

# **AUTOREFERAT**

**dr Izabela L. Kałucka**

**Wydział Biologii i Ochrony Środowiska  
Uniwersytet Łódzki**

**Łódź 2017**

1. IMIĘ I NAZWISKO: **Izabela Lidia Kałucka**

2. TYTUŁY I STOPNIE NAUKOWE

05.05.1993 **magister biologii, specjalność mykologia**

Uniwersytet Łódzki, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi

Praca magisterska „Mikoflora rezerwatu Jodły Łaskie na tle wybranych zbiorowisk leśnych” wykonana w Pracowni Mikologii Katedry Botaniki UŁ pod kierunkiem dr hab. Marii Ławrynowicz, prof. nadzw. UŁ

14.12.1999 **doktor nauk biologicznych w dyscyplinie biologia, specjalność mykologia**

Uniwersytet Łódzki, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi

Rozprawa doktorska „Grzyby w sukcesji wtórnej na gruntach porolnych w sąsiedztwie Puszczy Białowieskiej” wykonana w Zakładzie Algologii i Mikologii UŁ pod kierunkiem prof. dr hab. Marii Ławrynowicz

3. INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH

18.09.1991-17.12.1991 **Research Assistant**, Department of Life Science, University of Nottingham, Wielka Brytania (pełny etat)

01.10.1993-30.03.1999 **doktorantka** Stacjonarnego Studium Doktoranckiego Ekologii i Ochrony Środowiska, Zakład Algologii i Mikologii, Katedra Botaniki, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi, Uniwersytet Łódzki

14.02.2000-30.09.2015 Zakład Algologii i Mikologii (od 01.10.2001 r. Katedra Algologii i Mikologii), Wydział Biologii i Nauk o Ziemi (od 01.10.2001 r. Wydział Biologii i Ochrony Środowiska), Uniwersytet Łódzki  
**adiunkt** – 14.02.2000-30.09.2012 (pełny etat)  
**starszy wykładowca** – 01.10.2012-30.09.2014 (1/2 etatu)  
**starszy wykładowca** – 01.11.2014-30.09.2015 (1/4 etatu)

4. OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE ZGŁOSZONE DO POSTĘPOWANIA HABILITACYJNEGO, O KTÓRYM MOWA W ART. 16 UST. 2 USTAWY Z DNIA 14.03.2003 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

### **Różnorodność grzybów ektomykoryzowych we wczesnosukcesyjnych zbiorowiskach leśnych na siedliskach przekształconych antropogenicznie**

Osiągnięcie naukowe stanowi 6 publikacji naukowych z lat 2010-2016, w tym 5 artykułów oryginalnych i 1 praca przeglądowa.

Kopie publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego znajdują się w **Załączniku 5**. Oświadczenia współautorów publikacji zawarte są w **Załączniku 6**.

#### B. Wykaz autorskich publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego

1. **Kałucka I.L.**, Jagodziński A.M. 2016. Successional traits of ectomycorrhizal fungi in forest reclamation after surface mining and agricultural disturbances: A review. *Dendrobiology* 76: 91-104.

IF<sub>2015</sub>: 0,643; IF<sub>5-letni</sub>: 0,730; Pkt MNiSW<sub>2016</sub>: 20

2. **Kałucka I.L.**, Jagodziński A.M., Nowiński M. 2016. Biodiversity of ectomycorrhizal fungi in open-cast mine spoil restoration stands in Poland – first time recorded, rare and red-listed species. *Acta Mycologica* 51(2): 1080.

IF<sub>2015</sub>: - Pkt MNiSW<sub>2016</sub>: 14

3. **Kałucka I.**, Agerer R. 2012a. “Pinihriza arachnocrystallina” + *Pinus sylvestris* L. *Descriptions of Ectomycorrhizae* 13: 61-69.

IF<sub>2012</sub>: - Pkt MNiSW: - (czasopismo międzynarodowe indeksowane przez BIOSIS Citation Index, nie uwzględnione na liście MNiSW)

4. **Kałucka I.**, Agerer R. 2012b. “Pinihriza magnocellata” + *Pinus sylvestris* L. *Descriptions of Ectomycorrhizae* 13: 71-79.

IF<sub>2012</sub>: - Pkt MNiSW: - (czasopismo międzynarodowe indeksowane przez BIOSIS Citation Index, nie uwzględnione na liście MNiSW)

5. Trocha L.K., **Kałucka I.**, Stasińska M., Nowak W., Dabert M., Leski T., Rudawska M., Oleksyn J. 2012. Ectomycorrhizal fungal communities of native and non-native *Pinus* and *Quercus* species in a common garden of 35-year-old trees. *Mycorrhiza* 22(2): 121-134.

IF<sub>2012</sub>: 2,955; IF<sub>5-letni</sub>: 3,231; Pkt MNiSW<sub>2012</sub>: 40

6. Dickie I.A., **Kałucka I.**, Stasińska M., Oleksyn J. 2010. Plant host drives fungal phenology. *Fungal Ecology* 3 (4): 311-315.

IF<sub>2010</sub>: 1,814; IF<sub>5-letni</sub>: 2,993; Pkt MNiSW<sub>2012</sub>: 25

#### **Wskaźniki bibliometryczne dla przedstawionego osiągnięcia:**

Sumaryczny impact factor (IF; wg JCR zgodnie z rokiem publikacji): **5,412**

Sumaryczny IF<sub>5-letni</sub>: **6,954**

Sumaryczna liczba punktów MNiSW: **99**

Sumaryczna liczba cytowań (stan na dzień 05.03.2017) wg WoS Core Collection: **34**

wg Scopus: **35**

wg Google Scholar: **50**

### **C. Omówienie celu naukowego prac zgłoszonych do postępowania habilitacyjnego, osiągniętych wyników i ich ewentualnego wykorzystania**

Mykoryza, czyli symbiotyczny związek grzybów z korzeniami roślin, jest zjawiskiem powszechnym, tworzy ją niemal 90% roślin występujących na Ziemi. Ma ona charakter mutualistyczny, związany przede wszystkim z realizacją potrzeb energetycznych i pokarmowych. Roślina (fotobiont) dostarcza węgiel związany fotosyntetycznie, stanowiący źródło energii dla grzyba, a grzyb (mykobiont) znacząco zwiększa zaopatrzenie rośliny w pierwiastki biogenne, głównie azot i fosfor, pobierane z gleby za pośrednictwem strzępek (Smith, Read 2008). Rozległa sieć grzybni pozwala grzybom symbiotycznym żyjącym w ryzosferze na eksploatację nawet 1000-krotnie większej objętości gleby niż objętość dostępna włóśnikom, a produkcja zróżnicowanych enzymów umożliwia wykorzystanie związków pokarmowych związanych w materii organicznej lub trudno rozpuszczalnych związkach nieorganicznych (Read, Perez-Moreno 2003). Mykoryza zapewnia roślinom lepsze zaopatrzenie w wodę, zwiększając ich odporność na suszę (Egerton-Warburton et al. 2007), stymuluje odporność na choroby i dostarcza mechanizmów obronnych (Jung et al. 2012; Babikova et al. 2014) oraz zwiększa możliwości adaptacyjne, szczególnie w warunkach stresu środowiskowego (Rincón et al. 2007; Smith et al. 2010). Grzyby mykoryzowe produkują liczne substancje o charakterze witamin, hormonów i enzymów, które stymulują wzrost roślin i korzystnie wpływają na ich kondycję (Smith, Read 2008). Rozrastająca się grzybnia jest także źródłem kolonizacji mykoryzowej (inokulum) dla sąsiednich roślin tego samego lub innego gatunku i łączy korzenie tworząc wspólną podziemną sieć (common mycorrhizal network, CMN) umożliwiającą współdzielenie zasobów energetycznych i nutrientów. Modyfikuje to wzajemne relacje między roślinami oraz wpływa na strukturę i dynamikę zbiorowisk roślinnych (van der Heijden and Horton 2009; Simard et al. 2012).

Większość lasotwórczych gatunków drzew występujących w strefie umiarkowanej i borealnej tworzy obligatoryjne związki symbiotyczne z grupą grzybów ektomykoryzowych (ECM). Grzyby te należą głównie do podstawczaków (Basidiomycota), w mniejszej liczbie do workowców (Ascomycota), jeden rodzaj – *Endogone* – reprezentuje sprzężniaki (Zygomycota). Liczbę gatunków grzybów ECM szacuje się na 8-10 tysięcy (Taylor, Alexander 2005; Rinaldi et al. 2008), przy czym opisywane są ciągle nowe gatunki, a zdolność do tworzenia mykoryzy odkrywa się u wielu grzybów uważanych dotychczas za saprotrofy (Tedersoo, Smith 2013).

Grzyby ECM pełnią kluczowe funkcje w ekosystemach leśnych – są aktywnymi uczestnikami i stymulatorami procesów glebowych, w tym obiegu i sekwestracji węgla oraz cykli biogeochemicznych pierwiastków biogennych, wpływają na produkcję pierwotną i kondycję zarówno indywidualnych drzew-gospodarzy jak i całych drzewostanów, pełnią funkcje regulacyjne i homeostatyczne dzięki wspólnej sieci CMN,

podnoszą odporność zbiorowisk leśnych na zaburzenia (Dighton 2016). Obecność w glebie odpowiednich grzybów ECM w postaci zarodników, przetrwalników bądź grzybni i nawiązanie symbiozy przez siewki jest warunkiem skutecznej kolonizacji terenu przez drzewa, prawidłowego ich wzrostu i rozwoju zbiorowiska leśnego.

Wielkie powierzchnie nieużytków porolnych i zdewastowanych terenów przemysłowych stanowią w wielu częściach świata, w tym również w Europie i w Polsce, poważny problem gospodarczy. Większość z nich podlega lub będzie podlegała zalesianiu, stanowiąc jeden z zasadniczych problemów bieżącej hodowli lasu. Niestety zalesianie takich gruntów często napotyka na znaczne trudności i niepowodzenia, również natury mykologicznej: brak odpowiednich grzybów symbiotycznych w glebie, które mogłyby stanowić inokulum dla młodych sadzonek drzew powoduje, że ich rozwój może być zahamowany lub utrudniony. Do tzw. gruntów trudnych należą m.in. tereny leśne i porolne w rejonach przemysłowych o wysokiej koncentracji zanieczyszczeń powietrza, tereny długotrwanie poddawane intensywnym zabiegom agrotechnicznym oraz tereny rekultywowane i oddane na cele leśne, np. hałdy, wyrobiska, obszary szkód górniczych, itd. (Grzywacz 2000). Stąd wynika niezwykle aktualna i pilna potrzeba rozpoznania roli grzybów ECM w procesach odtwarzania lasu na terenach zaburzonych i zdegradowanych oraz oceny możliwości wykorzystania tej wiedzy w celu poprawy efektywności zabiegów rekultywacyjnych, zalesieniowych, zrównoważonego zarządzania zasobami leśnymi oraz ochrony bioróżnorodności.

Z każdym zbiorowiskiem leśnym na każdym etapie jego rozwoju związane jest zbiorowisko wspomagających je grzybów ECM, którego skład gatunkowy, struktura ilościowa i przestrzenna zmieniają się w czasie, podlegając działaniu czynników środowiskowych i interakcji biotycznych. Sprawia to, że zbiorowiska te nie tylko czynnie uczestniczą w rozwoju ekosystemu, ale również podlegają własnym, właściwym dla grzybów procesom sukcesyjnym. Są to zjawiska wciąż niewystarczająco rozpoznane, zwłaszcza w kontekście czynników kształtujących bioróżnorodność grzybów ECM oraz w kontekście jej znaczenia funkcjonalnego.

**Przedmiotem badań** prowadzonych przeze mnie w ramach przedstawianego osiągnięcia naukowego były zbiorowiska grzybów ECM, które tworzą związki symbiotyczne z młodymi drzewami w warunkach aktywnego zalesiania gruntów antropogenicznych: (1) trudnych siedlisk nieleśnych, reprezentowanych przez zwałowiska górnicze (sukcesja pierwotna) i tereny porolne (sukcesja wtórna) oraz (2) gospodarczych gruntów leśnych (regeneracja). **Celem** tych **badania** było rozpoznanie różnorodności gatunkowej tych grzybów we wczesnych fazach rozwoju zbiorowisk leśnych tworzących się w wyniku celowych nasadzeń drzew rodzimych i obcych, a także wykazanie jej związku z rozwojem drzewostanów i siedlisk oraz wybranymi czynnikami środowiskowymi. Szczególną uwagę zwróciłam na występujące we wczesnych etapach

sukcesji rzadkie workowce oraz na dotychczas słabo poznane lub nie rozpoznawane grzyby z trudnych rodzajów podstawczaków, tj. *Hebeloma*, *Inocybe* i *Cortinarius*. Podjęłam próbę wyjaśnienia następujących zagadnień szczegółowych:

- Jaki jest skład gatunkowy i struktura zbiorowisk grzybów ECM towarzyszących wczesnosukcesyjnym zbiorowiskom leśnym rozwijającym się na silnie zmienionych siedliskach antropogenicznych – zwałowiskach górniczych i gruntach porolnych? Jakie czynniki wpływają na ich różnorodność i dynamikę?
- Czy i w jakim stopniu grzyby ECM występujące na takich gruntach są cenne pod względem przyrodniczym i przyczyniają się do wzbogacenia różnorodności biologicznej w skali kraju i szerszej? Czy zalesienia rekultywacyjne mogą spełniać funkcje ochronne w stosunku do mykobioty?
- Jak zróżnicowanie gatunkowe i biogeograficzne drzew-gospodarzy oraz historia użytkowania terenu wpływa na skład gatunkowy i strukturę zbiorowisk ECM w drzewostanach odnawianych na gruntach leśnych? Jakie mogą być tego skutki ekologiczne?

