewach była bardzo zróżnicowana. Większość analizowanych gatunków charakteryzowała się niewielką zawartością ergosterolu, którego poziom nie przekraczał 0,250 mg/g SM. Najwyższą zawartość tego związku stwierdziłam dla *L. sulphureus* (0,540 mg/g SM), a najniższą dla *S. crispa* i *C. cibarius* (odpowiednio 0,007 oraz 0,017 mg/g SM). Niższa zawartość sterolu w porównaniu do innych badań mogła wynikać z wysokiej wrażliwości tego metabolitu na czynniki takie jak światło i temperaturę, które powodują przekształcanie tego związku poprzez kilka produktów pośrednich (previtamina D₂, tachysterol i lumisterol), do witaminy D₂ lub nadtlenku (Sapozhnikova et al. 2014, Villaraes et al. 2014).

Wykazałam również, że zawartość makroelementów (Ca, K, Mg oraz Na) była zróżnicowana w zależności od gatunku grzyba. Średnia zawartość Ca, Mg oraz Na w gatunkach nadrzewnych wynosiła odpowiednio 315, 597 oraz 130 mg/kg SM i była wyższa niż u gatunków rosnących na glebach, w których stwierdziłam odpowiednio 246, 531 oraz 114 mg/kg SM Ca, Mg i Na. Średnia zawartość K była wyższa u gatunków rosnących na glebie i wynosiła ~ 15 600 mg/kg SM, natomiast u gatunków nadrzewnych osiągała wartość ~ 12 400 mg/kg SM). Warto podkreślić, że badane gatunki grzybów były znacząco zróżnicowane pod względem zawartości makroelementów (w obrębie jednego gatunku), co potwierdziły wysokie wartości odchylenia standardowego obliczone dla średniej zawartości makroelementów. Najwyższą zawartość Ca w poszczególnych grupach grzybów stwierdziłam dla *M. esculenta* (825 mg/kg SM) oraz *A. auricula-judae* (612 mg/kg SM). Najwyższą zawartość K w grzybach rosnących na glebach potwierdziłam dla *C. cibarius* (~25060 mg/kg SM), a w grzybach nadrzewnych dla *F. hepatica* (~20420 mg/kg SM). Najwyższą zawartość Mg dla grzybów rosnących na glebie stwierdziłam dla *L. fumosum* (~787 mg/kg SM), a dla grzybów nadrzewnych dla *A. auricular-judae* (~793 mg/kg SM). Zawartość Na była bardzo zróżnicowana w obu grupach, a najwyższą zawartość tego

makroelementu stwierdziłam w *T. equestre* (grzyby rosnące na glebie) oraz *A. mellea* (grzyby nadrzewne) (653 i 447 mg/kg SM). Otrzymane wyniki moich badań wskazują, że konsumpcja grzybów może stanowić dodatkowe źródło makroelementów, szczególnie potasu, niezbędnych w metabolizmie człowieka.

Przeprowadzone przeze mnie badania wykazały zróżnicowaną zawartość kwasu askorbinowego w owocnikach, zwłaszcza dla grzybów rosnących na glebie, poziom kwasu wahał się od 31,16 dla *L. gilva* do 108,11 mg/kg SM dla *C. gigantea*. Jednocześnie wyżej wymienione wartości odpowiadały najniższej i najwyższej zawartości kwasu askorbinowego spośród wszystkich analizowanych gatunków. Zawartość tego składnika w gatunkach nadrzewnych nie była w dużym stopniu zróżnicowana i wynosiła od 32,33 dla *F. hepatica* do 41,22 *P. squamosus* mg/kg SM.

Na podstawie przedstawionych przeze mnie wyników stwierdziłam, że występujące w Polsce gatunki grzybów jadalnych cechują się zróżnicowaną zawartością makroelementów, związków fenolowych, kwasu askorbinowego oraz ergosterolu. Spośród analizowanych gatunków grzybów rosnących na glebie oraz gatunków nadrzewnych *L. scabrum* (koźlarz babka) wyróżniał się najwyższą całkowitą zawartością związków fenolowych i zdolnością wychwytywania wolnych rodników oraz wysoką zawartością zidentyfikowanych związków fenolowych. Natomiast najbardziej zróżnicowany profil fenolowy był charakterystyczny dla *L. gilva*. Najwyższą zawartość kwasu askorbinowego potwierdziłam dla *C. gigantea*.

Ocena wpływu metali i metaloidów zawartych w glebie na zawartość związków fenolowych w owocnikach grzybów dziko rosnących oraz na potencjał antyoksydacyjny (zał. 4, pkt. I B.6).

Badania dotyczące wpływu obecności metali i metaloidów w glebie na zawartość związków fenolowych w owocnikach przeprowadziłam na gatunku *Imleria badia*, który jest jednym z najbardziej cenionych grzybów jadalnych występujących w Europie i Ameryce Północnej. Ponadto gatunek ten charakteryzuje się wysoką zdolnością do efektywnej akumulacji metali ciężkich (Malinowska i in. 2004), która znacząco obniża jego wartość konsumpcyjną.

Próbki owocników i gleby zostały zebrane z czterech różnych obszarów na terenie Polski (po dwie z terenu niezanieczyszczonego i zanieczyszczonego). Dwa punkty poboru

prób z terenów niezanieczyszczonych znajdowały się w Wielkopolsce, natomiast punkty poboru prób z terenów zanieczyszczonych znajdowały się na Śląsku.

Na terenie Śląska odnotowałam istotnie wyższą zawartość niektórych metali i metaloidów (As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, Zn) w porównaniu z Wielkopolską. Jednak występowanie owocników *I. badia* stwierdziłam we wszystkich wyznaczonych punktach poboru prób. Wskazuje to na relatywnie dużą tolerancję *I. badia* na zanieczyszczenie gleby, w tym stężenie As, Cd, Hg oraz Pb przekraczające odpowiednio 15; 2,9; 0,4 i 77 mg/kg SM. Różnice w zawartości metali i metaloidów w glebie miały swoje odzwierciedlenie w zawartości tych pierwiastków w owocnikach. Średnia zawartość ww. pierwiastków w owocnikach *I. badia* zebranych na terenie zanieczyszczonym była kilkakrotnie wyższa niż z terenu niezanieczyszczonego; As – 7,5; Cd - 3,2; Co - 2,0; Cr – 8,0; Cu - 2,7; Fe – 2,4; Hg – 2,9; Mn – 6,8; Ni – 6,0; Pb – 4,2; Se – 34,8 i Zn – 1,6 razy.

