

Załącznik 2

do wniosku z dnia 29.01.2019 r.

o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego

Autoreferat

dr Michał Węgrzyn

**Instytut Botaniki
Wydział Biologii
Uniwersytet Jagielloński
Gronostajowa 3
30-387 Kraków**

Kraków 2019

1. Imię i nazwisko:

Michał Węgrzyn

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe:

doktor nauk biologicznych

Uniwersytet Jagielloński, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi, Kraków, rok 2006, praca doktorska pt. „Porosty piętra kosodrzewiny w polskiej części Tatr Wysokich – studium florystyczno-fitogeograficzne”, Promotor: prof. dr hab. Maria Olech (studia doktoranckie w latach 2002-2006).

magister biologii

Uniwersytet Jagielloński, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi, Kraków, rok 2002, praca magisterska pt. „Porosty epifityczne i naziemne piętra kosodrzewiny i piętra halnego w masywie Babiej Góry”, Promotor: prof. dr hab. Maria Olech (jednolite studia magisterskie na kierunku Biologia w latach 1997-2002).

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:

1.10.2006 – 31.01.2008

Uniwersytet Jagielloński, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi, Instytut Botaniki, Zakład Badań i Dokumentacji Polarnej im. Profesora Z. Czeppego, stanowisko: asystent

01.02.2008 – 31.01.2017

Uniwersytet Jagielloński, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi, Instytut Botaniki, Zakład Badań i Dokumentacji Polarnej im. Profesora Z. Czeppego, stanowisko: adiunkt z tytułem doktora.

31.01.2017 – do chwili obecnej

Uniwersytet Jagielloński, Wydział Biologii, Instytut Botaniki, Zakład Badań i Dokumentacji Polarnej im. Profesora Z. Czeppego, stanowisko: starszy wykładowca.

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

a) tytuł osiągnięcia naukowego:

Wskaźniki poziomów zanieczyszczeń pierwiastkami śladowymi tundry arktycznej Spitsbergenu

b) prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego:

- 1) **Węgrzyn M.**, *Lisowska M., Nicia P. 2013. The value of the terricolous lichen *Cetrariella delisei* in the biomonitoring of heavy-metal levels in Svalbard. *Polish Polar Research* **34**(4): 375–382. DOI: 10.2478/popore

IF₂₀₁₃ = 0,788

IF_{5year} = 1,164

Punkty MNiSW₂₀₁₃ = 15

Liczba cytacji_{WOS}: 11

- 2) ***Węgrzyn M.**, Wietrzyk P., Lisowska M., Klimek B., Nicia P. 2016. What influences heavy metals accumulation in arctic lichen *Cetrariella delisei* in Svalbard? *Polar Science* **10**(4): 532–540. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polar.2016.10.002>

IF₂₀₁₆ = 1,157

IF_{5year} = 1,150

Punkty MNiSW₂₀₁₆ = 20

Liczba cytacji_{WOS}: 4

- 3) ***Węgrzyn M. H.**, Wietrzyk-Pełka P., Nicia P., Lehman-Konera S., Olech M. 2018 Short-term monitoring of Arctic trace metal contamination based on *Cetrariella delisei* bioindicator in Svalbard. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* **87**(4): 3600. DOI: <https://doi.org/10.5586/asbp.3600>

IF₂₀₁₇ = 0,876

IF_{5year} = 1,321

Punkty MNiSW₂₀₁₆ = 25

Liczba cytacji_{WOS}: 0

- 4) **Węgrzyn M.H.**, *Wietrzyk P., Lehmann-Konera S., Chmiel S., Cykowska-Marzencka B., Polkowska Ż. 2018 Annual variability of heavy metal content in Svalbard reindeer faeces as a result of dietary preferences. *Environmental Science and Pollution Research* 25(26): 36693–36701. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3479-8>

IF₂₀₁₇ = 2,800

IF_{5year} = 2,989

Punkty MNiSW₂₀₁₆ = 30

Liczba cytacji_{WOS}: 1

- 5) ***Węgrzyn M.H.**, Wietrzyk-Pełka P., Galanty A., Cykowska-Marzencka B., Sundset M.A. 2019. Incomplete degradation of lichen usnic acid and atranorin in Svalbard reindeer (*Rangifer tarandus platyrhynchus*). *Polar Research* 38, 3375, DOI: <http://dx.doi.org/10.33265/polar.v38.3375>

IF₂₀₁₇ = 1,5

IF_{5year} = 1,892

Punkty MNiSW₂₀₁₆ = 25

Liczba cytacji_{WOS}: 0

* Autor do korespondencji

Sumaryczny IF: 7,121 (zgodny z rokiem opublikowania pracy).