W przedstawionym omówieniu prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego wyróżniono pogrubioną czcionką.

#### 1) Zbiorowiska grzybów ECM na antropogenicznych siedliskach nieleśnych podlegających zalesianiu

Wieloletnie obserwacje grzybów ECM prowadzone przeze mnie w drzewostanach rekultywacyjnych na zalesianych zwałowiskach zewnętrznych przy kopalniach węgla brunatnego oraz w uprawach sosny na gruntach porolnych, a także związane z tym systematyczne studia literatury stanowiły podstawę do napisania artykułu przeglądowego wchodzącego w skład przedstawionego osiągnięcia naukowego (**Kałucka, Jagodziński 2016**). Stanowi on rodzaj metaanalizy zbiorowisk grzybów ECM zdolnych do tworzenia symbiozy z młodymi drzewami na terenach zmienionych przez działalność wydobywczą i rolniczą. Jest podsumowaniem obecnego stanu wiedzy na temat roli grzybów ECM w procesach leśnej rekultywacji tych siedlisk, ich udziału we wczesnych etapach rozwoju drzewostanów oraz na temat czynników i procesów, które kształtując zbiorowiska grzybów ECM wpływają także na efektywność działań zalesieniowych. Na tym tle przedstawiłam wyniki badań własnych opartych na obserwacjach występowania owocników grzybów ECM oraz dokonałam analizy dynamiki zbiorowisk tych grzybów w aspekcie wzrostu różnorodności gatunkowej oraz zmian o charakterze sukcesyjnym. Badania przeprowadzone przeze mnie w drzewostanach rekultywacyjnych na zwałowiskach wykazały, że wbrew powszechnym przekonaniom siedliska te mogą stanowić centra różnorodności grzybów ECM, zwłaszcza gatunków wyspecjalizowanych i rzadkich, co jest tematem artykułu **Kałuckiej et al. 2016**. Wymienione prace powstały w

wyniku realizacji grantu MNiSW (N N305 2996 40), grantu KBN (3 P04G 031 23) i projektu finansowanego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych w Warszawie. Badania zostały także dofinansowane przez Uniwersytet Łódzki (dotacja na badania własne 505/415).

Workowce uważa się za ważny składnik zbiorowisk grzybów ECM na siedliskach zaburzonych. Dwóm nowym i prawdopodobnie rzadkim anatomotypom mykoryz tworzonych przez workowce, znalezionym w izolowanych zadrzewieniach na gruntach porolnych, poświęcone są prace **Kałuckiej i Agerera (2012a, 2012b)**. Publikacje zostały przygotowane w wyniku realizacji projektu Deutscher Akademischer Austausch Dienst (DAAD) oraz dofinansowane przez Uniwersytet Łódzki (dotacja na badania własne 505/415).

### *Zwałowiska pogórnice*

1. **Kałucka I.L.**, Jagodziński A.M. 2016. Successional traits of ectomycorrhizal fungi in forest reclamation after surface mining and agricultural disturbances: A review. *Dendrobiology* 76: 91-104.

Tematem pierwszej części pracy **Kałuckiej i Jagodzińskiego (2016)** jest kształtowanie się zbiorowisk grzybów ECM i ich różnorodności na silnie przekształconych terenach pokopalnianych. Szczególnie górnictwo odkrywkowe powoduje powstawanie tysięcy hektarów nieużytków przemysłowych, w tym składowisk nadkładu – rozluzowanych i wymieszanych mas skalnych z nadkładu eksploatowanego złoża, charakteryzujących się zwykle niekorzystnymi właściwościami fizycznymi i chemicznymi. Zwałowiska obowiązkowo podlegają rekultywacji technicznej i biologicznej w celu przywrócenia funkcji użytkowych i przyrodniczych, a większość z nich zagospodarowuje się w kierunku leśnym. Rozwój drzewostanów na zwałowiskach ma charakter sukcesji pierwotnej – rosną one na substracie pochodzącym z głębokich warstw geologicznych, pozbawionym autochtonicznej materii organicznej. Propagule grzybów ECM, mogące stanowić inokulum dla siewek drzew, pochodzą „z zewnątrz”, są przynoszone głównie przez wiatr i zwierzęta, a proces tworzenia się aktywnego banku spor jest zwykle bardzo powolny (Bois et al. 2005). W przypadku sadzonek mogą być także przenoszone na ich korzeniach ze szkółek (Leski et al. 2010) lub jako efekt celowej sztucznej mykoryzacji (Rincón et al. 2007). Mogą również być wprowadzane w czasie rekultywacji, np. poprzez mieszanie zwałowanego nadkładu z glebą lub ściółką (Lunt, Hedger 2003). Analiza publikowanych badań wskazuje jednak, że zbiorowiska grzybów ECM tworzące mykoryzy na korzeniach pierwszej generacji drzew składają się z ograniczonej liczby gatunków preferujących podłoża mineralne o niskiej zawartości materii organicznej, które tolerują ekstremalne



warunki siedliskowe i mają zdolność tworzenia symbiozy z młodymi drzewami. Najczęściej towarzyszą drzewom we wczesnych etapach rozwoju zbiorowisk leśnych, wiele z nich występuje także na siedliskach zaburzonych, zanieczyszczonych, czy miejskich. Są to gatunki reprezentujące takie rodzaje podstawczaków jak *Inocybe*, *Hebeloma*, *Cortinarius*, *Laccaria*, *Suillus*, *Rhizopogon*, *Thelephora*, *Tomentella*, *Amphinema*, a także rząd Sebaciales. Składnikiem tych wczesnych zbiorowisk mogą być również workowce, a wśród nich zwłaszcza gatunki z rodzajów *Wilcoxina*, *Cenococcum*, *Tuber* oraz liczne, często nie identyfikowane dokładniej taksony z rzędu Pezizales. Drzewostany rekultywacyjne rzadko jednak są obiektem gruntownych studiów bioróżnorodności, a dotychczasowa wiedza o różnorodności gatunkowej grzybów ECM występujących na niezanieczyszczonych zwałowiskach pogórnicych jest ograniczona.

Rekrutacja gatunków i kształtowanie się zbiorowisk ECM podczas spontanicznej kolonizacji zwałowisk kopalnianych przez roślinność może trwać dziesiątki lat, zanim powstaną izolowane grupy drzew wraz z towarzyszącą im roślinnością podokapową (Pachlewski 1958; Parraga-Aguado et al. 2014). Sztuczne nasadzenia mogą przyspieszyć proces zalesiania, chociaż ze względu na niski potencjał mykoryzacyjny podłoża, zasiedlanie korzeni sadzonek przez lokalnie występujące grzyby symbiotyczne może być stosunkowo słabe, a niski poziom kolonizacji mykoryzowej utrzymuje się przez wiele lat. Dotyczy to zarówno zwałowisk nadkładu, jakie powstają na przykład przy kopalniach węgla brunatnego (Gebhardt et al. 2007), jak i hałd zanieczyszczonych metalami ciężkimi, tworzonych przy kopalniach i przetwórnictwie rud (Hrynkiewicz et al. 2008).

Prócz analizy danych literaturowych przedstawiłam także wyniki własnych 3-letnich obserwacji owocników grzybów ECM towarzyszących plantacjom sosny w wieku 1-17 lat na Górze Kamieńsk – zwałowisku zewnętrznym Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów. Badania prowadzono na 8 stałych powierzchniach po 1000 m<sup>2</sup>, na których wykonano po 20 wizyt obserwacyjnych. W omawianym artykule skupiłam się na drzewostanach reprezentujących 3 klasy wieku: 1-3 lata po wysadzeniu sadzonek, 12-14 lat (okres zwierania się koron drzew) oraz 15-17 lat (po zwarciu koron drzew) (Kałucka, Jagodziński 2016, Tabela 1). Uzyskane wyniki wydają się świadczyć o szybkim i efektywnym rozwoju zbiorowisk grzybów symbiotycznych, zapewniającym prawidłowy rozwój i kondycję drzewostanów. Owocniki grzybów symbiotycznych pojawiły się już w pierwszym roku po wysadzeniu sadzonek sosny na zwałowisko – były to niezbyt jeszcze liczne apotecja rzadkiego workowca *Geopora arenosa*. W trzecim roku stwierdzono już obecność 5 gatunków – *G. arenosa* oraz podstawczaków *Hebeloma mesophaeum*, *Inocybe dulcamara*, *Rhizopogon roseolus* i *Suillus luteus*. Bogactwo gatunkowe grzybów ECM znacząco wzrosło do 23 w drzewostanie 14-letnim. W tym czasie, obok gatunków grzybów pionierskich, znanych z wcześniejszych, półotwartych fitocenoz, pojawiły się w większej liczbie gatunki typowe dla starszych drzewostanów i bardziej dojrzałych biocenoz leśnych, zwłaszcza z rodzaju *Tricholoma*. Zmienił się nie tylko skład gatunkowy grzybów ECM, ale

także dynamika produkcji owocników. W drzewostanach młodszych obserwowano masowe pojawy *Geopora*, *Inocybe*, *Rhizopogon*, *Suillus*, które w starszych drzewostanach, a zwłaszcza po zwarcie się koron drzew, stopniowo zanikały. W tym czasie nastąpił natomiast wzrost produkcji owocników *Hebeloma*, *Helvella*, *Hygrophorus* i *Tricholoma*. W drzewostanie 17-letnim zanotowano 19 gatunków, a całkowita biomasa owocników grzybów ECM przekroczyła 40 kg s.m. ha<sup>-1</sup>rok<sup>-1</sup>. Etap zwierania się koron drzew, obserwowany w drzewostanach sosnowych na zwałowisku Góra Kamięńsk między 12. a 15. rokiem uprawy, a także okres bezpośrednio po nim, ma szczególne znaczenie w sukcesji grzybów ECM. Zmiany składu gatunkowego oraz wysoka produktywność zbiorowisk ECM wydają się być powiązane z następującym wtedy przyspieszeniem akumulacji materii organicznej (Świtoniak et al. 2011, 2013), a także zmianami parametrów biometrycznych drzewostanu, w tym alokacji biomasy w części nadziemnej i podziemnej (Jagodziński, Kałucka 2008, 2010; Jagodziński et al. 2014). Mimo trudnych warunków siedliskowych, jakie panują na zwałowisku Góra Kamięńsk, stosunkowo dobry wzrost i kondycja drzewostanów oraz bogactwo gatunkowe i produktywność zbiorowisk grzybów ECM potwierdzają efektywność procesu zalesiania i wskazują na wysoką skuteczność wykonanych tam zabiegów rekultywacyjnych. Co więcej, naturalny szybki rozwój i różnorodność zbiorowisk grzybów ECM na tym trudnym siedlisku uzasadnia pogląd, że sztuczna mykoryzacja sadzonek drzew przeznaczonych do leśnej rekultywacji zwałowisk kopalnianych nie zawsze jest konieczna i uzasadniona ekonomicznie. Z drugiej strony, wiedza o gatunkach grzybów ECM częstych w młodych drzewostanach rekultywacyjnych na zwałowisku Góra Kamięńsk może być wykorzystana w pracach nad selekcją gatunków odpowiednich do sztucznej mykoryzacji sadzonek drzew przeznaczonych na podobne siedliska.

2. **Kałucka I.L.**, Jagodziński A.M., Nowiński M. 2016. Biodiversity of ectomycorrhizal fungi in open-cast mine spoil restoration stands in Poland – first time recorded, rare and red-listed species. *Acta Mycologica* 51(2): 1080.

Materiał zebrany przeze mnie w drzewostanach sosnowych na zwałowisku Góra Kamięńsk składał się w znacznej części z taksonów bardzo trudnych do identyfikacji lub o nieustalonej interpretacji, zwłaszcza z rodzajów *Inocybe*, *Hebeloma* i *Cortinarius*. Analiza taksonomiczna wykazała obecność gatunków rzadkich i zagrożonych, a także dotychczas nie notowanych w Polsce. Podjęłam zatem dalsze badania, które koncentrowały się na różnorodności gatunkowej grzybów ECM występujących w uprawach różnych gatunków drzew na Górze Kamięńsk oraz na innych zwałowiskach kopalni węgla brunatnego w Polsce.

Wynikom tych badań w zakresie występowania gatunków cennych przyrodniczo – chronionych, zagrożonych, wyjątkowo rzadkich i nowych dla bioty kraju poświęcona jest

druga praca z serii przedstawionej jako osiągnięcie naukowe (Kałucka et al. 2016). Jej celem było wykazanie, że zwałowiska górnicze i zakładane na nich drzewostany rekultywacyjne mogą stanowić centra różnorodności grzybów ECM (tzw. biodiversity hotspots) i refugia gatunków o specyficznych wymaganiach ekologicznych. Badania różnorodności grzybów wielkoowocnikowych tradycyjnie prowadzone są na obszarach o wysokim stopniu naturalności, w zbiorowiskach dojrzałych, w siedliskach cennych ze względu na różnorodność roślin i podlegających różnym formom ochrony. Tereny antropogeniczne, w tym zwłaszcza zaburzone, zdegradowane czy podlegające silnej presji człowieka bardzo rzadko bywają obiektem takich badań, a ich mykobiota ciągle jest słabo rozpoznana. Praca przedstawia wyniki badań wykonanych na czterech największych zalesionych zwałowiskach zewnętrznych powstałych przy kopalniach węgla brunatnego w Polsce, tj. Góra Kamięńsk, Pątnów-Józwin, Adamów i Turów (Kałucka et al. 2016, Fig. 1). Zebrane kolekcje grzybów ECM analizowano standardowymi metodami stosowanymi do identyfikacji grzybów makroskopowych, a w przypadkach trudnych do oznaczenia w oparciu o cechy makro- i mikromorfologiczne poddano je analizie molekularnej (region ITS nrDNA). Na badanych zwałowiskach łącznie zidentyfikowano ponad 180 gatunków grzybów ECM, z czego 71 uznano za szczególnie interesujące i cenne przyrodniczo, poświęcając im omawiany artykuł. Jest wśród nich 16 gatunków notowanych po raz pierwszy w Polsce, 23 gatunki zagrożone, wymienione na aktualnej czerwonej liście (Wojewoda, Ławrynowicz 2006), w tym dwa podlegające ochronie prawnej (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 października 2014 r.) oraz 32 inne gatunki znane z nie więcej niż 10 współczesnych stanowisk w kraju. Dla każdego z opracowanych gatunków podano charakterystykę siedlisk uwzględniającą cechy fizykochemiczne podłoża (na podstawie analiz prób glebowych) oraz komentarz na temat występowania gatunku w Europie i w Polsce. Czterdzieści osiem wybranych gatunków zilustrowano kolorowymi fotografiami zebranych kolekcji. Sto pięćdziesiąt jeden sekwencji ITS reprezentujących wybrane 58 gatunków udostępniono w repozytorium danych molekularnych GenBank.