Kolejnym etapem moich badań było oszacowanie wpływu obecności wyżej wymienionych pierwiastków w glebie na zawartość związków fenolowych w zebranych owocnikach oraz na potencjał antyoksydacyjny ekstraktów. Całkowita zawartość związków fenolowych była zróżnicowana i wynosiła od 7.61 do 9.57 mg/g ekstraktu. Wyższą zawartość TPC stwierdziłam na terenie zanieczyszczonym w porównaniu z jedną lokalizacją na terenie niezanieczyszczonym. Dodatkowo potwierdziłam istotne korelacje pomiędzy TPC a zawartością As, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni i Zn w glebie lub/i w owocnikach ($0,579 \leq r \leq 0,767$). Wyniki te wskazują, że obecność metali ciężkich i metaloidów w glebie oraz ich akumulacja w owocnikach wywiera istotny wpływ na zawartość i syntezę związków fenolowych w owocnikach. Związki fenolowe uznawane są bowiem za silne antyoksydanty, których wzmożoną syntezę można zaobserwować pod wpływem różnych czynników stresowych, w tym podwyższonego stężenia metali w glebie. Całkowita zawartość flawonoidów w owocnikach zebranych we wszystkich lokalizacjach była zbliżona i wynosiła 0,44-0,52 mg/g ekstraktu. Niska zawartość flawonoidów wskazuje, że grzyby nie stanowią znaczącego źródła tych substancji. Nie zaobserwowałam istotnych różnic w zawartości tych substancji pomiędzy różnymi lokalizacjami. Spośród 21 związków fenolowych zidentyfikowałam jedynie kwas protokatechowy, kawowy i kwercetynę. Zawartość kwasu protokatechowego wynosiła od 1,16 do 1,66 mg/g SM, kwasu kawowego od 1,15 do 1,28 mg/g SM, a kwercetyny zaledwie 0,37-0,41 mg/g SM. Nie stwierdziłam istotnych różnic pomiędzy zawartością oznaczonych metabolitów w owocnikach pobieranych ze wszystkich analizowanych lokalizacji.

Zdolność ekstraktu do wygaszania wolnych rodników DPPH[•] wzrastała wraz ze wzrostem stężenia ekstraktu we wszystkich lokalizacjach. Dla terenu niezanieczyszczonego RSA wynosiła 70-76%, a dla terenu zanieczyszczonego 65-68% (dla stężenia ekstraktu wynoszącego 15 mg/ml). Wartości EC₅₀ wynosiły odpowiednio 5,27-5,38 i 6,78-6,91 mg/ml i były wysoce skorelowane z zawartością wszystkich wyżej wymienionych metali i metaloidów zarówno w glebie jak i w owocnikach ($0,817 \leq r \leq 0,982$).

Podsumowując powyższe wyniki uzyskane dla *I. badia*, wnioskuję, że gatunek ten jest zdolny do dużej akumulacji różnych pierwiastków, w tym toksycznych metali i metaloidów (As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Ni, Pb, Se, Zn). Ma to wpływ na obniżenie jego wartości konsumpcyjnej. Fakt ten w konsekwencji mógł mieć istotny wpływ na całkowitą zawartość związków fenolowych oraz potencjał antyoksydacyjny grzybów rosnących na terenie zanieczyszczonym.

PODSUMOWANIE

Na podstawie przedstawionych przeze mnie wyników badań, opublikowanych w sześciu publikacjach stanowiących monotematyczny cykl będący podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego, sformułowałam następujące wnioski, które stanowią główne osiągnięcia mojej pracy:

- owocniki grzybów uprawnych oraz dziko rosnących mogą stanowić źródło wielu metabolitów bioaktywnych, których zawartość jest zależna od gatunku,
- profil metabolitów (związków fenolowych oraz kwasów organicznych) owocników grzybów wykazuje dużą zmienność pomiędzy gatunkami, jak również pomiędzy rasami tego samego gatunku,
- ekstrakty grzybowe wykazują zdolność wygaszania wolnych rodników, wzrastającą wraz ze wzrostem stężenia ekstraktu, wynikającą z obecności substancji charakteryzujących się właściwościami antyoksydacyjnymi,
- zdolność zmiatania wolnych rodników w ekstraktach była skorelowana z zawartością związków fenolowych,
- uprawa grzybów na podłożach suplementowanych solami selenu i cynku istotnie zwiększa zawartość tych mikroelementów w owocnikach grzybów uprawnych,

- uprawa grzybów na podłożach suplementowanych solami selenu i cynku istotnie zwiększa zawartość związków fenolowych w owocnikach grzybów uprawnych,
- owocniki grzybów uprawiane na podłożach suplementowanych solami selenu i cynku charakteryzowały się większą zdolnością zmiatania wolnych rodników w porównaniu z konwencjonalną uprawą,
- suplementacja podłoża uprawnych może stanowić istotną modyfikację uprawy prowadzącą do produkcji owocników charakteryzujących się zoptymalizowaną wartością prozdrowotną w porównaniu do konwencjonalnej uprawy,
- wzbogacanie podłoża uprawnych solami mikroelementów może być ukierunkowane na wykorzystanie grzybów jako żywności funkcjonalnej,
- zanieczyszczenie podłoża metalami/metaloidami istotnie obniża wartość konsumpcyjną owocników ze względu na akumulację toksycznych pierwiastków.

Podsumowując, otrzymane wyniki prowadzonych przeze mnie badań wskazują, że grzyby mogą stanowić dodatkowe źródło wielu metabolitów niezbędnych w diecie człowieka, a powszechnie panująca opinia, że podnoszą jedynie walory smakowe potraw nie jest w pełni uzasadniona. Ponadto wykazałam, że grzyby mogą być źródłem substancji bioaktywnych, odgrywających istotną rolę w metabolizmie organizmu człowieka. Podjęte przeze mnie badania wzbogacają naszą wiedzę na temat walorów żywieniowych grzybów, a w konsekwencji wpływają na wzrost świadomości konsumentów. Wyniki przeprowadzonych w tym zakresie moich badań, dają istotny wkład w rozwój dyscypliny ogrodnictwo oraz stanowią cenne źródło informacji dla producentów grzybów jadalnych o możliwościach modyfikacji składu chemicznego owocników poprzez wprowadzanie do uprawy soli niektórych mikroelementów.