W związku z brakiem IF dla czasopism za rok 2018 podano wartości za rok 2017.

Sumaryczny IF_{5year}: 8,425 (zgodny z rokiem opublikowania pracy).

W związku z brakiem IF_{5year} dla czasopism w roku 2018 podano wartości wskazane w roku 2017.

Suma punktów MNiSW: 115.

W związku z brakiem punktacji MNiSW czasopism za 2017 i 2018 podano wartości za rok 2016.

Suma cytacji według danych Web of Science Core Collection: 18

c) omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Zmiany klimatyczne, jakie w ostatnich latach odnotowuje się w Arktyce istotnie wpływają na funkcjonowanie ekosystemów lądowych północnych obszarów Ziemi (Olech i in. 2011). Silne ocieplenie się regionów polarnych wyraźnie zaznaczyło się w latach 90. XX w., kiedy to średnia roczna temperatura powietrza wzrosła w latach 1995–2005 o ponad 1°C w stosunku do średniej z okresu 1951–1990 (Przybylak 2007). Obecnie w Arktyce obserwowany jest największy w skali światowej wzrost temperatury (Menne, Kennedy 2010). Wyższa temperatura wpływa na wzrost dostępności wody w ekosystemie. Przez cały XX w. obserwuje się procesy ablacyjne istniejących lodowców Arktyki, których intensywność w ostatnich latach jeszcze bardziej się nasila. Wzrost temperatury w okresie zimy arktycznej powoduje również skrócenie okresu zalegania pokrywy śnieżnej, a w wielu rejonach wywołuje wzrost ilości opadów deszczu (Vaughan i in. 2001). Wyższa temperatura i większa dostępność wody powoduje wzrost produkcji pierwotnej roślinności tundrowej (Jónsdóttir 2005), co z kolei stymuluje rozwój populacji roślinożerców. Zwiększanie się liczebności stad renifera (*Rangifer tarandus platyrhynchus*) jest uważane za jedną z przyczyn zmian jakie zachodzą w składzie gatunkowym zbiorowisk tundrowych na Spitsbergenie (Węgrzyn i in. 2011). Coraz większa presja roślinożerców na porosty w okresie zimowym przyczyniła się do wyraźnego ograniczenia zasięgu występowania niektórych gatunków (Joly i in. 2009), które ze względu na powszechność występowania do lat 90. XX w. w zbiorowiskach tundrowych wyznaczone były jako gatunki wskaźnikowe dla poziomów zanieczyszczenia środowiska pierwiastkami śladowymi, potocznie określanymi jako metale ciężkie. Moje pierwsze badania nad rozmieszczeniem zbiorowisk tundrowych przeprowadzone w rejonie Sørkapp Landu wykazały ustępowanie dawniej bardzo częstych gatunków porostów takich jak: *Cetraria islandica*, *Flavocetraria nivalis*, *F. cucullata* i wielu gatunków rodzaju *Cladonia*, na rzecz taksonów, które nie były zgryzane przez renifery, jak np.: *Cetrariella delisei* (Węgrzyn i in. 2011).

Badania nad poziomami zanieczyszczeń pierwiastkami śladowymi tundry arktycznej na Spitsbergenie w aspekcie wzrostu presji ze strony reniferów oraz poszukiwanie i testowanie nowego gatunku wskaźnikowego dla tych zanieczyszczeń, stanowiło, w ostatnich latach główne cele moich badań, których wyniki przedstawione zostały w cyklu pięciu prac wchodzących w skład osiągnięcia habilitacyjnego.