Prezentowane wyniki badań wykazały bardzo wysoki potencjał niezanieczyszczonych metalami ani odpadami przemysłowymi zwałowisk górniczych i drzewostanów rekultywacyjnych w zakresie utrzymywania wyjątkowej różnorodności grzybów ECM, znaczącej w skali lokalnej, krajowej i europejskiej. Zapewniają one unikalne siedliska dla wielu gatunków pionierskich, związanych z przejściowymi, krótkotrwałymi, półotwartymi fazami rozwoju zbiorowisk leśnych, na glebach mineralnych o niskiej zawartości materii organicznej lub zaburzonych. Jako izolowane i stosunkowo wysokie wyspy materiałów geologicznych nieobecnych na powierzchni ziemi w promieniu nieraz setek kilometrów, stanowią refugium dla rzadkich gatunków znanych z odległych stanowisk, zwłaszcza północnych, górskich czy oligotroficznych. Ma to szczególne znaczenie w kontekście postępujących zmian klimatu i globalnego ocieplenia. Jednocześnie świadczy to o możliwościach i znaczeniu ekologicznym długodystansowego transportu zarodników

grzybów oraz o znaczeniu gatunków rzadkich dla sukcesji na trudnych siedliskach. Zwałowanie materiałów geologicznych o zróżnicowanym pochodzeniu i właściwościach fizykochemicznych w obrębie jednego obiektu, zastosowanie różnych technik i materiałów rekultywacyjnych oraz sukcesywne nasadzenia różnych gatunków drzew powodujące powstanie różnowiekowych drzewostanów sprzyjają jednoczesnej egzystencji grup gatunków grzybów ECM o bardzo różnych wymaganiach ekologicznych: związanych z glebami zasobnymi i bogatymi w węglan wapnia, z glebami piaszczystymi i oligotroficznymi, a także z siedliskami o odczynie kwaśnym. Dodatkowo, niesprzyjająca i rzadko spotykana kombinacja warunków siedliskowych (ekstremalne pH, wysoka lub niska zawartość nutrientów, unikalna struktura i niekorzystne właściwości fizyczne podłoża, trudne warunki mikroklimatyczne) tworzy silny filtr środowiskowy. Eliminuje on znaczną część gatunków dostępnych w lokalnej i regionalnej puli, umożliwiając skuteczną kolonizację i egzystencję gatunkom rzadkim, mniej konkurencyjnym i wąsko wyspecjalizowanym. Wiele z nich to gatunki zagrożone, wymieniane na czerwonej liście, albo gatunki, które być może na tej liście powinny się znaleźć, jak gatunki północne czy o bardzo rozproszonych zasięgach. Do najcenniejszych gatunków należą taksony bardzo rzadkie w skali Europy, w większości opisane dla nauki w ciągu ostatnich 15 lat i bardzo słabo poznane:

- *Cortinarius murinascens* Kytöv., Niskanen & Liimat. – opisany w 2014 roku, znany ze stanowiska w Finlandii i Kanadzie,
- *Cortinarius pseudofallax* Carteret – opisany w 2004 roku, znany dotychczas z pojedynczych stanowisk w Hiszpanii, Finlandii, Szwecji i Estonii,
- *Hebeloma danicum* Gröger – gatunek bardzo rzadki, znany współcześnie z pojedynczych stanowisk we Francji, Danii, Szwecji i Finlandii, uważany do niedawna za wymarły w Polsce, z jednym współczesnym stanowiskiem podanym z Gór Świętokrzyskich,
- *Hebeloma populinum* Romagn. – gatunek bardzo rzadki, potwierdzony jedynie na 3 stanowiskach w Anglii, Francji i Grecji,
- *Inocybe griseotarda* Poirier – gatunek opisany w 2002 roku, dotychczas znany z pojedynczych stanowisk we Francji, Holandii i Chorwacji,
- *Inocybe lanatopurpurea* Esteve-Rav. & G. Moreno – gatunek opisany w 2014 roku, znany dotychczas z 3 stanowisk w Hiszpanii i jednego w Estonii,
- *Inocybe myriadophylla* Vauras & E. Larss. – gatunek opisany w 2011 roku z Finlandii i Szwecji, znaleziony jeszcze na Svalbardzie i w Estonii,
- *Inocybe semifulva* Grund & D. E. Stuntz – gatunek bardzo rzadki, znany dotychczas jedynie z kilku stanowisk w Estonii, Finlandii i Niemczech,
- *Laccaria macrocystidiata* (Migl. & Lavorato) Pázmány – gatunek bardzo rzadki, opisany z Sardynii, znany z kilku stanowisk we Francji.

Wśród interesujących gatunków wymienionych w omawianej pracy ważne miejsce zajmują grzyby z rodzaju *Hebeloma* (19 gatunków). Są to taksony bardzo trudne, zwykle pomijane lub błędnie identyfikowane, w wielu wypadkach nierozróżnialne na podstawie regionu ITS nrDNA. Zostały one zweryfikowane dzięki współpracy z Prof. Henrym Bekerem (Bruxelles) i Dr Ursulą Eberhardt (Staatliches Museum für Naturkunde, Stuttgart), którzy w 2016 roku opublikowali europejską monografię rodzaju *Hebeloma* (Beker et al. 2016). Wiele kolekcji *Hebeloma* znalezionych przeze mnie na badanych zwałowiskach okazało się należeć do gatunków (lub ich nowych kombinacji) opisanych w 2015 i 2016 roku (*H. aanenii*, *H. celatum*, *H. erebium*, *H. geminatum*). Kolekcje z Góry Kamieńsk zebrane do 2011 roku zostały uwzględnione w wymienionej monografii.

Wykazanie powszechnej obecności w drzewostanach rekultywacyjnych niektórych gatunków z rodzaju *Hebeloma*, w tym taksonów dotychczas nieidentyfikowanych (*H. aanenii*, *H. geminatum*, *H. eburneum*, *H. cavipes*) potwierdza ich potencjalną przydatność do sztucznej mykoryzacji sadzonek. W Polsce stosuje się mykoryzację gatunkiem określanym jako *H. crustuliniforme* (prawdopodobnie jest to jeden z wymienionych wyżej gatunków). Wyniki przeprowadzonych przeze mnie badań dostarczają informacji o taksonomii i wymaganiach ekologicznych gatunków *Hebeloma*, które mogą być kluczowe dla dalszych badań nad efektywnością mykoryzacji i dla wyboru odpowiednich gatunków *Hebeloma* przeznaczonych do mykoryzacji sadzonek przeznaczonych na podobne siedliska.

Przedstawione badania są pierwszymi w Polsce i unikatowymi w Europie tak kompleksowymi studiami różnorodności i wymagań ekologicznych grzybów występujących na niezanieczyszczonych zwałowiskach pogórnicych.

### *Grunty porolne*

1. **Kałucka I.L.**, Jagodziński A.M. 2016. Successional traits of ectomycorrhizal fungi in forest reclamation after surface mining and agricultural disturbances: A review. *Dendrobiology* 76: 91-104.

Drugą część pracy **Kałuckiej i Jagodzińskiego (2016)** poświęcono problemom kształtowania się zbiorowisk grzybów ECM i ich różnorodności na zalesianych gruntach porolnych. Grunty wyłączone z produkcji rolnej stanowią poważny problem na świecie, a w Europie stały się jedną z wybijających się cech współczesnego krajobrazu (Stoate et al. 2009) i ważnym problemem ze względu na trudności w ich renaturalizacji (Cramer et al. 2008). Głównym sposobem przywracania ich funkcji ekologicznych i użytkowych zalecanych m.in. przez FAO (2001) jest jak najszybsze zalesianie. Często jednak, szczególnie w przypadku terenów wcześniej poddawanych intensywnym zabiegom

agrotechnicznym, zaburzenia właściwości fizykochemicznych i mikrobiologicznych gleb wpływające na przebieg odnawiania się roślinności utrzymują się ponad 100 lat (van der Wal et al. 2006; von Oheimb et al. 2008). Powodzenie procesu zalesiania i rozwój drzewostanów w tych warunkach również zależy w dużym stopniu od obecności odpowiednich gatunków grzybów ECM i zdolności tworzenia przez nie związków symbiotycznych z młodymi drzewami w warunkach sukcesji wtórnej.

W glebach ekstensywnie użytkowanych rolniczo propagule grzybów ECM osiadające z powietrza i przynoszone przez zwierzęta, tworzące aktywny bank spor, charakteryzują się niskim potencjałem inokulacyjnym i rzadkim, punktowym rozmieszczeniem silnie uzależnionym od intensywności orki (Boerner et al. 1996). Po zaprzestaniu użytkowania potencjał ten szybko rośnie, osiągając poziom podobny do terenów niezaburzonych po 25-30 latach. Wczesne zbiorowiska grzybów ECM, mające zdolność kolonizacji korzeni siewek i wspomaganie rozwoju drzew w pierwszych latach wzrostu na gruntach porolnych, składają się głównie z gatunków należących do rodzajów *Rhizopogon*, *Suillus*, *Laccaria*, *Hebeloma*, *Thelephora*, *Paxillus*, *Inocybe*, *Lactarius*, *Cortinarius*, *Amphinema*, *Amanita* i *Leccinum* (podstawczaki) oraz *Cenococcum* i *Wilcoxina* (workowce). Prócz czasu, jaki upłynął od zaprzestania uprawy, wpływ na występowanie i aktywność inokulum ECM w glebach porolnych ma odległość od niezaburzonego zbiorowiska leśnego, które stanowi źródło propagul grzybów ECM, także za pośrednictwem korzeni drzew sięgających daleko poza brzeg lasu (Dickie, Reich 2005). Nieraz jednak, mimo obecności inokulum mykoryzowego, proces spontanicznej kolonizacji dawnych pól przez drzewa bywa znacznie opóźniony przez trudności w rekrutacji siewek, na przykład z powodu szybkiego rozwoju roślinności zielnej, zwłaszcza trawiastej. Dlatego często stosuje się zalesianie gruntów porolnych poprzez aktywne nasadzenia.

W omawianej pracy przedstawiłam również wyniki własnych badań wykonanych w chronosekwencji plantacji sosnowych na gruntach porolnych w BOP. Obserwacje owocników grzybów ECM prowadzono przez 3 lata na 9 stałych powierzchniach po 1000 m<sup>2</sup>, założonych w drzewostanach sosnowych w wieku 1-42 lata, łącznie wykonując na każdej z nich po 20 obserwacji. W omawianym artykule skupiłam się na rozwoju zbiorowisk grzybów ECM w młodych drzewostanach reprezentujących 3 klasy wieku: 2-4 lata po wysadzeniu sadzonek, 5-7 lat (początkowy okres zwierania się koron drzew) oraz 11-13 lat (po zwarciu koron drzew) (Kałucka, Jagodziński 2016, Tabela 2). Zbiorowiska te charakteryzowały się szybkim wzrostem liczby gatunków i produkcji owocników. Pierwsze owocniki pojawiły się w trzecim roku po wysadzeniu sadzonek i były to *Hebeloma cavipes*, *Laccaria proxima*, *Inocybe lacera* i *Suillus luteus*. W kolejnym roku dołączyły do nich *Hebeloma mesophaeum*, *Thelephora terrestris* i *Tomentella* sp. W drzewostanach 7- i 13-letnim, w okresie zwierania się koron drzew i wkrótce po nim, notowano już odpowiednio 16 i 15 gatunków. Obok taksonów pionierskich i wczesnosukcesyjnych pojawiły się grzyby typowe dla starszych zbiorowisk leśnych,

zwłaszcza z rodzaju *Lactarius*, *Tricholoma* i *Russula*. Wzrostowi liczby gatunków towarzyszyła częściowa ich wymiana, a także zmiana stosunków dominacji w produkcji owocników wskazująca na sukcesyjne zmiany aktywności różnych grup funkcjonalnych grzybów ECM. Maksymalny poziom produkcji owocników grzybów ECM obserwowano w okresie zwierania się koron drzew, który odpowiada także intensywnemu przyrostowi biomasy korzeni drobnych (Jagodziński, Kałucka 2011), co sugeruje ścisłe ilościowe związki rozwoju drzewostanu i zbiorowiska jego symbiontów mykoryzowych.