Literatura:

1. Altmeyer P.J., Mattlies U., Pawlak F., Hoffmann K., Frosch P.J., Ruppert P., Wassilew S.W., Horn T., Kreysel H.W., Lutz G., Barth J., Rietzschel I., Joshi R.K. (1994). Antipsoriatic effects of fumaric acid derivatives. Results of a multicenter double-blind study in 100 patients. *J. Am. Acad. Dermatol.* 30: 977–981.
2. Alves M.J., Ferreira I.C., Dias J., Teixeira V., Martins A., Pintado M. (2012). A review on

- antimicrobial activity of mushroom (*Basidiomycetes*) extracts and isolated compounds. *Planta Medica*. 78(16): 1707-18.
3. Anibal C., Farenzena S., Rodríguez M.S., Albertengo L. (2015). Chemical composition and nutritional value of Argentine commercial edible mushrooms. *J. Verbrauch. Lebensm.* (10)2: 155–164.
 4. Ayala-Zavala J.F., Silva-Espinoza B.A., Cruz-Valenzuela M.R., Villegas-Ochoa M.A., Esqueda M., González-Aguilar G.A., Calderón-López Y. (2012). Antioxidant and antifungal potential of methanol extracts of *Phellinus* spp. from Sonora, Mexico. *Rev. Iberoam. Micol.* 29(3): 132-8.
 5. Baati T., Horcajada P., Gref R., Couvreur P., Serre C. (2011). Quantification of fumaric acid in liver, spleen and urine by high-performance liquid chromatography coupled to photodiode-array detection. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 56(4): 758-62.
 6. Barros L., Pereira C., Ferreira I.C.F.R. (2013). Optimized analysis of organic acids in edible mushrooms from Portugal by ultra fast liquid chromatography and photodiode array detection. *Food Anal. Method.* 6: 309–316.
 7. Bhatia P., Aureli F., D'Amato M., Prakash R., Cameatra S.S., Nagaraja T.P., Cubadda F. (2013). Selenium bioaccessibility and speciation in biofortified *Pleurotus* mushrooms growth on selenium-rich agricultural residues. *Food Chem.* 140: 225-230.
 8. Bhatia P., Prakash R., Prakash N.T. (2014). Enhanced antioxidant properties as a function of selenium uptake by edible mushrooms cultivated on selenium-accumulated waste post-harvest wheat and paddy residues. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agricult.* 3: 127-132.
 9. Brennan M., Le Port G., Gormley R. (2000). Post-harvest treatment with citric acid or hydrogen peroxide to extend the shelf life of fresh sliced mushrooms. *LWT-Food Sci. Technol.* 33: 285-289
 10. Carvajal A.E.S.S., Koehnlein E.A., Soares A.A., Eler G.J., Nakashima A.T.A., Bracht A., Peralta R.M. (2012). Bioactives of fruiting bodies and submerged culture mycelia of *Agaricus brasiliensis* (*A. blazei*) and their antioxidant properties. *LWT-Food Sci. Technol.* 46(2): 493–499.
 11. Chen S., Tianqiao Y., Zhang Y., Su J., Jiao C., Xie Y (2017). Anti-tumor and anti-angiogenic ergosterols from *Ganoderma lucidum*. *Front. Chemistry* 5: 85. doi: 10.3389/fchem.2017.00085
 12. Chen J.J., Yong Y.Y., Xia X., Wang Z.L., Liang Y.X., Zhang S.Z., et al. (2014). The excreted polysaccharide of *Pleurotus eryngii* inhibits the foam-cell formation via down-

- regulation of CD36. *Carbohydr. Polym.* 112: 16-23.
13. Dembitsky V.M., Terent'ev A.O., Levitsky D.O. (2004). Amino and fatty acids of wild edible mushrooms of the genus *Boletus*. *Rec. Nat. Prod.* 4: 218-223.
 14. Diyabalanage T., Mulabagal V., Mills G., David L. DeWittD.L., Nair M.G. (2008). Health-beneficial qualities of the edible mushroom, *Agrocybe aegerita* *Food Chem.* 108(1): 97-102.
 15. Drori A., Shabat Y., Ben Ya'acov A., Danay O., Levanon D., Zolotarov L., et al. (2016). Extracts from *Lentinula edodes* (Shiitake) edible mushrooms enriched with vitamin D exert an anti-inflammatory hepatoprotective effect. *J. Med. Food.* 19: 383-389.
 16. Fernandes Â., Petrović J., Stojković D., Barros L., Glamočlija J., Soković M., Martins A., Ferreira I.C.F.R. (2016). *Polyporus squamosus* (Huds.) Fr from different origins: Chemical characterization, screening of the bioactive properties and specific antimicrobial effects against *Pseudomonas aeruginosa*. *LWT-Food Sci. Technol.* 69: 91–97.
 17. Gan D., Ma L.P., Jiang C.X., Wang M.C., Zeng X.X. (2012). Medium optimization and potential hepatoprotective effect of mycelial polysaccharides from *Pholiota dinghuensis* Bi against carbon tetrachloride-induced acute liver injury in mice. *Food Chem. Toxicol.* 50: 2681-2688.
 18. Ferreira I.C.F.R., Vaz J.A., Vasconcelos M.H., Martins A. (2010). Compounds from wild mushrooms with antitumor potential. *Anticancer Agents Med Chem* 10(5):424–436.
 19. Friedman M. (2016). Mushroom polysaccharides: Chemistry and antiobesity, antidiabetes, anticancer, and antibiotic properties in cells, rodents, and humans. *Foods (Basel, Switzerland)*, 5:E80
 20. Guillamón E., García-Lafuente A., Lozano M., D'Arrigo M., Rostagno M.A., Villares A., Martínez JA. (2010) Edible mushrooms: role in the prevention of cardiovascular diseases. *Fitoterapia* 81(7):715-23.
 21. Helano S.A., Barros L., Martins A., Queiroz M.J.R.P., Santos-Buelga C., Ferreira I.C.F.R. (2012). Fruiting body, spores and in vitro produced mycelium of *Ganoderma lucidum* from Northeast Portugal: A comparative study of the antioxidant potential of phenolic and polysaccharidic extracts. *Food Res. Int.* 46: 135-140.
 22. Heleno S.A., Ferreira R.C., Antonio A.L., Queiroz M.J.R.P., Barros L., Ferreira I.C.F.R. (2015). Nutritional value, bioactive compounds and antioxidant properties of three edible mushrooms from Poland. *Food Biosci.* 11: 48–55.