W roku 2008 w ramach wyprawy naukowej Uniwersytetu Jagiellońskiego na Sørkapp Land, regionu będącego południowym fragmentem Spitsbergenu, stwierdziłem zmiany w

zbiorowiskach tundrowych teras nadmorskich pod wpływem wzrostu liczebności populacji renifera żyjącego na Svalbardzie (Węgrzyn i in. 2011). Zmiany w zbiorowiskach roślinnych Sørkapp Landu objęły w największym stopniu gatunki porostów, które jako organizmy kryptogamiczne są jednym z głównych elementów tworzących roślinność tundrową, a które w okresach zimy arktycznej stanowią podstawową bazę pokarmową dla reniferów (Bjørkvoll i in. 2009). Stanowiska gatunków porostów nadmiernie zjadanych odnotowano jedynie na niewielkich płatach, w trudno dostępnych rejonach wybrzeża, głównie na stromych zboczach okolicznych gór. W pierwszej pracy¹ skupiłem się na wstępnych badaniach mających na celu ocenę, czy rozprzestrzeniający się gatunek porostu *Cetrariella delisei* może być wykorzystywany do monitorowania zanieczyszczenia atmosferycznego pierwiastków śladowych w obszarach arktycznych, a tym samym czy można go stosować zamiennie w rejonach, gdzie dotychczas stosowane bioindykatory porostowe takie jak *Cladonia uncialis*, *Flavocetraria nivalis* oraz *F. cucullata* zostały całkowicie zjedzone przez renifery. Kolejną ważną kwestią naukową omawianą w tym artykule była ocena możliwości porównania w przyszłości danych dotyczących poziomów pierwiastków śladowych uzyskanych w wyniku stosowania dotychczasowych bioindykatorów, w tym również gatunku mchu *Racomitrium lanuginosum* i proponowanego obecnie nowego gatunku wskaźnikowego.

Na równinach nadmorskich Sørkapp Landu zebrałem próbki *Cetrariella delisei* i *Racomitrium lanuginosum*, natomiast na zboczach gór w miejscach trudno dostępnych, pozostałe gatunki: *Cladonia uncialis* i *Flavocetraria nivalis*. Wszystkie próby zebranych bioindykatorów poddałem analizie laboratoryjnej na zawartość wybranych pierwiastków śladowych: chromu (Cr), niklu (Ni), żelaza (Fe), miedzi (Cu), ołowiu (Pb), cynku (Zn), kadmu (Cd) oraz manganu (Mn).

Otrzymane wyniki pokazały, że poziomy zanieczyszczeń pierwiastkami śladowymi w plechach *Cetrariella delisei* są zbliżone do poziomów w plechach *Cladonia uncialis*. Natomiast pierwiastki Fe, Cr, Ni, Pb i Zn miały wyższe poziomy u *Cetrariella delisei* niż w plechach *Flavocetraria nivalis*, a wartości dla Cd i Mn były wyższe w próbkach *Flavocetraria nivalis*. W porównaniu tych dwóch gatunków *Cetrariella delisei* oraz *Flavocetraria nivalis*, wskazywane różnice były istotne statystycznie jedynie dla pierwiastków Cr i Ni. W próbkach *Cetrariella delisei* wyniki były porównywalne z wartościami dla próbek *Racomitrium lanuginosum* w odniesieniu do Cr, Ni, Cu oraz Cd, natomiast dla Mn Zn i Fe wartości w próbkach mszaka były nieznacznie wyższe, przy czym różnice nie były istotne statystycznie.

¹ Węgrzyn M., Lisowska M., Nicia P. 2013. The value of the terricolous lichen *Cetrariella delisei* in the biomonitoring of heavy-metal levels in Svalbard. *Polish Polar Research* 34(4): 375–382. DOI: 10.2478/popore