Porównując opisaną wyżej dynamikę zbiorowisk grzybów ECM w młodych drzewostanach sosnowych pochodzących z nasadzenia z dynamiką zbiorowisk w odpowiadających im drzewostanach powstałych spontanicznie (Kałucka 2009) wysunęłam tezę, że proces sukcesji w obu przypadkach przebiega według podobnego schematu, ale w uprawie ulega wyraźnemu przyspieszeniu. Zwróciłam uwagę, że kluczowy w obu przypadkach okres zwierania się i przegęszczania koron drzew, oznaczający przebudowę struktury drzewostanu, akumulację materii organicznej i przyspieszenie kształtowania się siedliska o leśnym charakterze, cechuje także znaczący wzrost liczby gatunków grzybów ECM i produkcji biomasy ich owocników, z zaznaczającym się wkrótce wysokim udziałem rodzaju *Tricholoma*. Etap ten obserwowałam w drzewostanach powstających spontanicznie, kiedy drzewa miały 15-20 lat, natomiast w plantacjach – (7)11-13 lat. Sukcesja grzybów ECM w systemie uprawy przebiegała szybciej, ale przy zubożonym składzie gatunkowym (przynajmniej w grupie grzybów produkujących owocniki). W drzewostanach powstających w sposób naturalny bogactwo gatunkowe w czasie zwierania się koron drzew było ponad dwukrotnie wyższe niż w plantacji. Zatem ważnym czynnikiem kształtującym różnorodność i wpływającym na zmiany sukcesyjne zbiorowisk grzybów ECM w młodych drzewostanach na gruntach porolnych jest nie tylko czas od zaprzestania uprawy, wiek drzew i ich tożsamość gatunkowa, ale także struktura drzewostanu oraz rozwój siedliska leśnego.

Sukcesyjna trajektoria zbiorowisk grzybów ECM obserwowana w zalesieniach na zwałowisku Góra Kamieńsk (sukcesja pierwotna) również przebiegała według podobnego schematu, ale w porównaniu do sukcesji wtórnej w plantacjach na gruntach porolnych BOP nieco wolniej (opisany wyżej etap obserwowano w drzewostanach 12-17-letnich). Przesunięcie w czasie wynikało prawdopodobnie z różnic w warunkach glebowych i w parametrach rozwoju drzewostanu. Natomiast różnice jakościowe związane ze składem gatunkowym wskazują na ogromne znaczenie rozprzestrzeniania się spor na długich dystansach geograficznych, zwłaszcza w warunkach ograniczającego działania silnych filtrów środowiskowych. Przedstawione w ramach osiągnięcia naukowego wyniki badań dynamiki zbiorowisk grzybów ECM w sztucznych zalesieniach na gruntach antropogenicznych dają unikatową możliwość porównania ich kształtowania się w warunkach dwóch typów sukcesji (pierwotnej i wtórnej) i wskazują czynniki, które mogą wpływać na tempo i przebieg tego procesu. Ponieważ badania te są kontynuacją i

rozwinięciem kierunku podjętego wcześniej w ramach pracy doktorskiej (sukcesja wtórna spontaniczna na gruntach porolnych), umożliwiając włączenie do porównania trzeciej serii sukcesyjnej i wnioskowanie także w układzie sukcesja spontaniczna i sukcesja wymuszona nasadzeniem drzew.

3. **Kałucka I.**, Agerer R. 2012a. “*Pinirhiza arachnocrystallina*” + *Pinus sylvestris* L. Descriptions of Ectomycorrhizae 13: 61-69.
4. **Kałucka I.**, Agerer R. 2012b. “*Pinirhiza magnocellata*” + *Pinus sylvestris* L. Descriptions of Ectomycorrhizae 13: 71-79.

Podobnie jak w przypadku terenów pogórnicych, a także innych siedlisk antropogenicznych i zaburzonych, również na gruntach porolnych wśród wczesnosukcesyjnych gatunków grzybów ECM wymienia się workowce. Zwykle są to gatunki stwierdzane tylko w postaci mykoryz na korzeniach, rzadko lub w ogóle nie wytwarzające owocników, jak *Phialocephala fortinii*, *Wilcoxina mikolae*, *Cenococcum geophilum* i kompleks *Pezizella ericae*. Są to gatunki kosmopolityczne i bardzo częste, ich obecność stwierdzono również na korzeniach sosny na zwałowisku Góra Kamięńsk i na gruntach porolnych BOP (Mleczko, Kałucka niepubl.). O ile jednak w drzewostanach rekultywacyjnych na zwałowiskach obserwowałam także owocniki rzadkich i interesujących grzybów workowych – *Geopora arenosa*, *Helvella lacunosa*, *Helvella leucomelaena*, *Paxina queletii* (**Kałucka, Jagodziński 2016; Kałucka et al. 2016**), o tyle w drzewostanach na gruntach porolnych w ogóle ich nie notowałam. Analiza mykoryz w drzewostanach sosnowych na gruntach porolnych, prowadzona częściowo we współpracy z prof. Reinhardem Agererem (Ludwig-Maximilians-Universität München), zaowocowała odkryciem dwóch anatomotypów ECM tworzonych przez workowce, które nie miały znanych odpowiedników.

Pierwszy z nich, nazwany *Pinirhiza arachnocrystallina*, charakteryzował się śnieżnobiałą, „koronkową” mufką typu E, w części zewnętrznej złożoną z inkrustowanych strzępek tworzących regularną sieć z „oczkami” wyraźnie widocznymi już pod niewielkim powiększeniem oraz dość obfitą siecią strzępek ekstramatrykalnych wokół mufki (**Kałucka, Agerer 2012a; Kałucka, Agerer 2012c**). *P. arachnocrystallina*, prócz wyraźnych różnic, wykazuje pewne podobieństwo strukturalne do niezidentyfikowanego pod względem taksonomicznym morfotypu *Fagirhiza arachnoidea* oraz *Sphaerozone ostiolatum* i *Pachyphloeus* spp. reprezentujących rodzinę *Pezizaceae*.

Drugi anatomotyp, nazwany *Pinirhiza magnocellata*, charakteryzował się ciemnobrązową, nieco ziarnistą i połyskującą, pseudoparenchymatyczną mufką typu K/O oraz ciemnymi, sztywnymi i długimi strzępkami ekstramatrykalnymi (**Kałucka, Agerer 2012b; Kałucka, Agerer 2012d**). Jego budowa sugeruje przynależność do rodziny



*Pyronemataceae*, ze wskazaniem na kompleks *Genea/Humaria*, *Trichophaea* lub inny, blisko spokrewniony rodzaj.

Badania strukturalne ektomykoryz mają duże znaczenie dla analiz funkcjonalnych i filogenetycznych grzybów ECM. Budowa i zasięg strzępek ekstramatrykalnych i ryzomorfów, stanowiące podstawę wyróżniania typów eksploracyjnych mykoryz, mają dla przykładu decydujący wpływ na objętość gleby wykorzystywanej przez korzenie ECM oraz wykazują związek z różnymi sposobami wykorzystania azotu z gleby (Agerer 2001; Hobbie, Agerer 2010; Weigt et al. 2012). Wiele cech budowy morfologicznej i anatomicznej mykoryz odzwierciedla powiązania filogenetyczne oraz pozostaje w zgodzie z wynikami badań molekularnych, umożliwiając wyciągnięcie wniosków również wtedy, gdy badania molekularne nie przynoszą rozstrzygających rezultatów (Agerer 2006; Wei, Agerer 2011). Poznanie struktury mykoryz tworzonych przez workowce ma szczególne znaczenie, ponieważ stanowią one mniejszość wśród grzybów ECM i są stosunkowo słabo poznane. Opisanie nowe mykoryzy – *P. arachnocrystallina* i *P. magnocellata* – potwierdzają znaczenie grzybów z rodzin *Pezizaceae* i *Pyronemataceae* dla funkcjonowania izolowanych, antropogenicznych zalesień oraz ich „skryty” charakter, rzadko manifestujący się obecnością owocników (w tym podziemnych).

## 2) Zbiorowiska grzybów ECM na antropogenicznych siedliskach leśnych podlegających ponownemu zalesianiu

Zbiorowiska grzybów ECM funkcjonują w lesie w sposób ciągły, świadcząc usługi ekosystemowe zarówno w początkowym stadium jego rozwoju jak i później, zapewniając mu optymalną kondycję i wpływając na produktywność. Pełnią również zasadniczą rolę w utrzymaniu homeostazy i zdolności regeneracyjnych drzewostanów poddanych działaniu różnych czynników zaburzających powodujących powstanie luk, jak lokalne pożary, gradacje owadów, wycinki drzew. Bliskie sąsiedztwo zbiorowisk niezaburzonych oraz obecność w glebie (przynajmniej przez pewien czas) aktywnego inokulum mykoryzowego w postaci zarodników, sklerocjów, grzybni ekstramatrykalnej i zamierających mykoryz na korzeniach, znacznie przyspiesza ponowną kolonizację luk przez drzewa i zwiększa efektywność sztucznych nasadzeń (Kałucka, Jagodziński 2017). Prawidłowości, jakie rządzą rozwojem zbiorowisk grzybów ECM w drzewostanach kolejnych generacji na gruntach leśnych oraz różnorodność grzybów symbiotycznych i czynniki mające na nią wpływ w lasach gospodarczych to zagadnienia jeszcze niezbyt dobrze rozpoznane. Żywa dyskusja toczy się na temat oddziaływania różnych gatunków drzew na zajmowane przez nie siedliska i żyjące w nich organizmy, w tym grzyby. Równie aktualne są w tym kontekście pytania o zbiorowiska grzybów ECM towarzyszące wprowadzanym na grunty leśne obcym gatunkom drzew oraz o znaczenie symbiontów mykoryzowych dla

możliwości ich rozprzestrzeniania się. Wymienionym zagadnieniom poświęcone są dwa artykuły wchodzące w skład przedstawianego osiągnięcia naukowego: praca **Trochy et al. (2012)** oraz **Dickie et al. (2010)**. Obydwie powstały w wyniku badań wykonanych w ramach grantu KBN (PBZ-KBN-087/P04/2003) na dwóch powierzchniach eksperymentalnych Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Siemianicach. Powierzchnie te zostały założone w latach 1970-1971 na zrębie po dojrzałym borze sosnowym na dwóch siedliskach – lasowym i borowym. Na powierzchniach tych posadzono wtedy 14 rodzimych i obcych gatunków drzew (po 9 gatunków na każdej powierzchni, w monokulturowych kwadratach 20×20 m, każdy gatunek w trzech powtórzeniach), tworząc długoterminowe doświadczenie typu *common garden*. W ramach badań mykologicznych prowadziłam na tych powierzchniach obserwacje makroskopowych owocników grzybów w ciągu 3 sezonów wegetacyjnych (21 wizyt).

5. Trocha L.K., **Kałucka I.**, Stasińska M., Nowak W., Dabert M., Leski T., Rudawska M., Oleksyn J. 2012. Ectomycorrhizal fungal communities of native and non-native *Pinus* and *Quercus* species in a common garden of 35-year-old trees. *Mycorrhiza* 22(2): 121-134.

Celem pracy **Trochy et al. (2012)** było określenie różnorodności gatunkowej zbiorowisk grzybów ECM towarzyszących drzewostanom rodzimych i obcych dębów (*Q. robur*; *Q. rubra* – Ameryka Północna) oraz sosen (*P. sylvestris*; *P. nigra* – Europa południowa i południowozachodnia, Azja Mniejsza), a także analiza porównawcza tych zbiorowisk pod kątem biogeograficznego i filogenetycznego zróżnicowania drzew-gospodarzy. W analizie uwzględniliśmy zarówno informacje o występowaniu owocników grzybów ECM jak i mykoryz, łącząc dane o części nad- i podziemnej zbiorowisk tych grzybów. Stwierdziliśmy łącznie 69 taksonów, w tym 28 i 21 związanych odpowiednio z *P. nigra* i *Q. rubra*. Nie było wśród nich gatunków grzybów obcych. Sztucznie wprowadzone obce gatunki drzew znalazły partnerów symbiotycznych w lokalnej mykobiocie, w większości wśród gatunków grzybów słabo wyspecjalizowanych i kosmopolitycznych, o zasięgach holarktycznych. Wykazaliśmy także, że *Q. rubra*, gatunek uznawany za inwazyjny, może tworzyć nowe związki mykoryzowe z grzybami europejskimi nie występującymi w Ameryce, jak *Tuber puberulum*. Zatem mykoryza prawdopodobnie nie jest czynnikiem ograniczającym obserwowane rozprzestrzenianie się *Q. rubra* w Europie. Uzyskane wyniki potwierdziły także kluczowe znaczenie tożsamości gatunkowej i pochodzenia drzewa-gospodarza dla różnorodności gatunkowej grzybów ECM. Większy dystans filogenetyczny między gatunkami drzew prowadzi do mniejszego podobieństwa zbiorowisk grzybów. Natomiast dłuższy czas koewolucji i mniejszy dystans geograficzny powoduje większe podobieństwo zbiorowisk grzybów. Stwierdziliśmy także, że drzewostany sosnowe, zarówno *P. sylvestris* jak i *P. nigra*, charakteryzowały się dużo wyższą różnorodnością (współczynnik H) niż dębowe. Wysoki wskaźnik dominacji w drzewostanach dębowych, wynikający głównie z

przytłaczającej obfitości workowca *Cenococcum geophilum* (takson kosmopolityczny, bardzo częsty w siedliskach wczesnosukcesyjnych i zaburzonych) i „śladowej” obecności większości pozostałych gatunków świadczy o nieustabilizowanej i dość przypadkowej strukturze zbiorowisk ECM, które rozwinęły się w drzewostanach dębowych (zwłaszcza *Q. rubra*) na siedlisku leśnym wykształconym wcześniej pod dojrzałym borem sosnowym. Jednocześnie, drzewostany dębowe i sosnowe charakteryzowały się stosunkowo wysoką liczbą gatunków wspólnych. Wskazuje to na silne i długotrwałe oddziaływanie czynników związanych z historią użytkowania gruntów leśnych na różnorodność i sukcesyjną trajektorię zbiorowisk grzybów ECM kolejnej generacji drzewostanu.