23. Hu S.H., Liang Z.C., Chia, Y.C., Lien, J.L., Chen, K.S., Lee, M.Y., Wang, J.C. (2006). Antihyperlipidemic and antioxidant effects of extracts from *Pleurotus citrinopileatus*. *J. Agric. Food Chem.* 54: 2103-2110
24. IOA, Institute of Medicine, Food, Nutrition Board (2000). Dietary references intakes: vitamin C, vitamin E, selenium, and carotenoids. National Academy Press, Washington.
25. Jedidi I.K., Ayoub I.K., Philippe T., Bouzouita N. (2017). Chemical composition and nutritional value of three Tunisian wild edible mushrooms. *J. Food Meas. Charact.* 11(4): 2069–2075.
26. Khatun S., Islam A., Cakilcioglu U., Chatterjee N.C. (2012). Research on mushroom as a potential source of nutraceuticals: a review on Indian perspective. *Am. J. Exp. Agric.* 2(1): 47–73.
27. Kaewnarin K., Suwannarach N., Kumla J., Lumyong S. (2016). Phenolic profile of various wild edible mushroom extracts from Thailand and their antioxidant properties, anti-tyrosinase and hyperglycaemic inhibitory activities. *J. Funct. Food.* 27: 352-364.
28. Kała K., Krakowska A., Sułkowska-Ziaja K., Szewczyk A., Reczyński W., Opoka W., Muszyńska B. (2017). Kinetics of extracted bioactive components from mushrooms in artificial digestive juices. *Int. J. Food Prop.* 20:1796-1817.
29. Kimatu B.M., Zhao L., Biao Y., Ma G., Yang W., Pei F., Hu Q. (2017). Antioxidant potential of edible mushroom (*Agaricus bisporus*) protein hydrolysates and their ultrafiltration fractions. *Food Chem.* 230(1): 58-67.
30. Kwak A.M., Lee I.K., Lee S.Y., Yun B.S., Kang H.W. (2016). Oxalic acid from *Lentinula edodes* culture filtrate: antimicrobial activity on phytopathogenic bacteria and qualitative and quantitative analyses. *Mycobiology* 44(4): 338–342.
31. Leal A.R., Barros L., Barreira, Sousa M.J., Martins A., Santos-Buelga C., Ferreira I.C.F.R. (2013). Portuguese wild mushrooms at the “pharma–nutrition” interface: Nutritional characterization and antioxidant properties. *Food Res. Int.* 50: 1–9.
32. Malinowska, E.; Szefer, P.; Falandysz, J. (2004). Metals bioaccumulation by 365bay bolete, *Xerocomus badius*, from selected sites in Poland. *Food Chem.* 84(3): 405–416.
33. Mattila P., Lampi A.M., Ronkainen R., Toivola J., Piironen V. (2002). Sterol and vitamin D2 contents in some wild and cultivated mushrooms. *Food Chem* 76:293-298
34. Mattila P., Könkö K., Eurola M., Pihlava J.M., Astola J., Vahteristo L., Hietaniemi V., Kumpulainen J., Valtonen M., Piironen V. (2001). Contents of vitamins, mineral elements, and some phenolic compounds in cultivated mushrooms. *J. Agric. Food Chem.*

- 49: 2343-8.
35. Muszyńska B., Sułkowska-Ziaja K., Ekiert H. (2013). Phenolic acids in selected edible *Basidiomycota* species: *Armillaria mellea*, *Boletus badius*, *Boletus edulis*, *Cantharellus cibarius*, *Lactarius deliciosus* and *Pleurotus ostreatus*. *Acta Sci. Pol. - Hortoru.* 12:107-116.
36. Muszyńska B., Kała K., Firlej A., Sułkowska-Ziaja K. (2016). *Cantharellus cibarius* – culinary-medicinal mushroom content and biological activity. *Acta Pol. Pharm. – Drug Res.*, 73:589-598
37. Rzymiski P., Mleczek M., Siwulski M., Gąsecka M., Niedzielski P. (2016). The risk of high mercury accumulation in edible mushrooms cultivated on contaminated substrates. *J. Food Compos. Anal.* 51: 55–60.
38. Mleczek M., Magdziak Z., Gąsecka M., Niedzielski P., Kalač P., Siwulski M., Rzymiski P., Zalicka S., Sobieralski K. (2016). Content of selected elements and low-molecular-weight organic acids in fruiting bodies of edible mushroom *Boletus badius* (Fr.) Fr. from unpolluted and polluted areas. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23: 20609–20618.
39. Mleczek M., Niedzielski P., Kalač P., Budka A., Siwulski M., Gąsecka M., Rzymiski P., Magdziak Z., Sobieralski S. (2016). Multielemental analysis of 20 mushroom species growing near a heavily trafficked road in Poland. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23(16): 16280-16295.
40. Moro C., Palacios I., Lozano M., D'Arrigo M., Guillamón E., Villares A. (2012). Anti-inflammatory activity of methanolic extracts from edible mushrooms in LPS activated RAW 264.7 macrophages. *Food Chem.* 130:350-355
41. Niedzielski P., Mleczek M., Siwulski M., Gąsecka M., Kozak L., Rissmann I., Mikołajczak P. (2014). Efficacy of supplementation of selected medicinal mushrooms with inorganic selenium salts. *J. Environ. Sci. Heal. B* 49(12): 929-937.
42. Nowacka N., Nowak R., Drozd M., Olech M., Los R., Malmset, A. (2014). Analysis of phenolic constituents, antiradical and antimicrobial activity of edible mushrooms growing wild in Poland. *LWT-Food Sci. Technol.* 59: 689–694.
43. Palacios I., Lozano M., Moro C., D'Arrigo M., Rostagno M.A., Martínez J.A., García-Lafuente A., Guillamón E. (2011). Antioxidant properties of phenolic compounds occurring in edible mushrooms. *Food Chem.* 128: 674–678.
44. Patel S., Goyal A. (2012.) Recent developments in mushrooms as anti-cancer therapeutics: a review. *3 Biotech* 2(1): 1–15.