Na podstawie otrzymanych wyników oraz dostępnych danych literaturowych (Jóźwik 2000) stwierdziłem, że poziomy zanieczyszczeń zawartych w próbkach *Cetrariella delisei* są podobne do wartości w próbkach *Cladonia uncialis*. W związku z tym stosowanie *Cetrariella delisei* jako wskaźnika poziomów pierwiastków śladowych i porównanie wyników z gatunkami z rodzaju *Cladonia* spp. wydaje się obiecujące. Natomiast porównywanie wyników otrzymanych przy zastosowaniu *Cetrariella delisei* i *Flavocetraria nivalis* pod względem akumulacji pierwiastków śladowych należy przeprowadzać ostrożnie. Podanie konkretnych przyczyn odpowiadających za różnice pomiędzy tymi dwoma gatunkami jest bardzo trudne. Można przypuszczać, że odpowiadają za to różnice w budowie anatomicznej plech obu porostów. Kora plechy *Flavocetraria nivalis* zbudowana jest z mocno żelowanych strzępek grzybowych stanowiących prawdopodobnie barierę dla dużych cząstek zanieczyszczeń, uniemożliwiając im przedostanie się do wnętrza plechy. Takie strzępki są nieobecne w korze porostów z rodzajów: *Cetraria*, *Cetrariella* i *Cladonia* (Bargagli i Mikhailova 2002). Innym powodem mogą być różne mechanizmy wiązania poszczególnych pierwiastków u badanych gatunków (Bargagli i Mikhailova 2002).

Porównanie poziomów pierwiastków śladowych u badanych gatunków porostów i mszaków jest trudne ze względu na ich różne właściwości akumulacyjne (Jóźwik 2000, Riget i wsp. 2000). W prezentowanych badaniach, jak i w porównywalnych wynikach (Jóźwik 2000; Riget i in. 2000), mech *Racomitrium lanuginosum* wykazywał ogólnie podobny poziom akumulacji pierwiastków śladowych jak *Cetrariella delisei* i *Cladonia uncialis*.

Zmierzone za pomocą bioindykatorów stężenia pierwiastków śladowych, z wyjątkiem Cr i Ni, nie przekraczały poziomów tła zanieczyszczeń dla Arktyki (Bargagli i Mikhailova 2002). Tym samym stosowanie proponowanego gatunku *Cetrariella delisei* do określania poziomów zanieczyszczeń atmosferycznych akumulowanych w plechach jest bardzo obiecujące, zwłaszcza że gatunek ten ma szeroki zasięg geograficzny w obszarach polarnych (Thomson 1984).

W roku 2012 odbyłem kolejną wyprawę badawczą tym razem w rejony NW Spitsbergenu na równinę Kaffiøyra. Na tym terenie kontynuowałem badania nad zagadnieniem akumulacji pierwiastków śladowych pochodzących z zanieczyszczeń atmosferycznych w plechach gatunku porostu *Cetraria delisei*. W badaniach tych opublikowanych w drugiej pracy² skupiłem się na analizie czynników środowiskowych warunkujących tempo akumulacji pierwiastków w plechach porostów. W celu lepszego poznania tych mechanizmów, analizie poddałem również próbki glebowe na których rosły

² Węgrzyn M., Wietrzyk P., Lisowska M., Klimek B., Nicia P. 2016. What influences heavy metals accumulation in arctic lichen *Cetrariella delisei* in Svalbard? *Polar Science* 10(4): 532–540. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polar.2016.10.002>

zebrane plechy porostów. W ramach badań określiłem poziomy akumulacji pierwiastków śladowych: Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Pb i Cd w plechach porostu *Cetrariella delisei* oraz w glebie, na której te porosty występowały wzdłuż transektu od czoła lodowca Waldemara do linii brzegowej równiny nadmorskiej. Próbkę *Cetrariella delisei* i próbki gleby zebrałem w pięciu lokalizacjach wzdłuż transektu o długości około 3 km.

Wyniki badań pokazały, że poziomy stężenie większości zmierzonych pierwiastków były istotnie wyższe w glebie niż w plechach zebranych porostów. Tylko w przypadku Cd różnica była niewielka.

Dla poszczególnych pierwiastków wyliczyłem współczynniki bioakumulacji (BAF), których analiza pokazała różnice w zdolności *Cetrariella delisei* do akumulacji poszczególnych pierwiastków śladowych. Jedynie w przypadku Cd stężenia w plechach i w glebie były porównywalne. W przypadku Cu, Mn i Ni odnotowałem, że stężenie w plechach porostowych jest bardzo niskie, natomiast Cr, Pb i Zn osiągnęły jedynie połowę BAF. Mimo to w porównaniu z innymi badaniami, gdzie dla gatunków porostów był wyliczany współczynnik BAF (Osyczka i in. 2016), poziomy akumulacji biologicznej u *Cetrariella delisei* były wyższe niż u badanych gatunków rodzaju *Cladonia*.