6. Dickie I.A., Kałucka I., Stasińska M., Oleksyn J. 2010. Plant host drives fungal phenology. *Fungal Ecology* 3(4): 311-315.

Badania zbiorowisk grzybów ECM powstających w drzewostanach różnych gatunków drzew wykonane na opisanych wyżej leśnych powierzchniach eksperymentalnych pozwoliły wykazać wpływ wielu czynników na ich aktualną różnorodność i strukturę. Co więcej, dzięki zmuśnym obserwacjom pojawów owocników ujawniliśmy istnienie mechanizmu, który może mieć udział w samym tworzeniu się zróżnicowania gatunkowego grzybów (Dickie et al. 2010). Analizując rytmikę produkcji owocników 90 gatunków grzybów w drzewostanach 14 gatunków drzew w trzech sezonach wegetacyjnych wykazaliśmy istotny statystycznie wpływ tożsamości drzew na fenologię 4 rodzajów grzybów (grzyby ECM: *Amanita*, *Russula* i *Paxillus*; saprotroficzne grzyby naściółkowe: *Rhodocollybia*) i dwóch najliczniejszych gatunków (*Paxillus involutus* i *Rhodocollybia butyracea* var. *asema*). Oznacza to, że przynależność taksonomiczna drzew może determinować czas pojawów owocników grzybów sprawiając, że zarodniki tego samego gatunku grzyba produkowane są w różnych drzewostanach w różnym czasie (niejednocześnie). Mechanizm ten może w konsekwencji prowadzić do częściowej izolacji rozrodczej i allochronicznej specjacji sympatrycznej, stwarzając możliwość rozwoju specjalizacji w stosunku do gatunku drzewa-gospodarza mykoryzowego lub typu rozkładanej ściółki. Może to być skutkiem zróżnicowania terminu dostarczania grzybni odpowiednich zasobów węgla (np. jego alokacji do korzeni drzew w przypadku grzybów ECM lub opadu liści w przypadku grzybów saprotroficznych). Ponieważ gatunki grzybów charakteryzują się różnym okresem żywotności zarodników i różną ich odpornością na czynniki środowiskowe, mechanizm ten powinien mieć mniejsze znaczenie dla grzybów o „długowiecznych” zarodnikach, np. dla wielu grzybów ECM o właściwościach pionierskich, zdolnych do tworzenia trwałych banków spor, ważnych we wczesnych etapach sukcesji i po zaburzeniach. Natomiast dla silnie konkurujących gatunków leśnych może to być mechanizm powodujący różnicowanie nisz ekologicznych. Zrozumienie

procesów różnicowania funkcjonalnego i specjacji u grzybów jest ciągle niewystarczające i wymaga dalszych badań.

#### **D. Podsumowanie najistotniejszych dokonań związanych z realizacją przedstawianego osiągnięcia naukowego**

Do najważniejszych dokonań związanych z realizacją przedstawianego osiągnięcia naukowego zaliczam:

- Opisanie serii sukcesyjnych grzybów ECM w chronosekwencji plantacji sosny na zwałowisku pogórnym (sukcesja pierwotna) i na gruntach porolnych (sukcesja wtórna) we wczesnych etapach kształtowania się zbiorowisk leśnych. Wskazanie ścisłych związków różnorodności i dynamiki zbiorowisk grzybów ECM z wiekiem i strukturą drzewostanów oraz z warunkami siedliskowymi, potwierdzenie wpływu zmian powiązanych w czasie ze zwieraniem się koron drzew na trajektorie sukcesyjne grzybów ECM niezależnie od typu sukcesji.
- Wykazanie na podstawie analizy danych publikowanych oraz badań własnych, że zdolność uruchamiania procesów sukcesyjnych i ich regulacji jest jedną z ważniejszych usług ekosystemowych, które świadczą grzyby ECM we wczesnych etapach kształtowania się ekosystemu leśnego na przekształconych gruntach antropogenicznych. Funkcje te są równie ważne w procesie sukcesji pierwotnej i wtórnej na terenach, których powstanie wiąże się z intensywną działalnością człowieka (np. górnictwo, rolnictwo, wyrąb lasów), a także realizują się zarówno w przypadku spontanicznej kolonizacji otwartego terenu przez drzewa jak i na terenach zalesianych poprzez celowe nasadzenia.
- Wykazanie na przykładzie zwałowisk pogórnym, że drzewostany rekultywacyjne na trudnych siedliskach antropogenicznych mogą stanowić centra wyjątkowej różnorodności grzybów ECM, znaczącej w skali lokalnej, krajowej i europejskiej. Różnorodność ta, wynikająca z heterogenicznych właściwości podłoża, może być wzmocniana poprzez zróżnicowanie technik rekultywacyjnych i wielogatunkowe nasadzenia rozciągnięte w czasie (powstanie różnowiekowych drzewostanów).
- Wykazanie, że silne działanie filtrów środowiskowych na zwałowiskach pogórnym może ograniczać występowanie gatunków grzybów ECM właściwych dla lokalnej i regionalnej puli, umożliwiając skuteczną kolonizację i egzystencję gatunkom rzadkim, mniej konkurencyjnym i wąsko wyspecjalizowanym. W rezultacie drzewostany rekultywacyjne mogą stanowić refugia dla wielu gatunków cennych przyrodniczo i pełnić funkcje ochronne.

- Wykazanie znaczenia długodystansowego transportu zarodników dla składu gatunkowego bioty grzybów ECM w trudnych i nietypowych warunkach siedliskowych.
- Wykazanie występowania na zwałowiskach 71 gatunków szczególnie wartościowych dla bioróżnorodności Polski, w tym 16 gatunków notowanych po raz pierwszy w kraju, 23 gatunków zagrożonych, wymienionych na aktualnej czerwonej liście (w tym 2 podlegające ochronie prawnej) oraz 32 innych gatunków znanych z nie więcej niż 10 współczesnych stanowisk w kraju. Wiele z nich to gatunki znane z pojedynczych stanowisk na świecie, bardzo słabo poznane. Wniesienie nowych informacji na temat preferencji ekologicznych i siedlisk zajmowanych przez te gatunki, zwłaszcza w odniesieniu do trudnych rodzajów – *Cortinarius*, *Inocybe* i *Hebeloma*. Informacje te mogą mieć znaczenie przy opracowywaniu kolejnej edycji czerwonej listy grzybów wielkoowocnikowych zagrożonych w Polsce.
- Potwierdzenie znaczącego udziału workowców w różnorodności zbiorowisk grzybów ECM we wczesnych etapach sukcesji na gruntach pogórnicych i porolnych, w tym gatunków rzadkich.
- Wykazanie powszechnej obecności niektórych gatunków z rodzaju *Hebeloma*, w tym taksonów dotychczas nieidentyfikowanych, w młodych drzewostanach rekultywacyjnych na gruntach pogórnicych i w nasadzeniach na gruntach porolnych, co potwierdza ich potencjalną przydatność do sztucznej mykoryzacji sadzonek rozwijanej w Polsce. Dostarczenie informacji o ich taksonomii i wymaganiach ekologicznych, które mogą być wykorzystane w dalszych badaniach nad efektywnością mykoryzacji i przy wyborze odpowiednich gatunków *Hebeloma* przeznaczonych do mykoryzacji sadzonek przeznaczonych na podobne siedliska.
- Wykazanie, że obce dla polskiej flory gatunki drzew, jak *Pinus nigra* i *Quercus rubra*, wprowadzone do drzewostanów wtórnych, znajdują partnerów symbiotycznych w lokalnej biocie grzybów ECM, w większości wśród gatunków słabo wyspecjalizowanych i kosmopolitycznych, o zasięgach holarktycznych. Co więcej, *Q. rubra* może tworzyć nowe związki mykoryzowe z grzybami europejskimi nie występującymi w Ameryce. Zatem mykoryza prawdopodobnie nie jest czynnikiem ograniczającym rozprzestrzenianie się *Q. rubra* w Europie.
- Potwierdzenie kluczowego znaczenia tożsamości gatunkowej i pochodzenia drzewa-gospodarza dla różnorodności gatunkowej grzybów ECM. Zarówno większy dystans filogenetyczny jak i geograficzny między gatunkami drzew prowadzi do mniejszego podobieństwa zbiorowisk grzybów ECM.
- Wykazanie silnego i długotrwałego wpływu historii użytkowania gruntów leśnych na różnorodność i sukcesyjną trajektorię zbiorowisk grzybów ECM kolejnej generacji drzewostanu.

- Udowodnienie istnienia mechanizmu allochronicznej specjacji sympatrycznej u grzybów ECM i saprotroficznych, polegającego na regulacji fenologii produkcji owocników w zależności od przynależności taksonomicznej współwystępujących drzew. Mechanizm ten może prowadzić do rozwoju specjalizacji grzybów ECM w stosunku do drzew-gospodarzy oraz grzybów saprotroficznych względem typu rozkładanego substratu.

## Literatura

- Agerer R. 2001. Exploration types of ectomycorrhizae. A proposal to classify ectomycorrhizal mycelial systems according to their patterns of differentiation and putative ecological importance. *Mycorrhiza* 11: 107–114.
- Agerer R. 2006. Fungal relationships and structural identity of their ectomycorrhizae. *Mycological Progress* 5: 67–107.
- Babikova Z, Gilbert L, Bruce T, Dewhirst SY, Pickett JA, Johnson D. 2014. Arbuscular mycorrhizal fungi and aphids interact by changing host plant quality and volatile emission. *Functional Ecology* 28: 375–385.
- Beker HJ, Eberhardt U, Vesterholt J. 2016. *Hebeloma* (Fr.) P. Kumm. Edizioni Tecnografica, Lomazzo. (Fungi Europaei; vol 14).
- Boerner REJ, DeMars BG, Leicht PN. 1996. Spatial patterns of mycorrhizal infectiveness of soils long a successional chronosequence. *Mycorrhiza* 6: 79–90.
- Bois G, Piché Y, Fung MYP, Khasa DP. 2005. Mycorrhizal inoculum potentials of pure reclamation materials and revegetated tailing sands from the Canadian oil sand industry. *Mycorrhiza* 15: 149–158.
- Cramer VA, Hobbs RJ, Standish RJ. 2008. What's new about old fields? Land abandonment and ecosystem assembly. *Trends in Ecology and Evolution* 23: 104–112.
- Dickie I.A., Kałucka I., Stasińska M., Oleksyn J. 2010. Plant host drives fungal phenology. *Fungal Ecology* 3 (4): 311-315.**
- Dickie IA, Reich PB. 2005. Ectomycorrhizal fungal communities at forest edges. *Journal of Ecology* 93: 244–255.
- Dighton J. 2016. *Fungi in Ecosystem Processes*. 2<sup>nd</sup> edn. CRC Press, Taylor & Francis. (Mycology; vol 31).
- Egerton-Warburton LM, Querejeta JJ, Allen MF. 2007. Common mycorrhizal networks provide a potential pathway for the transfer of hydraulically lifted water between plants. *Journal of Experimental Botany* 58: 1473–1483.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2001. *Global Forest Resources Assessment 2000 – Main Report*. FAO Forestry Paper 140. FAO, Rome.
- Gebhardt S, Neubert K, Wöllecke J, Müenzenberger B, Hüttel RF. 2007. Ectomycorrhiza communities of red oak (*Quercus rubra* L.) of different age in the Lusatian lignite mining district, East Germany. *Mycorrhiza* 17: 279–290.
- Grzywacz A. 2000. Stan i potrzeby w zakresie mikoryzacji sadzonek drzew leśnych w Polsce na tle produkcji szkółkarskiej oraz zadań w zakresie zwiększenia lesistości kraju. [W:] Rudawska M (red.) *Ektomikoryza. Jej znaczenie i zastosowanie w leśnictwie*. Instytut Dendrologii PAN, Kórnik, s. 78–98.
- Hobbie EA, Agerer R. 2010. Nitrogen isotopes in ectomycorrhizal sporocarps correspond to belowground exploration types. *Plant and Soil* 327(1-2): 71–83.