45. Phillips K.M., Ruggio D.M., Horst R.L., Minor B., Simon R.R., Feeney, M.J., Haytowitz, D.B. (2011). Vitamin D and sterol composition of 10 types of mushrooms from retail suppliers in the United States. *J. Agr. Food Chem.* 59: 7841-53.
46. Reid T., Munyanyi M., Mduluza T. (2017). Effect of cooking and preservation on nutritional and phytochemical composition of the mushroom *Amanita zambiana*. *Food Sci. Nutr.*5(3): 538–544.
47. Reis F.S., Martins A., Barros L., Ferreira I.C. (2012). Antioxidant properties and phenolic profile of the most widely appreciated cultivated mushrooms: a comparative study between *in vivo* and *in vitro* samples. *Food Chem. Toxicol.* 50: 1201-1207.
48. Roupas P., Keogh J., Noakes M., Margetts C., Taylor P. 2012. The role of edible mushrooms in health: Evaluation of the evidence. *J. Funct. Food.* 4(4): 687-709
49. Seabra R.M., Andrade P.B., Valentão P., Fernandes E., Carvalho F., Bastos M.L., 2006. Anti-oxidant compounds extracted from several plant materials. *Biomaterials from aquatic and terrestrial organisms*. New Hampshire: Science Publishers-Enfield (NH) Jersey Plymouth
50. Subbiah R.M.T., Abplanalp W. 2003. Ergosterol (major sterol of baker's and brewer's yeast extracts) inhibits the growth of human breast cancer cells in vitro and the potential role of its oxidation products. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.* 73: 19-23.
51. Sułkowska-Ziaja K., Muszyńska B., Motyl P., Pasko P., Ekiert H. (2012). Phenolic compounds and antioxidant activity in some species of polyporoid mushrooms from Poland. *Int. J. Med. Mushrooms* 14: 385-393.
52. Souilem F. Fernandes A., Calhella R.C., Barreira J.C.M., Barros L., Skhiri F., Martins A., Ferreira I.C.F.R. (2017). Wild mushrooms and their mycelia as sources of bioactive compounds: Antioxidant, anti-inflammatory and cytotoxic properties. *Food Chem.* 230: 40-48
53. Shao S., Hernandez M., Kramer J.K.G., Rinker D.L., Tsao R. (2010). Ergosterol profiles, fatty acid composition, and antioxidant activities of button mushrooms as affected by tissue part and developmental stage. *J. Agric. Food Chem.* 58: 11616-11625.
54. Valentão P., Andrade P.B., Rangel J., Ribeiro B., Silva B.M., Baptista P., Seabra R.M. 2005. Effect of the conservation procedure on the contents of phenolic compounds and organic acids in Chanterelle (*Cantharellus cibarius*) mushroom. *J. Agric. Food Chem.* 53: 4925–4931.

55. Vieira F.P.A., Gontijo D.C., Vieira B.C., Fontes E.A.F., de Assunção L.S., Leite J.P.V., Oliveira M.G.A., Kasuya M.C.M. (2013). Antioxidant activities, total phenolics and metal contents in *Pleurotus ostreatus* mushrooms enriched with iron, zinc or lithium. *LWT-Food Sci. Technol.* 54: 421–425
56. Villares A., Mateo-Vivaracho L., García-Lafuente A., Guillamón E. (2014). Storage temperature and UV-irradiation influence on the ergosterol content in edible mushrooms. *Food Chem.* 147: 252-256.
57. Woldegiorgis A.Z., Abate D., Haki G.D, Ziegler G.R. (2014). Antioxidant property of edible mushrooms collected from Ethiopia. *Food Chem.* 157:30–36.
58. Zhang Y., Mills G.L., Nair M.G. (2002). Cyclooxygenase inhibitory and antioxidant compounds from the mycelia of the edible mushroom *Grifola frondosa*. *J. Agric. Food Chem.* 50: 7581–7585.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych oraz dydaktycznych

Po ukończeniu studiów na Wydziale Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, w październiku 1999 roku rozpoczęłam pracę na stanowisku asystenta w Katedrze Chemii Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu). W październiku 2000 roku zostałam uczestnikiem Studium Doktoranckiego na Wydziale Ogrodniczym AR im. A. Cieszkowskiego, realizując badania naukowe w Katedrze Chemii pod opieką naukową Pana prof. dr. hab. Piotra Golińskiego, gdzie jednocześnie pracowałam na stanowisku asystenta w wymiarze ½ etatu. W roku 2001 uzyskałam stypendium ufundowane przez Fundację Dekebana, co dało mi możliwość odbycia kilkumiesięcznego stażu na The University of British Columbia w Vancouver w Kanadzie (**zał 4, pkt. III E.1**). W 2002 roku uczestniczyłam w spotkaniach z uczestnikami studiów doktoranckich z Niemiec z Max Planck Institute („Bilateral Ph.D. Students Meeting Polish Academy of Sciences and Max – Planck Society”), które odbyło się w Kolonii, Monachium oraz w Poznaniu (MPI – Poznań Ph. D. Students Meeting) (**zał 4, pkt. III E.2, E.3**).

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk rolniczych w 2006 roku w badaniach naukowych skupiałam się na kilku obszarach tematycznych:

- analizie zawartości wybranych metabolitów (cukry, kwasy fenolowe, flawonoidy) w produktach spożywczych (warzywa, zioła, grzyby, mleko) oraz ocenie wpływu różnych

czynników na ich zawartość,

- ocenie zdolności grzybów do akumulacji pierwiastków oraz możliwości jej wykorzystania do produkcji biofortyfikowanych owocników,
- możliwości zastosowania podłoża grzybowych w mykoremediacji gleb skażonych niektórymi zanieczyszczeniami organicznymi takimi jak: wielopierścieniowymi węglowodarami aromatycznymi (WWA) oraz polichlorowanymi bifenylami (PCB),
- odpowiedzią roślin na stres związany z obecnością metali/metaloidów w podłożu w celu dalszego ich wykorzystania w fitoremediacji.

Wymiernym efektem kontynuowania współpracy z Wydziałem Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu było moje uczestnictwo w dwóch projektach badawczych – NN 310 095036, pod kierownictwem Prof. dr hab. Mikołaja Knaflewskiego (zał. 4, pkt. II F.3) oraz NN 310 300239 pod kierownictwem Dr Aliny Kałużewicz (zał. 4, pkt. II F.4). W ramach tej współpracy zajmowałam się analizą zawartości cukrów w korzeniach i wypustkach szparaga oraz czynnikami, które mogą wpływać na ich akumulację (zał. 4, pkt. II B.4, B.5, B.6, B.7, B.8, B.9, B.10). Moje badania były również związane z oceną zawartości związków fenolowych oraz cukrów w innych gatunkach warzyw i ziół (brokuł, kalafior, bazylia, melisa, koper) oraz wpływem wybranych czynników abiotycznych na ich skład chemiczny (zał. 4, pkt. II A.5, A.22, A.29, B.1, B.2).