Różnice w stężeniach pierwiastków śladowych w próbkach gleby i porostów, jakie stwierdziłem na stanowiskach wzdłuż transektu od morza do lodowców, potwierdzają znaczenie czynników środowiskowych wpływających na akumulację pierwiastków śladowych. W wyniku przeprowadzonej kanonicznej analizy korespondencji (CCA), za pomocą której przedstawiłem zależności między poziomami pierwiastków śladowych w plechach i w glebie a wybranymi czynnikami środowiskowymi (pH gleby, rodzaj podłoża i odległość od linii brzegowej) stwierdziłem, że głównym czynnikiem wpływającym na poziom pierwiastków w glebie i plechach porostów jest odległość od linii brzegowej. Zależność tę można tłumaczyć w ten sposób, że im bliżej linii brzegowej tym nasila się erozyjna działalność rzek lodowcowych, która bezpośrednio przedkłada się na stabilność podłoża i jego wiek. Dodatkowo dla Mn jego poziom stężenia w glebie zależy od zasobów tego pierwiastka w wytapiającym się lodzie lodowcowym, natomiast odczyn pH gleby ma wpływ na akumulację Cd w glebie i Mn w plechach porostowych.

Poziomy pierwiastków śladowych w glebie są sumą ich akumulacji z różnych źródeł takich jak: podłoże glebowe, opady atmosferyczne, rzeki lodowcowe, dekompozycja tkanek roślinnych i plech organizmów kryptogamicznych. Jednakże należy mieć na uwadze, że porosty mogą selektywnie wychwytywać pierwiastki z podłoża (Chiarenzelli i in. 1997). Zjawisko to jest zależne od gatunków porostów, ich cyklicznego wzrostu i rozkładu plech, a także od samych właściwości chemicznych pierwiastka (Søndergaard, 2013, Garty, 2001).

Porosty wchłaniają pierwiastki śladowe, które po ich obumarciu przekazane są do gleby. Tym samym zwrócono uwagę na rolę porostów w krążeniu pierwiastków śladowych w ekosystemach tundrowych Arktyki.

Dystrybucja pierwiastków śladowych w ekosystemach morskich i lądowych obszarów polarnych jest dynamiczna i uważa się, że czynniki wpływające na ten proces cechuje zjawisko synergii, a źródła pierwiastków śladowych mają zarówno charakter naturalny, jak i są efektem działalności człowieka (AMAP 2002). Antropogeniczne źródła zanieczyszczeń w regionie arktycznym związane są z transportem substancji toksycznych na duże odległości z niższych szerokości geograficznych (Weinbruch i in. 2012). Gromadzenie się pierwiastków śladowych może następować bezpośrednio poprzez depozycję atmosferyczną, a pośrednio przez powstawianie aerozoli morskich, pyłu przenoszonego przez wiatr i wody z topniejącego śniegu i lodowców.

W dotychczasowych badaniach wszystkie uzyskane wyniki poziomów wybranych pierwiastków śladowych były porównywane z danymi literaturowymi. Jednakże w odniesieniu do zaproponowanego nowego bioindykatora *Cetrariella delisei* danych porównawczych jest niewiele. Dlatego też w odniesieniu do tego gatunku opublikowałem w trzeciej pracy³ badania poziomów pierwiastków z dwóch obszarów Spitsbergenu bazując na materiałach zebranych w latach 80. XX w. oraz po roku 2008. Krótko okresowe badania (maksymalnie 30 lat) z użyciem bioindykatorów porostowych są istotne, ponieważ uważa się, że zmiany w poziomach pierwiastków śladowych zależą głównie od zanieczyszczeń powietrza.