- Hryniewicz K, Haug I, Baum C. 2008. Ectomycorrhizal community structure under willows at former ore mining sites. *European Journal of Soil Biology* 44: 37–44.
- Jagodziński AM, Kałucka I, Horodecki P, Oleksyn J. 2014. Aboveground biomass allocation and accumulation in a chronosequence of young *Pinus sylvestris* stands growing on a lignite mine spoil heap. *Dendrobiology* 72: 139–150.
- Jagodziński AM, Kałucka I. 2008. Age-related changes in leaf area index of young Scots pine stands. *Dendrobiology* 59: 57–65.
- Jagodziński AM, Kałucka I. 2010. Fine roots biomass and morphology in a chronosequence of young *Pinus sylvestris* stands growing on a reclaimed lignite mine spoil heap. *Dendrobiology* 64: 19–30.
- Jagodziński AM, Kałucka I. 2011. Fine root biomass and morphology in an age-sequence of post-agricultural *Pinus sylvestris* L. stands. *Dendrobiology* 66: 71–84.
- Jung SC, Martinez-Medina A, Lopez-Raez JA, Pozo MJ. 2012. Mycorrhiza-induced resistance and priming of plant defenses. *Journal of Chemical Ecology*: 38: 651–664.
- Kałucka I. 2009. Macrofungi in the secondary succession on the abandoned farmland near the Białowieża old-growth forest. *Monographiae Botanicae* 99: 1–155.
- Kałucka I., Agerer R. 2012a. “Pinirhiza arachnocrystallina” + *Pinus sylvestris* L. Descriptions of Ectomycorrhizae 13: 61-69.**
- Kałucka I., Agerer R. 2012b. “Pinirhiza magnocellata” + *Pinus sylvestris* L. Descriptions of Ectomycorrhizae 13: 71-79.**
- Kałucka I, Agerer R. 2012c. Pinirhiza arachnocrystallina. In: Agerer R. (ed.) Colour atlas of Ectomycorrhizae, plate 210. Einhorn-Verlag +Druck GmbH, Schwäbisch Gmünd.
- Kałucka I., Agerer R. 2012d. Pinirhiza magnocellata. In: Agerer R. (ed.) Colour Atlas of Ectomycorrhizae, plate 211. Einhorn-Verlag +Druck GmbH, Schwäbisch Gmünd.
- Kałucka I.L., Jagodziński A.M. 2016. Successional traits of ectomycorrhizal fungi in forest reclamation after surface mining and agricultural disturbances: A review. *Dendrobiology* 76: 91-104.**
- Kałucka I.L., Jagodziński A.M. 2017. Ectomycorrhizal Fungi: A Major Player in Early Succession. [In:] Varma A., Prasad R., Tuteja N. (eds.) Mycorrhiza: Function, Diversity, State of the Art. 4<sup>th</sup> edn. Springer, in press. DOI: 10.1007/978-3-319-53064-2\_10.
- Kałucka I.L., Jagodziński A.M., Nowiński M. 2016. Biodiversity of ectomycorrhizal fungi in open-cast mine spoil restoration stands in Poland – first time recorded, rare and red-listed species. *Acta Mycologica* 51(2): 1080.**
- Leski T, Pietras M, Rudawska M. 2010. Ectomycorrhizal fungal communities of pedunculate and sessile oak seedlings from bare-root forest nurseries. *Mycorrhiza* 20: 179–190.
- Lunt PH, Hedger JN. 2003. Effects of organic enrichment of mine spoil on growth and nutrient uptake in oak seedlings inoculated with selected ectomycorrhizal fungi. *Restoration Ecology* 11: 125–130.
- Pachlewski R. 1958. Badania mikotrofizmu naturalnych zespołów roślinnych na hałdach górniczych w Knurowie i Gliwicach na Górnym Śląsku. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa* 182: 173–209.
- Parraga-Aguado I, Querejeta J-I, González-Alcaraz M-N, Jiménez-Cárceles FJ, Conesa HM. 2014. Usefulness of pioneer vegetation for the phytomanagement of metal(loid)s enriched tailings: Grasses vs. shrubs vs. trees. *Journal of Environmental Management* 133: 51–58.
- Read DJ, Perez-Moreno J. 2003. Mycorrhizas and nutrient cycling in ecosystems – a journey towards relevance? *New Phytologist* 157: 475–492.
- Rinaldi AC, Comandini O, Kuyper TW. 2008. Ectomycorrhizal fungal diversity: separating the wheat from the chaff. *Fungal Diversity* 33: 1–45.

- Rincón A, de Felipe MR, Fernández-Pascual M. 2007. Inoculation of *Pinus halepensis* Mill. with selected ectomycorrhizal fungi improves seedling establishment 2 years after planting in a degraded gypsum soil. *Mycorrhiza* 18: 23–32.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 października 2014 r. w sprawie ochrony gatunkowej grzybów, Dz.U. poz. 1408 z dnia 16 października 2014 r.
- Simard SW, Beiler KJ, Bingham MA, Deslippe JR, Philip LJ, Teste FP. 2012. Mycorrhizal networks: Mechanisms, ecology and modelling. *Fungal Biology Reviews* 26: 39–60.
- Smith S, Facelli E, Pope S, Smith AF. 2010. Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. *Plant and Soil* 326: 3–20.
- Smith SE, Read DJ. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. 3rd edn. Academic Press.
- Stoate C, Báldi A, Beja P, Boatman ND, Herzon I, van Doorn A, de Snoo GR, Rakosy L, Ramwell C. 2009. Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe – A review. *Journal of Environmental Management* 91: 22–46.
- Świtoniak M, Hulisz P, Kałucka I, Różański S. 2011. Rola monokultur sosnowych w kształtowaniu zasobów węgla organicznego w glebach zwałowiska zewnętrznego KWB Bełchatów. *Roczniki Gleboznawcze* 62: 395–405.
- Świtoniak M, Hulisz P, Różański S, Kałucka I. 2013. Soils of the external dumping ground of the Bełchatów open-cast lignite mine. [In:] Charzyński P, Hulisz P, Bednarek R (eds.) *Technogenic soils of Poland*. Polish Society of Soil Science, Toruń, p. 255–274.
- Taylor AFS, Alexander I. 2005. The ectomycorrhizal symbiosis: Life in the real world. *Mycologist* 19: 102–112.
- Tedersoo L, Smith ME. 2013. Lineages of ectomycorrhizal fungi revisited: Foraging strategies and novel lineages revealed by sequences from belowground. *Fungal Biology Reviews* 27(3–4): 83–99.
- Trocha L.K., Kałucka I., Stasińska M., Nowak W., Dabert M., Leski T., Rudawska M., Oleksyn J. 2012. Ectomycorrhizal fungal communities of native and non-native *Pinus* and *Quercus* species in a common garden of 35-year-old trees. *Mycorrhiza* 22(2): 121-134.**
- van der Heijden MGA, Horton TR. 2009. Socialism in soil? The importance of mycorrhizal fungal networks for facilitation in natural ecosystems. *Journal of Ecology* 97: 1139–1150.
- van der Wal A, van Veen JA, Smant W, Boschker HTS, Bloem J, Kardol P, van der Putten WH, de Boer W. 2006. Fungal biomass development in a chronosequence of land abandonment. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 51–60.
- von Oheimb G, Härdtle W, Naumann PS, Westphal C, Assmann T, Meyer H. 2008. Long-term effects of historical heathland farming on soil properties of forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 255: 1984–1993.
- Wei J, Agerer R. 2011. Two sebacinoid ectomycorrhizae on Chinese pine. *Mycorrhiza* 21: 105–115.
- Weigt RB, Raidl S, Verma R, Agerer R. 2012. Exploration type-specific standard values of extrametrical mycelium – a step towards quantifying ectomycorrhizal space occupation and biomass in natural soil. *Mycological Progress* 11: 287–297.
- Wojewoda W, Ławrynowicz M. 2006. Red list of the macrofungi in Poland. [In:] Mirek Z, Zarzycki K, Wojewoda W, Szelaż Z (eds.) *Red list of plants and fungi in Poland*. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Cracow, p. 53–70.



## 5. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH

### A. Działalność naukowa przed uzyskaniem stopnia doktora

Wyniesione z domu zainteresowania botaniczne, ukształtowane głównie pod wpływem mojej Mamy – botanika i nauczyciela biologii, skłoniły mnie do podjęcia studiów biologicznych na Wydziale Biologii i Nauk o Ziemi UŁ i specjalizacji w zakresie biologii środowiskowej. W okresie studiów byłam aktywnym członkiem Sekcji Botanicznej Studenckiego Koła Naukowego Biologów, uczestniczyłam w czterech obozach naukowych. Bardzo sobie cenię odbycie w czasie studiów 4-tygodniowych praktyk zawodowych w Instytucie Botaniki im. W. Szafera PAN w Krakowie.

Pod wpływem Pani Profesor Marii Ławrynowicz (Uniwersytet Łódzki), która rozbudziła moje zainteresowanie grzybami wielkoowocnikowymi i wprowadziła w świat mykologii, wybrałam specjalizację mykologiczną. Wpływ na utwierdzenie mnie w tym wyborze i decyzji poświęcenia się tej dziedzinie nauki miał także kontakt z Panem Profesorem Władysławem Wojewodą (Instytut Botaniki im. W. Szafera PAN w Krakowie) w czasie wspomnianych praktyk zawodowych. Podnosząc swoje kwalifikacje mykologiczne w czasie studiów chętnie angażowałam się w działalność popularyzatorską, na przykład pomagając w organizacji jesiennych wystaw świeżych grzybów. Po jednej z nich powstał artykuł popularnonaukowy (Nakielska 1989: zał. 4, II.D.38.). Jako studentka odbyłam 1-tygodniową wizytę naukową na Uniwersytecie w Lund (1990) poświęconą zagadnieniom monitoringu grzybów wielkoowocnikowych. W roku 1991 wyjechałam do Wielkiej Brytanii na 6-miesięczne stypendium w ramach programu TEMPUS i jako Research Student na Uniwersytecie w Nottingham uczestniczyłam w projektach badawczych dotyczących porostów (grzybów zlichenizowanych) pod opieką Dr. Petera Crittendena. Badania te kontynuowałam przez kolejne 3 miesiące dzięki stypendium Uniwersytetu w Nottingham, czego efektem była publikacja naukowa (Crittenden et al. 1994: zał. 4, II.D.37.) na temat ograniczającego wpływu niedoboru azotu na wzrost porostów. W uznaniu dla mojej pracy zostałam zatrudniona przez Uniwersytet w Nottingham jako Research Assistant. Brałam udział w projekcie poszukiwania substancji farmakologicznie czynnych w grzybach lichenizujących, w którym współpracowałam z Dr. Peterem Crittendenem i Prof. Davidem L. Hawksworthem (International Mycological Institute, Kew). Po powrocie do kraju kontynuowałam studia, uzyskując w maju 1993 r. tytuł magistra na podstawie pracy magisterskiej „Mikoflora rezerwatu Jodły Łaskie na tle wybranych zbiorowisk leśnych” wykonanej w Pracowni Mikologii Katedry Botaniki UŁ pod kierunkiem prof. dr hab. Marii Ławrynowicz. Praca została nagrodzona przez Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa w roku 1994 w konkursie na najlepszą pracę magisterską dotyczącą ochrony środowiska w grupie prac badawczych i

inwentaryzacyjnych flory i fauny. Wyniki badań opublikowałam w artykule naukowym (Kałucka 1995: zał. 4, II.D.23.).

W 1993 roku rozpoczęłam studia na Studium Doktoranckim Ekologii i Ochrony Środowiska na Wydziale Biologii i Nauk o Ziemi UŁ. Tematem rozprawy doktorskiej wykonanej w Zakładzie Algologii i Mikologii pod kierunkiem prof. dr hab. Marii Ławrynowicz były „Grzyby w sukcesji wtórnej na gruntach porolnych w sąsiedztwie Puszczy Białowieskiej”. Przeprowadzone przeze mnie 3-letnie obserwacje grzybów makroskopowych (mykoryzowych, saprotroficznych i pasożytniczych) w serii sukcesyjnej murawa napiaskowa – bór sosnowy świeży, w zbiorowiskach reprezentujących kolejne fazy spontanicznego powrotu lasu na porzucone pola, wpisywały się w szerszy kontekst długoterminowych badań nad sukcesją wtórną prowadzonych przez prof. dr hab. Janusza B. Falińskiego (Uniwersytet Warszawski) i współpracowników (Faliński 1986, 1998; Faliński et al. 1993). Wstępne wyniki obserwacji zostały opublikowane jeszcze przed zakończeniem projektu (Kałucka, Sumorok 1996: zał. 4, II.D.36.). Wykonane przeze mnie studium udziału grzybów stanowiło dopełnienie modelu sukcesji uwzględniającego rośliny zielne, drzewiaste, mszaki i porosty, wykazując równocześnie wyraźne prawidłowości w dynamice zbiorowisk grzybów i ich silne związki z rozwojem roślinności i siedlisk. Interesujące obserwacje i niezwykle inspirujące dyskusje z Panem Profesorem Januszem Falińskim, Panią Profesor Krystyną Falińską (Instytut Botaniki PAN im. W. Szafera w Krakowie), Panią Profesor Krystyną Czyżewską (Uniwersytet Łódzki) oraz Panią Profesor Anną Bujakiewicz (Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu) sprawiły, że zagadnienia związane z sukcesją grzybów i ich udziałem w rozwoju roślinności leśnej na gruntach antropogenicznych stały się wiodącym tematem mojej dalszej pracy naukowej. Praca doktorska została wysoko oceniona przez recenzentów (2 wnioski o nagrodę). Jej wyniki opublikowałam w formie monografii po uzyskaniu stopnia doktora (Kałucka 2009: zał. 4, II.D.24.), uwzględniając wiele nowych danych z publikacji, które ukazały się w pierwszej dekadzie obecnego wieku. Prezentowałam je również na 5 konferencjach naukowych, w tym 2 zagranicznych.

Równoległe z wykonywaniem badań doktorskich w sposób nieformalny brałam udział w czesko-polsko-włoskim projekcie badawczym pt. „Mycological monitoring in European oak forests” (Copernicus Programme, CIPA-CT93-0186), koordynowanym przez prof. dr hab. Marię Ławrynowicz. Opracowałam podstawy metodyczne badań terenowych i ilościowej analizy wyników obserwacji dla całego projektu, a także przeprowadziłam większość 3-letnich badań terenowych w jednym z siedmiu polskich obiektów objętych projektem (Las Łągiewnicki, Polska Środkowa) i opracowałam ich wyniki. Na podstawie badań na dwóch stałych powierzchniach o łącznym areale 2000 m<sup>2</sup> w zbiorowisku zbliżonym do subatlantyckiej dąbrowy *Calamagrostio-Quercetum* stwierdziłam występowanie 124 gatunków makromycetes, w tym 10 wyraźnie związanych z dębem i 7 gatunków znajdujących się na czerwonej liście. Wyniki zostały opublikowane w formie

artykułu naukowego po uzyskaniu przeze mnie stopnia doktora (Ławrynowicz et al. 2001: zał. 4, II.D.22.).