Dalsza współpraca z Wydziałem Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, a w szczególności z Prof. dr hab. Markiem Siwulskim, zapoczątkowała wzrostem mojego zainteresowania tematyką związaną z grzybami na kilku płaszczyznach. Pierwszą z nich była możliwość wykorzystania podłoża po uprawie grzybów do remediacji, a właściwie mykoremediacji, gleb zanieczyszczonych związkami organicznymi takimi jak wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) oraz polichlorowane bifenyle (PCB). Badania te były realizowane w ramach projektu NN 305 372438, którego byłam kierownikiem (zał. 4, pkt. II F.2). Otrzymane wyniki wykazały, że podłoża zaszczerpione grzybnią twardziaka jadalnego (shiitake) *Lentinula endodes*, bocznika ostrygowatego (*Pleurotus ostreatus*), bocznika mikołajkowego (*Pleurotus eryngii*), oraz kompost uzyskany z ich uprawy, jak również z pieczarki dwuzarodnikowej (*Agaricus bisporus*) wykazywały wysoką efektywność degradacji WWA i PCB (zał. 4, pkt. II A.38, A.42, B.3). Stopień degradacji tych ksenobiotyków był zależny od ich początkowego

stężenia w podłożu, rodzaju/struktury cząsteczki, czasu inkubacji oraz ilości dodawanego podłoża/kompostu (**zał. 4, pkt. II A.38, A.42, B.3**). Wzrost stężenia ksenobiotyków w mieszaninie reakcyjnej istotnie obniżał stopień ich degradacji, natomiast wzrost ilości podłoża/kompostu poprawiał wydajność rozkładu, co daje realną szansę usunięcia tych ksenobiotyków z gleb o różnym poziomie zanieczyszczenia. Degradacja WWA przez *A. bisporus* malała w następującej kolejności: antracenu, piren, fluorentenu, fenantren i wynosiła od 87 do 79%. Natomiast wydajność degradacji WWA przez *L. edodes* malała w przedstawionej kolejności: antracenu, następnie dla fenantrenu, fluorentenu oraz pirenu i wynosił od 86 do 63%. W zależności od ilości zastosowanego podłoża, jego rodzaju (kompost, podłoże przerośnięte grzybnią) największa degradacja przez *P. ostreatus* została stwierdzona dla fenantrenu (od 25 do 59%), następnie antracenu (od 20 do 58%), fluorentenu (od 18 do 51%), natomiast najniższa dla pirenu (od 12 do 48%) (**zał. 4, pkt. II A.38**). Stopień degradacji PCB przez ww. gatunki zależał od liczby atomów chloru w cząsteczce i ostatecznie wyniósł od 17,38 do 83,91% (**zał. 4, pkt. II B.3**). Podsumowanie dotyczących fitoremediacji gleb zanieczyszczonych WWA zostało zwięźczone przygotowaniem i ogłoszeniem drukiem rozdziału monografii w 2015 (**zał. 4, pkt. II B.13**).

Obszerna część moich badań dotyczy zdolności grzybów do akumulacji pierwiastków i dalszego jej wykorzystania do produkcji biofortyfikowanych owocników, która była realizowana w ramach współpracy z Prof. dr hab. Markiem Siwulskim (Wydział Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu, UPP), Prof. dr. hab. Przemysławem Niedzielskim (Wydział Chemii, UAM) oraz Dr hab. Piotrem Rzymkim (Wydział Nauki o Zdrowiu, UM). W ramach tych badań została przeprowadzona analiza zawartości różnych pierwiastków w grzybach leśnych oraz uprawnych pochodzących z różnych regionów Polski oraz Chin (**zał. 4, pkt. II A.2, A.10, A.11, A.12, A.16, A.17, A.18, A.19, A.21, A.23, A.26, A.27, A.32, A.33, A.34**). Wyniki tych doświadczeń wskazują, że grzyby leśne stanowią ważne źródło mikro- i makroelementów jednak posiadają również dużą zdolność do akumulacji toksycznych metali i metaloidów, w tym Ag, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Zn, As czy Tl, które są niebezpieczne dla ludzi (**zał. 4, pkt. II A.19, A.21, A.23, A.32, A.33**). Zawartość wielu pierwiastków w tym metali/metaloidów zależała od miejsca zbioru. W owocnikach grzybów zbieranych z terenów silnie zanieczyszczonych zawartość wielu metali była na tak wysokim poziomie, że ich konsumpcja nie jest wskazana. W obrębie gatunku owocniki zbierane na terenach niezanieczyszczonych różniły się zawartością niektórych pierwiastków, jednak nie wykazano istotnego statystycznie zróżnicowania pomiędzy nimi. Istotne różnice występowały pomiędzy

owocnikami zbieranymi w różnych latach. Natomiast analizowane gatunki grzybów leśnych (jadalnych i niejadalnych) nie wykazały dużej akumulacji metali ziem rzadkich i platynowców (zał. 4, pkt. II. A.27). Przeprowadzone badania wskazują również, że dostępne grzyby uprawne stanowią cenne źródło wielu mikro- i makroelementów, ich wartość odżywcza jest znacząco zróżnicowana, natomiast zawartość pierwiastków toksycznych nie stanowi bezpośredniego zagrożenia dla zdrowia ze względu na niskie poziomy występowania (zał. 4, pkt. II A.1, A.10, A.11, A.12, A.16, A.17). Na zróżnicowanie składu może wpływać pochodzenie danego gatunku, a co się z tym wiąże technologia uprawy (zał. 4, pkt. II, A.10, A.11, A.17). Zdolność akumulacji metali i metaloidów jest niezwykle istotna z punktu widzenia produkcji żywności i dlatego w przypadku grzybów uprawnych tak ważna jest jakość materiałów użytych do produkcji podłoża. Zanieczyszczenie podłoża toksycznymi metalami/metaloidami np. Hg, As może powodować nie tylko redukcję biomasy, ale przede wszystkim skutkować uzyskaniem owocników zawierających te niebezpieczne dla zdrowia pierwiastki.

Zdolność grzybów do akumulacji pierwiastków stwarza możliwość produkcji owocników ze zwiększoną ilością niezbędnych dla organizmu mikroelementów, których codzienne spożycie przez człowieka jest niskie. Przeprowadzone badania wskazują, że grzyby uprawne mogą akumulować znaczne ilości niektórych mikroelementów tj: Se, Zn oraz Cu, jednak ich dozowanie do podłoża może ograniczać wzrost owocników (zał. 4, pkt. II A.14, A.24, A.31, A.35). Akumulacja niektórych pierwiastków (np. Li) przez owocniki może być również szansą na ich dalsze wykorzystanie w medycynie (zał. 4, pkt. II A.6, A.9, A.15).

W dalszej pracy naukowej planuję kontynuację badań związanych z analizą zawartości różnych substancji bioaktywnych w grzybach uprawnych, możliwością polepszania właściwości prozdrowotnych oraz możliwością modyfikacji składu chemicznego poprzez innowacyjne formy uprawy oraz różne zabiegi po zbiorach.