### **B. Działalność naukowa po uzyskaniu stopnia doktora (omówienie osiągnięć naukowo-badawczych innych niż te wskazane jako podstawa ubiegania się o stopień doktora habilitowanego)**

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora nauk biologicznych w dyscyplinie biologia, specjalność mykologia, zostałam zatrudniona w Zakładzie Algologii i Mikologii Katedry Botaniki UŁ. Moja działalność naukowa koncentrowała się na zagadnieniach ekologii i różnorodności grzybów wielkoowocnikowych, przede wszystkim ektomykoryzowych (ECM). Tematem wiodącym było zróżnicowanie gatunkowe i funkcjonalne grzybów w powiązaniu z kształtowaniem się zbiorowisk leśnych na gruntach antropogenicznych i w warunkach oddziaływania różnych czynników środowiskowych. Od roku 2001 byłam zaangażowana w realizację 5 projektów badawczych, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Komitet Badań Naukowych i Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych, w tym dwóch jako kierownik. Realizowałam również liczne zadania w ramach współpracy nieformalnej z badaczami z kraju i zagranicy. Moja praca naukowo-badawcza, prócz głównego nurtu skupiającego się na zagadnieniu różnorodności grzybów ektomykoryzowych we wczesnosukcesyjnych zbiorowiskach leśnych na siedliskach przekształconych antropogenicznie, stanowiącym temat osiągnięcia naukowego, obejmowała również obszary tematyczne omówione poniżej.

#### 1) Różnorodność taksonomiczna i wymagania ekologiczne grzybów z rodzaju *Hebeloma* na terenie Polski

Podczas realizacji badań nad grzybami ektomykoryzowymi w zalesieniach na zwałowiskach pogórnicych i gruntach porolnych stwierdziłam bardzo częste występowanie grzybów z rodzaju *Hebeloma*. Rodzaj ten należy do szeroko rozpowszechnionych w Europie, tworzy mykoryzę z drzewami liściastymi, iglastymi i niektórymi krzewami, przejawiając różny stopień preferencji w stosunku do gospodarza. O niektórych gatunkach wiadomo było, że mają właściwości pionierskie – tworzą symbiozę z siewkami i młodymi drzewami, często na glebach mineralnych, również inicjalnych i zdegradowanych, w zbiorowiskach naturalnych i antropogenicznych. Są to jednak grzyby nastroczające duże trudności taksonomiczne i identyfikacyjne, bardzo często mylnie oznaczane (zwykle jako jeden z kilku pospolitych gatunków) lub identyfikowane tylko do rodzaju. Obserwując bardzo duże zróżnicowanie owocników tych grzybów i w konsekwencji przewidując wielką różnorodność gatunkową i znaczącą rolę w sukcesji, rozpoczęłam pogłębione studia rodzaju *Hebeloma*. Po nawiązaniu współpracy z Prof.

Henrym Bekerem (Bruxelles), specjalistą w zakresie taksonomii *Hebeloma*, zorganizowałam 4 sesje terenowe poświęcone badaniom tego rodzaju w różnych częściach kraju (szczegóły w zał. 4, III.A.2-3.) i uczestniczyłam w zbieraniu i opracowywaniu ponad 200 kolekcji (voucherów) *Hebeloma* z terenu Polski, m.in. w ramach projektu p.t. „Badania grzybów makroskopowych na terenie Białowieskiego Parku Narodowego ze szczególnym uwzględnieniem rodzaju *Hebeloma*”. Odbyłam również dwie wizyty studyjne w pracowni Prof. Bekera w Brukseli poświęcone metodyce opracowywania i identyfikacji kolekcji *Hebeloma*, zasadom funkcjonowania i wprowadzania rekordów do europejskiej bazy danych o *Hebeloma* oraz weryfikacji moich zbiorów *Hebeloma* z badanych zwałowisk i gruntów porolnych (ponad 450 kolekcji) oraz z Biebrzańskiego Parku Narodowego. Opracowane przeze mnie wyniki badań molekularnych dla tych gatunków zostały zweryfikowane dzięki współpracy z Dr Ursulą Eberhardt i jej zespołem (Staatliches Museum für Naturkunde, Stuttgart). Około 100 polskich kolekcji zebranych przeze mnie lub z moim udziałem zostało wykorzystanych do opracowania taksonomicznego i chorologicznego gatunków *Hebeloma* w europejskiej monografii tego rodzaju (Beker et al. 2016), włączając holotyp *H. aanenii* z Puszczy Białowieskiej. Wyniki badań nad *H. cavipes*, gatunkiem częstym i szeroko rozpowszechnionym, a dotychczas nierozpoznanym w Polsce, były prezentowane na konferencji naukowej, podobnie jak wyniki dotyczące różnorodności grzybów z rodzaju *Hebeloma* na badanych zwałowiskach. Oba zagadnienia zostaną przygotowane do publikacji. Moje doświadczenie w zakresie ekologii i występowania *Hebeloma* wykorzystałam wnosząc istotny wkład w przygotowanie rozdziału *XIV. Ecology and Habitat Keys* wspomnianej wyżej monografii *Hebeloma* (Beker et al. 2016), co zostało podkreślone w imiennym podziękowaniu.

## 2) Rozwój siedlisk i drzewostanów w procesie zalesiania gruntów pogórnich i porolnych

Grzyby ektomykoryzowe, dla których środowiskiem życia jest przede wszystkim gleba, są silnie uzależnione od warunków fizykochemicznych i mikrobiologicznych swoich siedlisk, które również same modyfikują. Jako heterotrofy pozyskujące energię na drodze symbiozy od drzew-gospodarzy są także zależne od rozwoju drzewostanów, którym towarzyszą, jednocześnie wpływając na jego trajektorię. Bez uwzględnienia i głębszego zrozumienia właściwości i dynamiki gleby i zbiorowisk leśnych niemożliwa jest interpretacja zmian, jakie następują podczas sukcesyjnego rozwoju zbiorowisk grzybów i kształtowania się ich różnorodności. Dlatego badając grzyby w drzewostanach na zwałowiskach pogórnich i gruntach porolnych starałam się również poznać warunki środowiska, w którym występowały, zapraszając do współpracy odpowiednich specjalistów.

Szczegółowe badania fizykochemiczne profili glebowych zostały przeprowadzone na wszystkich badanych przeze mnie stałych powierzchniach. Wyniki badań wykonanych w

uprawach sosny na zwałowisku Góra Kamieńsk, jako szczególnie interesujące, były prezentowane na konferencjach naukowych oraz zostały opublikowane (Świtoniak et al. 2011, 2013: zał. 4, II.D.21, II.D.27.). Pokazują one początkowo bardzo powolny proces akumulacji węgla w postaci poziomego organicznego, który w sposób ciągły pojawił się dopiero w drzewostanach 10-letnich i składał się prawie wyłącznie z materiału surowinowego. W kolejnych 10 latach tempo akumulacji uległo 4-krotnemu przyspieszeniu, choć ciągle pozostawało dużo niższe, niż w dojrzałych drzewostanach na glebach leśnych. Całkowite zasoby węgla organicznego (Ol+Aan) w badanych pedonach były również niewielkie w porównaniu z dojrzałymi glebami leśnymi, choć z czasem zawartość próchnicy w poziomie organicznym rosła; nawet jednak w 20-letnich drzewostanach sosnowych poziom organiczny miał charakter inicjalny. Dynamika akumulacji materii organicznej w glebie zwałowiska, określanej jako technosol, może być w sposób istotny powiązana z przebiegiem sukcesji grzybów mykoryzowych, co wymaga dalszych analiz.

Drzewostany na wszystkich badanych przeze mnie stałych powierzchniach na zwałowisku Góra Kamieńsk i na gruntach porolnych w BOP zostały objęte szczegółowymi badaniami dendrometrycznymi. Dotyczyły one przede wszystkim biomasy i morfologii korzeni drobnych sosny (czyli tych, które uczestniczą w związkach mykoryzowych), zmienności ich parametrów wraz z wiekiem drzewostanu oraz w zależności od jego struktury, a także strategii alokacji i akumulacji biomasy w częściach nadziemnych. W chronosekwencji drzewostanów na gruntach porolnych (6-47 lat) wykazaliśmy, że biomasa korzeni drobnych rosła istotnie wraz z wiekiem drzewostanu, ale nieliniowo (Jagodziński, Kałucka 2011: zał. 4, II.D.11.). Najwyższy wzrost w odniesieniu do jednostki powierzchni gleby miał miejsce w drzewostanach 6- i 10-letnich, a następnie biomasa korzeni drobnych stabilizowała się w drzewostanach starszych, czyli po zwarciu się koron drzew. Nie wykazaliśmy statystycznie istotnego związku pomiędzy wiekiem drzewostanów a większością parametrów morfologicznych korzeni drobnych. Natomiast w chronosekwencji drzewostanów rosnących na zwałowisku Góra Kamieńsk (6-20 lat) biomasa korzeni drobnych wzrastała liniowo wraz ze wzrostem wieku drzewostanu, a biomasa korzeni drobnych w najstarszym z badanych drzewostanów była ok. czterokrotnie wyższa niż w drzewostanie najmłodszym (Jagodziński, Kałucka 2010: zał. 4, II.D.12.). Większość parametrów morfologicznych korzeni drobnych okazała się istotnie zależna od wieku drzewostanu. Wykazaliśmy również, że wiek drzewostanu ma istotny wpływ na produkcję nadziemnej biomasy drzew oraz na proporcje jej alokacji w różnych organach – igliwiu, gałęziach, pniach, itd. (Jagodziński et al. 2014: zał. 4, II.D.9.). Na proporcje te mają wpływ również warunki siedliskowe i struktura drzewostanu – trudne warunki zwałowiska pokopalnianego i niższe zagęszczenie drzewostanu spowodowane wyższą śmiertelnością stymulowały wzrost alokacji biomasy do igliwia. Zależności te znajdują też swój wyraz w wartościach indeksu powierzchni liściowej (LAI), który jest istotnie

skorelowany z wiekiem drzewostanu i jego zgęszczeniem, a także z niektórymi elementami biomasy drzewostanu (Jagodziński, Kałucka 2008: zał. 4, II.D.13.).

Liczne, choć fragmentaryczne dane wskazują na powiązania między strukturą zbiorowisk grzybów ECM i jej dynamiką w czasie, a abiotycznymi warunkami siedliskowymi, a także strukturą drzewostanu oraz chronosekwencyjnymi zmianami parametrów korzeniowych i elementów nadziemnych. Przeprowadziliśmy wstępne analizy statystyczne, które wskazują na istnienie silnych i kompleksowych zależności między produkcją owocników grzybów ECM w drzewostanach sosnowych w różnym wieku na zwałowisku Góra Kamieńsk a wieloma parametrami drzewostanów opisującymi np. biomasę elementów nad- i podziemnych. Wykazaliśmy także różny wpływ pH podłoża na produkcję owocników grzybów ECM w zależności od gatunku drzewa-gospodarza. Niektóre z wyników były prezentowane na konferencjach naukowych i zostały przedstawione w raporcie z wykonania projektu badawczego. Po zakończeniu analiz zostaną one przygotowane do publikacji.

### 3) Interakcje zbiorowisk grzybów ze środowiskiem oraz ich rola w kluczowych procesach ekologicznych

Jestem współautorem dwóch oryginalnych artykułów opisujących wielopoziomowe i wieloczynnikowe interakcje ekologiczne mające wpływ na funkcjonowanie ekosystemu leśnego, zwłaszcza na jego bioróżnorodność i sekwestrację węgla. Opisują one wyniki badań wykonanych w ramach realizacji projektu badawczego (PBZ-KBN-087/P04/2003: zał. 4, II.I.4.) na powierzchniach eksperymentalnych Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Siemianicach.

Pierwsza z prac miała na celu ocenę wpływu ok. 100 zmiennych opisujących zbiorowiska i procesy glebowe na kształtowanie się glebowych zasobów węgla w drzewostanach 14 gatunków drzew (Mueller et al. 2015: zał. 4, II.D.8.). Wykazano, że ilość węgla w poziomie organicznym oraz górnych 20 cm gleby mineralnej była silnie negatywnie skorelowana z obfitością dżdżownic oraz silnie pozytywnie skorelowana z ilością glinu, żelaza i protonów w glebie mineralnej. Wyraźne związki z tworzeniem puli węgla organicznego wykazują również wskaźniki jakości i rozkładu ścióły, zwłaszcza tempo depolimeryzacji i efektywność wykorzystywania węgla przez mikroorganizmy (w tym grzyby). Przeprowadzone analizy i uzyskane wyniki pokazały również, że dotychczasowe modele stosowane w badaniach sekwestracji węgla w materii organicznej są zbyt uproszczone i powinny uwzględniać większą liczbę parametrów opisujących ściółę, organizmy glebowe i właściwości gleby.

Druga z wymienionych prac miała na celu wskazanie, jakie czynniki abiotyczne i biotyczne, włączając zróżnicowanie gatunkowe drzewostanu i interakcje między różnymi grupami organizmów, kształtują różnorodność bezkręgowców glebowych w ekosystemie

leśnym w obrębie 10 grup systematycznych obejmujących mikro- i makrofaunę (Mueller et al. 2016: zał. 4, II.D.7.). Analizując ok. 125 zmiennych środowiskowych wskazano czynniki o kluczowym znaczeniu – są to dostępność światła w dnie lasu, obfitość epigeicznych dżdżownic, zawartość fosforu, azotu i wapnia w glebie, odczyn gleby oraz różnorodność lub biomasa grzybów, ścioly i korzeni. Jeśli chodzi o grzyby, to wykazano na przykład pozytywny wpływ różnorodności gatunkowej i biomasy owocników grzybów ECM na różnorodność nicieni Nematoda, różnorodności gatunkowej grzybów nadrewnowych na różnorodność kusakowatych Staphylinidae i biegaczowatych Carabidae oraz biomasy owocników saprotrofów naściółkowych na różnorodność mechowców Oribatida. Wyniki potwierdziły zasadność twierdzenia, że obfitość i zróżnicowanie dostępnych zasobów jest silnym pozytywnym regulatorem różnorodności organizmów glebowych, ale wykazały też, że wpływ poszczególnych czynników może być zależy od grupy – może powodować wzrost bogactwa gatunkowego jednych organizmów, obniżając jednocześnie różnorodność innych.

Różne aspekty kształtowania się i znaczenia bioróżnorodności oraz procesy ekologiczne odpowiedzialne za tworzenie się zasobów węgla w postaci materii organicznej, za ich magazynowanie i uwalnianie, należą obecnie do najbardziej aktualnych zagadnień badawczych, również w mykologii. Jestem współautorem 3 mykologicznych artykułów przeglądowych dotyczących powyższej tematyki.

Pierwszy z nich dotyczy roli grzybów ECM w obiegu węgla w ekosystemach leśnych (Kałucka, Jagodziński 2013: zał. 4, II.D.10). Odnosi się do ich znaczenia dla produkcji pierwotnej, uwzględnia zjawisko przepływu węgla między fotobiontem i mykobiontem oraz alokację tego pierwiastka w struktury i biomasę grzybów ECM. Porusza także problem znaczenia korzeni mykoryzowych i grzybni ekstramatrykalnej jako źródła materii organicznej i czynnika wpływającego na zasoby węgla w glebie leśnej.

Drugi artykuł, poświęcony sukcesyjnym aspektom udziału grzybów ECM w procesie leśnej rekultywacji terenów pogórnich i porolnych, uwzględniający również moje badania oryginalne, wszedł w skład cyklu prac przedstawionych jako osiągnięcie habilitacyjne (Kałucka, Jagodziński 2016).

Trzecia praca, podsumowująca obecny stan wiedzy na temat współzależności sukcesji grzybów ECM i rozwoju roślinności we wczesnych stadiach sukcesji pierwotnej i wtórnej stanowi rozdział w 4. wydaniu znanej książki wydawnictwa Springer pt. *Mycorrhiza: Function, Diversity, State of the Art* (Kałucka, Jagodziński 2017: zał. 4, II.D.25). Uwzględnia on podlegające sukcesji systemy naturalne, jak przedpola lodowców, pustynie wulkaniczne, wydmy, jak i powstałe na skutek intensywnej działalności człowieka – tereny pogórnice, porolne, pożarzyska i zręby. Odnosi się do sukcesyjnych właściwości zbiorowisk grzybów ECM wynikających ze składu gatunkowego, struktury przestrzennej i czasowej, z historii życiowych tworzących je grzybów, sposobów ich dyspersji, preferencji

wobec partnerów symbiotycznych oraz wrażliwości na filtry środowiskowe, które z kolei mają kluczowe znaczenie dla procesów rozwoju zbiorowisk leśnych, możliwości ich wykorzystania i odnawiania ich zasobów. Właściwości te leżą u podstaw usług ekosystemowych świadczonych przez grzyby ECM i jako takie powinny być uwzględniane w polityce rekultywacyjnej i zalesieniowej, zrównoważonej gospodarce leśnej oraz w działaniach związanych z ochroną bioróżnorodności.

#### 4) Różnorodność grzybów ECM towarzyszących gatunkom drzew obcego pochodzenia

Różnorodność zbiorowisk grzybów ECM towarzyszących wprowadzanym na grunty leśne obcym gatunkom drzew oraz znaczenie symbiontów mykoryzowych dla możliwości ich rozprzestrzeniania się na nowych siedliskach to zagadnienia bardzo aktualne i ważne z punktu widzenia ekologii lasu i gospodarowania zasobami leśnymi, zwłaszcza w sytuacji nasilonego transferu różnych gatunków drzew poza ich naturalne zasięgi w celach hodowlanych oraz w warunkach postępujących i potencjalnych zmian klimatu.

Moje zainteresowania tematyką różnorodności grzybów towarzyszących drzewom obcego pochodzenia, których wyrazem była również praca Trochy et al. (2012), należąca do osiągnięcia habilitacyjnego, znalazły kontynuację w badaniach prowadzonych na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego SGGW – Arboretum w Rogowie. W ramach grantu KBN (N304 071 32/2761: zał. 4, II.I.3.) prowadziłam tam 3-letnie obserwacje owocników grzybów wielkoowocnikowych (ECM, saprotroficznych i paogenicznych) na stałych powierzchniach w drzewostanach *Abies cephalonica*, *A. grandis*, *A. procera*, *Acer rubrum*, *A. saccharum*, *Betula alleghaniensis*, *Chamaecyparis pisifera*, *Pinus peuce*, *Pseudotsuga menziesii*, *Quercus rubra*, *Thuja plicata* oraz w sąsiadujących kontrolnych zbiorowiskach łąkowych. Dotychczas opublikowane zostały wyniki badań z drzewostanów trzech gatunków jodeł (Jagodziński et al. 2011; Kasprończak et al. 2011; Skorupski et al. 2011: zał. 4, II.D.18-20.), klonu czerwonego (Wojterska et al. 2012: zał. 4, D.II.16.) oraz sosny rumelijskiej (Kałucka et al. 2013: zał. 4, D.II.14.). W żadnym z badanych drzewostanów obcego pochodzenia nie stwierdzono owocników grzybów obcych dla polskiej czy europejskiej mykobioty. Większość grzybów symbiotycznych i saprotroficznych to gatunki szeroko rozpowszechnione i często spotykane, z reguły słabo wyspecjalizowane. Drzewa obcego pochodzenia, w większości 40-55-letnie, utworzyły trwałe związki symbiotyczne z gatunkami grzybów dostępnych w lokalnej mykobiocie, podobnie jak produkowana przez nie materia organiczna jest rozkładana i wykorzystywana przez grzyby rodzime. O ile liczba gatunków towarzyszących *Pinus peuce* na siedlisku łąkowym była stosunkowo niska, to różnorodność gatunkowa grzybów w drzewostanach jodłowych była porównywalna do różnorodności w drzewostanach kontrolnych. Obserwacje te potwierdzają niski stopień specjalizacji jodły jako rodzaju w stosunku do partnerów mykoryzowych oraz zdolność wielu grzybów makroskopowych do rozkładu



produkowanej przez nią materii organicznej. W przypadku wszystkich opisanych gatunków drzew – *Acer rubrum*, *Pinus peuce*, *Abies cephalonica*, *A. grandis* i *A. procera* stwierdziliśmy obecność ich siewek pod okapem nasadzeń, zwłaszcza w przypadku jodeł, co świadczy o potencjalnej możliwości ich rozprzestrzeniania się. Wszędzie jednak, z wyjątkiem drzewostanów *P. peuce*, obecne były groźne grzyby patogeniczne – *Armillaria* spp. i *Heterobasidion annosum*, które mogą zwiększać ich śmiertelność. Wyniki badań mykologicznych z wymienionych drzewostanów stanowią unikatowe opracowania mykobioty związanej z tymi drzewami daleko poza granicami ich naturalnych zasięgów.

Uczestniczyłam także w przygotowaniu interdyscyplinarnego projektu badawczego mającego na celu poznanie ekologicznych skutków introdukcji północno-amerykańskiego gatunku dębu *Quercus rubra* do lasów Polski środkowej. Jego założenia, zakres planowanych studiów szczegółowych oraz wstępna ocena realnych i potencjalnych zagrożeń i korzyści z wprowadzenia dębu czerwonego do drzewostanów rodzimych zostały opublikowane (Woziwoda i in. 2012: zał. 4, II.D.17.).

#### 5) Zagrożenie i ochrona grzybów

Zainteresowanie zagadnieniami związanymi z zagrożeniem i ochroną grzybów wielkoowocnikowych oraz zaangażowanie w inicjatywy naukowe i popularyzatorskie w tym zakresie towarzyszy mi od początku aktywności naukowej.

Wzięłam udział w projekcie realizowanym przez Europejską Radę Ochrony Grzybów (ECCF) *Distribution, ecology & status of 51 macromycetes in Europe*, mającym na celu opracowanie chorologii i wymagań ekologicznych wybranych 51 rzadkich i w różnym zakresie zagrożonych gatunków grzybów wielkoowocnikowych występujących w Europie, koordynowanym w kraju przez przedstawicielkę Polski w ECCF, prof. Marię Ławrynowicz. Wspólnie z dr. hab. Januszem Łuszczyńskim (Uniwersytet J. Kochanowskiego w Kielcach), jako główni wykonawcy projektu w Polsce, przygotowaliśmy mapy rozmieszczenia tych gatunków, które były lub są notowane w Polsce (38 spośród wytypowanych 51) na podstawie analizy danych publikowanych i innych wiarygodnych źródeł. Opracowaliśmy również informacje o zajmowanych przez nie siedliskach i zbiorowiskach roślinnych, z wyróżnieniem siedlisk Natura 2000. Wyniki naszej pracy zostały włączone do opublikowanej europejskiej monografii pod redakcją Fraiture'a i Otto (2015: zał. 4, II.D.26.).

W ramach prac Sekcji Różnorodność i Ochrona Grzybów Polskiego Towarzystwa Mykologicznego aktywnie uczestniczyłam w przygotowaniu krytycznej analizy aktualnego rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 października 2014 r. w sprawie ochrony gatunkowej grzybów. Efektem jest wydana przez PTMyk publikacja Domian i in. (2015: zał. 4, II.D.32.). Uczestniczyłam również w sesjach terenowych PTMyk, mających na celu badania różnorodności grzybów na terenach chronionych – w Biebrzańskim Parku

Narodowym (Kujawa et al. 2012: zał. 4, II.D.15.) oraz w Parku Narodowym Gór Stołowych (materiał w trakcie analiz, planowana publikacja).

## 6. PODSUMOWANIE DOTYCHCZASOWEJ DZIAŁALNOŚCI NAUKOWEJ

Moja dotychczasowa działalność naukowa koncentrowała się na różnorodności, taksonomii i ekologii grzybów, głównie ektomykoryzowych oraz na zagadnieniach związanych z dynamiką zbiorowisk grzybów ektomykoryzowych w warunkach sukcesji i regeneracji, zwłaszcza na terenach antropogenicznych. Szczególną uwagę poświęciłam kształtowaniu się struktury i różnorodności tych zbiorowisk pod wpływem abiotycznych i biotycznych filtrów środowiskowych (np. właściwości siedliskowych, wieku, składu i struktury drzewostanów, w tym obecności gatunków obcych) oraz znaczeniu tych interakcji we wczesnych stadiach rozwoju lasu. Bliskie są mi także zagadnienia ochrony różnorodności grzybów.

**Jestem autorem lub współautorem 37 publikacji, w tym 4 przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora oraz współredaktorem 1 wydawnictwa w postaci materiałów konferencyjnych. Wśród publikacji, które ukazały się po uzyskaniu przeze mnie stopnia naukowego doktora jest 10 artykułów opublikowanych w czasopiśmie indeksowanych przez Thomson Reuters (baza JCR, lista A MNiSW, w tym 3 z punktacją  $\geq 40$ ), 14 publikacji naukowych w recenzowanych czasopiśmie spoza JCR, 1 monografia, 6 rozdziałów w wydawnictwach monograficznych, 1 publikacja o charakterze popularno-naukowym oraz 1 recenzja wydawnicza.**

**Sumaryczny IF opublikowanych przeze mnie artykułów zgodnie z rokiem ich publikacji wynosi 14,971. Prace te były cytowane 90 razy według bazy danych WoS Core Collection (72 bez autocytowań), a indeks Hirscha wynosi 6 (na dzień 05.03.2017).**

**Liczba cytowań moich publikacji, które ukazały się po uzyskaniu stopnia naukowego doktora, według innych źródeł wynosi 98 (WoS All Databases), 124 (WoS Cited Reference Index), 95 (Scopus; h-index = 6), 190 (Google Scholar; h-indeks = 9). Sumaryczna liczba punktów MNiSW uzyskanych po uzyskaniu stopnia naukowego doktora (włączając osiągnięcie habilitacyjne) wynosi 372.**

Po uzyskaniu doktoratu, wyniki moich badań prezentowałam na 28 konferencjach naukowych, na których przedstawiłam 19 referatów i 9 posterów oraz wygłosiłam 3 referaty na innych spotkaniach naukowych. Uczestniczyłam w organizacji 3 krajowych i 4 międzynarodowych konferencji i warsztatów naukowych. Poszerzałam również swoją wiedzę i umiejętności odbywając 4 wizyty naukowe w Monachium i w Brukseli oraz uczestnicząc w 9 kursach, seminariach i warsztatach szkoleniowych w kraju.

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora recenzowałam 11 manuskryptów publikacji dla czasopiśmie naukowych oraz 1 wniosek grantowy na zlecenie Narodowego Centrum

Nauki w roku 2012. Brałam udział w pracach zespołu przygotowującego ogólnopolski raport o stanie mykologii polskiej dla Komitetu Botaniki PAN w roku 2008.

Prowadziłam współpracę ze specjalistami reprezentującymi krajowe (10) i zagraniczne (12) ośrodki naukowe, zwłaszcza przy realizacji 5 projektów badawczych finansowanych przez MNiSW, KBN i Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych w Warszawie oraz przy przygotowywaniu wspólnych publikacji naukowych.

Biorę aktywny udział w działalności towarzystw naukowych – Europejskiego Towarzystwa Mykologicznego, Polskiego Towarzystwa Mykologicznego oraz Polskiego Towarzystwa Botanicznego.



Łódź, 06 marca 2017 roku

Izabela L. Kałucka