Znaczna część prowadzonych przeze mnie badań związana jest z reakcją rośliny na różne czynniki stresowe tj. zróżnicowany poziom ozonu troposferycznego (zał. 4, pkt. II A.43), a przede wszystkim na zawartość metali w podłożu (zał. 4, pkt. II A.4, A.8, A.13, A.20, A.28, A.30, A.36, A.37, A.39, A.40, A.41). Początkowe badania, przy współpracy z Katedrą Fizjologii Roślin oraz Katedrą Ekologii i Ochrony Środowiska UP w Poznaniu, prowadzone z zastosowaniem różnych gatunków i odmian wierzby były realizowane w doświadczeniach hydroponicznych, w których do pożywki dodawane były wybrane

metale/metaloidy (zał. 4, pkt. II A.8, A.30, A.37, A.39, A.40, A.41). Wyniki tych doświadczeń wskazują, że wydajność akumulacji Cu oraz Ni była wyższa w korzeniach, i pędzie głównym niż w pędach bocznych i liściach. Jednocześnie wraz ze wzrostem zawartości metali w pożywce obserwowano, redukcję biomasy organów oraz wielkość różnych części rośliny. Ekspozycja na miedź oraz nikiel skutkowała również uruchomieniem różnych mechanizmów obronnych, do których należało wydzielanie lub akumulacja różnych cząsteczek uczestniczących w mechanizmach obronnych i detoksykacyjnych. W ryzosferze występowała stosunkowo duża zawartość niskocząsteczkowych kwasów organicznych, a w szczególności kwasu octowego i szczawiowego. Kwasy organiczne prawdopodobnie wpływają na mobilność i dostępność metalu, co w konsekwencji może mieć istotne znaczenie w procesie fitoekstrakcji. Całkowita zawartość związków fenolowych w liściach wzrastała wraz ze stężeniem metalu w pożywce, przy czym dla miedzi był to powolny wzrost, a dla niklu oraz obu metali w pożywce wyraźny. Indukcja syntezy tych metabolitów wskazuje na ich rolę ochronną (antyoksydanty) i sugeruje, że przy zastosowaniu niższych dawek miedzi związki te mogą stanowić komponent ściany komórkowej. W doświadczeniach został stwierdzony również gwałtowny wzrost kwasu salicylowego i glutationu w liściach. Gromadzenie cukrów w liściach sugeruje zaburzenia hydrolizy skrobi, transportu asymilatów, a w konsekwencji fotosyntezy (zał. 4, pkt. II A.39, A.41). Ponadto stosunek dwóch ważnych makroelementów Ca i Mg istotnie modyfikował akumulację Cu w poszczególnych częściach rośliny, wpływał na ich biomasę i wielkość, a w konsekwencji modyfikował potencjał fitoremedjacyjny rośliny, który był najwyższy dla Ca/Mg wynoszącego 1/10 (zał. 4, pkt. II A.37, A.40). Zastosowanie różnych stężeń Ca i Mg w pożywce skutkowało również zwiększonym wydzielaniem kwasów organicznych, akumulacją cukrów, związków fenolowych oraz glutationu w liściach (zał. 4, pkt. II A.36). Kolejne badania wykazały wysoki potencjał fitoremedjacyjny *Salix × rubens* (*S. purpurea × triandra × viminalis* 2) dla Zn (zał. 4, pkt. II A.28, A.30). Badania te potwierdziły również dwojaką rolę cynku – pozytywną (przy niższych stężeniach) i toksyczną (przy wyższych stężeniach) obniżającą aktywność fotosyntetyczną oraz powodującą zmiany ilościowe w niektórych metabolitach (związki fenolowe, kwasy organiczne, chlorofil, węglowodany) związane ze stresem oksydacyjnym (zał. 4, pkt. II A.28, A.30). Dalsze badania wykazały że dodatek kompostu po uprawie pieczarki dwuzarodnikowej (*A. bisporus*) poprawia zdolności fotostabilizacyjne Cu dla *S. purpurea × viminalis*, a zastosowanie jego odpowiedniej dawki nie tylko wpływa na wzrost akumulacji, ale również stymuluje wzrost rośliny (zał. 4, pkt. II A.25).

Zastosowanie kompostu skutkowało również zmianami w wydzielaniu i akumulacji ww. cząsteczek. Wyniki tych badań są niezwykle istotne, bowiem kompost po uprawie grzybów stanowi problematyczny odpad poprodukcyjny, którego alternatywne zastosowanie zostało zasugerowane w powyższej pracy. Badania polowe wskazały natomiast, że wiele gatunków wierzby wykazuje wysoką tolerancję na zmienne warunki środowiska, w tym zanieczyszczenie gleby metalami takimi jak Ni, Cu czy Pb, a monitoring zmian w profilu fenolowym liści może być wskaźnikiem stresu wywołanego zanieczyszczeniem (**zał. 4, pkt. II A.13**).

Podsumowanie badań dotyczących reakcji rośliny na stres związany z obecnością metali w podłożu, zdolności ich akumulacji oraz możliwościami wykorzystania różnych gatunków roślin w remediacji gleb zanieczyszczonych metalami/metaloidami zostało zaprezentowane w trzech rozdziałach monografii z moim współautorstwem (**zał. 4, pkt. II B.11, B.12, B.14**).

Obecnie tematyka związana z reakcją roślin na stres, a w konsekwencji możliwości wykorzystania niektórych gatunków drzew w fitoremediacji na terenach zanieczyszczonych metalami, jest kontynuowana w ramach projektu **2014/15/B/NZ9/02172** (**zał. 4, pkt. II F.1**), którego kierownikiem jest Prof. dr hab. Piotr Goliński, przy współpracy z Wydziałem Biologii UAM, Wydziałem Leśnym UPP oraz Wydziałem Technologii Drewna UPP. W badaniach tych testowane są gatunki następujących drzew i krzewów: klon zwyczajny (*Acer platanoides*), klon jawor (*Acer pseudoplatanus*), olsza czarna (*Alnus glutinosa*), brzoza brodawkowata (*Betula pendula*), grab pospolity (*Carpinus betulus*), dąb szypułkowy (*Quercus robur*), lipa drobnolistna (*Tilia cordata*), wiąz szypułkowy (*Ulmus laevis*). Uzyskane wyniki wskazują, że tylko sześć spośród badanych gatunków (*A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *B. pendula*, *Q. robur*, *T. cordata*, *U. laevis*) wykazywały wzrost na osadach przemysłowych zawierających znaczące ilości toksycznych metali i metaloidów w tym głównie arsenu. Wyniki te wydają się szczególnie istotne, bowiem wskazują na wysoki potencjał remediacyjny niektórych gatunków drzew oraz na ich wysoką tolerancję na zanieczyszczenia podłoża (**zał. 4, pkt. II A.7**). Badania dotyczące reakcji *U. laevis* na stres arsenowy wskazują, że obecność różnych form tego pierwiastka znacząco modyfikuje profil fenolowy liści i korzenia (**zał. 4, pkt. II A.4**). Otrzymane wyniki badań chciałabym, podobnie jak dotychczas, popularyzować w renomowanych czasopismach naukowych.

Moje zainteresowania naukowe rozwijam także dzięki udziałowi w badaniach

statutowych i własnych (zał. 4, pkt. III G.2) oraz współpracy z różnymi jednostkami Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu oraz Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu (zał. 4, pkt. III G.1). Wspólne badania z ostatnią spośród wymienionych jednostek naukowych zapoczątkowały nowy wątek badawczy w mojej pracy, którym jest analiza składu mleka matek karmiących (zał. 4, pkt. II A.3). Wiele spośród ww. omówionych wyników badań było również prezentowanych na konferencjach międzynarodowych i krajowych (zał. 4, pkt. III B).

Za swoją działalność naukową udokumentowaną publikacjami, opublikowanymi w renomowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym oraz krajowym, otrzymałam w 2013 roku nagrodę zespołową II stopnia, a w 2016 i 2017 roku nagrodę zespołową I stopnia. W roku 2017 otrzymałam również brązowy medal za długoletnią służbę nadany przez Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej na wniosek Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego (zał. 4, pkt. II G).

Zdobytą wiedzę wykorzystuję również w innych formach działalności naukowej. Przygotowałam i złożyłam dwie aplikacje grantowe (zał. 4, pkt. III G.3), wykonałam 17 recenzji prac przesłanych do renomowanych czasopism naukowych (zał. 4, pkt. III F). W roku 2014 byłam promotorem pracy magisterskiej Pani Agaty Jutrzenki pt. "Wpływ warunków środowiska na zawartość związków fenolowych w liściach wierzby (*Salix viminalis* L.) (zał. 4, pkt. III D.1). Recenzowałam również pracę licencjacką Pana Jędrzeja Dąbrowskiego pt. „Ocena efektywności fitoekstrakcji Zn przez sadzonki *Salix purpurea* × *triandra* × *viminalis* 2 rosnące w układzie hydroponicznym” (zał. 4, pkt. III G.4).

Od początku swojego zatrudnienia w Katedrze Chemii w ramach pensum dydaktycznego prowadzę zajęcia z przedmiotu chemia, chemia ogólna, chemia organiczna dla studentów wielu kierunków na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych (zał. 4, pkt. III C.1), oraz kursy wyrównawcze z przedmiotu chemia od roku 2011 (zał. 4, pkt. III C.4). Swoją wiedzę i doświadczeniem zdobytym podczas pracy ze studentami chętnie dzielę się z młodzieżą szkolną organizując oraz przeprowadzając wiele różnych warsztatów w tym tzw. „lekcje akademickie” (zał. 4, pkt. III C.2, C.3). Jestem także koordynatorem i pomysłodawcą zajęć, organizowanych w Katedrze Chemii w ramach Festiwalu Nauki i Sztuki oraz Nocy Naukowców, przeznaczonych dla uczniów szkół podstawowych, gimnazjalnych oraz ponadgimnazjalnych (zał. 4, pkt. III A.1, A.2, A.3, A.4, A.5, A.6, A.7).

Aktywnie uczestniczę w szkoleniach, kursach i seminariach oraz różnego typu

działalności organizacyjnej (zał. 4, pkt. III C.6, G.5, G.6). W roku 2003 uczestniczyłam w pracach komisji rekrutacyjnej na studia niestacjonarne na Wydziale Technologii Drewna Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu). Od 2014 roku jestem członkiem Rady Katedry Chemii UPP, zajmuję się również obsługą i uaktualnianiem danych na stronie internetowej Katedry Chemii (zał. 4, pkt. III G.6).

Szczegółowy wykaz wszystkich moich osiągnięć naukowych, dydaktycznych i organizacyjnych przedstawiłam w Załączniku 4.

5. Dane bibliometryczne

Jestem współautorem 59 publikacjach naukowych (w tym 50 z listy A), 4 rozdziałów w monografiach naukowych oraz 19 materiałów konferencyjnych. Sześć prac stanowi oceniane osiągnięcie naukowe (IF = 8,549; 140 pkt. MNiSW). Całkowity sumaryczny IF opublikowanych prac wynosi 85,421, co stanowi 1355 pkt MNiSW.

Tabela 4. Podsumowanie dorobku publikacyjnego

Tytuł czasopisma	Ilość	ΣIF*	Σpkt. MNiSW*
Czasopisma z listy A			
Acta Alimentaria	1	0,357	15
Acta Physiologia Plantantarum	3	4,731	75
Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus	2	1,341	35
Chemistry and Ecology	2	2,744	35
Chemosphere	1	4,208	35
Environmental Science and Pollution Research	3	8,223	90
European Food Research and Technology	8	13,211	200
Folia Horticulture	1	0,359	14
Food Additives and Contaminants: Part A	1	2,047	30
Food Analytical Methods	1	2,038	30
Fresenius Environmental Bulletin	2	1,357	18
Horticultural Science	1	0,556	25
International Journal of Phytoremediation	2	3,54	50
Journal of Environmental Science and Health, Part A, Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering	2	2,528	40
Journal of Environmental Science and Health, Part B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes	6	7,782	120

Journal of Food Composition and Analysis	3	8,256	105
Journal of Food Processing and Preservation	1	0,791	20
Journal of Food Science	1	1,815	30
Journal of Food Science and Technology	1	1,262	25
Journal of Hazardous Materials	1	3,925	45
Journal of Plant Physiology	2	6,242	70
Journal of the Science of Food and Agriculture	1	2,463	35
LWT - Food Science and Technology	1	2,711	35
Open Life Sciences	1	0,448	15
Photosynthetica	1	0,862	25
Scientia Horticulturae	1	1,624	35
ŁĄCZNIE	50	85,421	1252
Czasopisma z listy B			
Vegetable Crop Research Bulletin	4		30
Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus	1		6
Folia Horticulture	3		24
Żywność. Nauka Technologia. Jakość,	1		13
Rozdział w monografii	4		20
Materiały konferencyjne (międzynarodowe):	8		
Materiały konferencyjne (krajowe):	11		
ŁĄCZNIE (bez materiałów konferencyjnych), w tym prace wchodzące w skład dzieła	63	85,421	1355
	6	8,549	140

Tabela 4. Bibliometryczne podsumowanie dorobku

Wskaźnik	Wartość
Liczba oryginalnych prac naukowych wg bazy Web of Science (WoS)	52
Sumaryczny impact factor publikacji naukowych wg. listy Journal Citation Raport (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania prac	85,421
Sumaryczna punktacja MNiSW* wszystkich prac zgodnie z rokiem opublikowania prac	1355
Liczba cytowań wg bazy danych (WoS)	260
Liczba cytowań bez autocytowań wg bazy danych (WoS)	140

Monika Gopcecha