W pracy tej przedstawiłem czasowe i przestrzenne różnice w zawartości pierwiastków śladowych, takich jak Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb i Zn, mierzonych w zebranych plechach *Cetrariella delisei*. Próbkę porostów została zebrana na równinie nadmorskiej Calypsostranda (fiord Bellsund) w roku 1988 i 2016 oraz na równinie Hornsundneset (fiord Hornsund) w latach 1985 oraz 2008. Materiały z lat 80. XX w. były przechowywane w Herbariach Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie (LBL) oraz Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie (KRA). Aspekt czasowy odpowiadał okresowi 28 lat dla Calypsostrandy oraz 23 lat dla Hornsundneset, natomiast aspekt przestrzenny zbadano między Hornsundneset w 1985 r. i Calypsostranda w 1988 r. i analogicznie pomiędzy tymi dwoma obszarami w latach 2008 i 2016.

Dla czterech pierwiastków śladowych Co, Cr, Mn i Ni odnotowałem wzrost poziomów dla obu badanych obszarów. Trzy elementy Cd, Cu i Mo wykazały spadek ich

³ Węgrzyn M. H., Wietrzyk-Pelka P., Nicia P., Lehman-Konera S., Olech M. 2018 Short-term monitoring of Arctic trace metal contamination based on *Cetrariella delisei* bioindicator in Svalbard. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 87(4): 3600. DOI: <https://doi.org/10.5586/asbp.3600>

stężen; jednak różnica była istotna statystycznie tylko dla Cu. W przypadku Pb tendencje zaobserwowane w obu obszarach były różne. Stężenie Pb wzrosło w Hornsundneset, ale zmniejszyło się w Calypsostranda. Zawartość cynku w aspektach czasowych i przestrzennych nie wykazała znaczących zmian. Tym samym nie wszystkie pierwiastki śladowe wykazywały obniżenie stężenia w plechach porostów w ciągu 23 lat od 1985 do 2008 w przypadku Hornsundneset i 28 lat od 1988 r. do 2016 dla Calypsostranda. Otrzymane wyniki poddałem dyskusji starając się określić przyczyny odnotowanych zmian w poziomach zanieczyszczeń pierwiastkami w sytuacji, kiedy wyniki monitoringu zanieczyszczenia powietrza nad Arktyką wyraźnie wskazują na spadek zanieczyszczeń lub utrzymywanie się niezmiennych poziomów (Berg i in. 2004). W dyskusji zwróciłem uwagę na fakt, że porosty jako organizmy plechowe, chłone zanieczyszczenia bezpośrednio z powietrza ze względu na brak barier anatomicznych oraz rozpowszechnione w ekosystemach lądowych Arktyki, traktowane są jako dobre bioindykatory. Jednak stosowanie bioindykatorów porostowych stwarza pewne problemy metodologiczne mające duży wpływ na interpretacje wyników. Coraz więcej badań wskazuje na występowanie procesu selektywnej akumulacji poszczególnych elementów w obrębie plechy (Garty 2001). Porosty potrafią gromadzić zanieczyszczenia w przestrzeniach międzykomórkowych, a tym samym lepiej znoszą stres powodowany przez duże dawki zanieczyszczeń. Badania wskazują, że pierwiastki śladowe akumulowane w przestrzeniach międzykomórkowych są łatwo wymienialne, w związku z tym ilości i proporcje pozakomórkowe odzwierciedlają ostatnie zmiany w poziomach zanieczyszczenia powietrza (Garty 2001).

W swoich badaniach wskazuję, że *Cetrariella delisei* jest dobrym bioindykatorem dla krótkoterminowych pomiarów zanieczyszczeń ze względu na powszechną obecność tego gatunku w ekosystemach lądowych Svalbardu. Co więcej, gatunek ten jest łatwy do identyfikacji i stanowi istotny element zbiorowisk tundrowych.

Nie ma informacji na temat długości życia w naturalnych warunkach dla *Cetrarielli delisei* oraz innych porostów krzaczkowatych, takich jak *Flavocetraria nivalis* lub *Cladonia mitis*. Próba znalezienia sposobu na ustalenie wieku plechy i korelacja długości życia z poziomami pierwiastków śladowych w porostach może pozwolić w przyszłości na zaplanowanie badań uwzględniających czynnik tempa akumulacji w jednostce czasu.

Zmiany zachodzące w środowisku naturalnym obszarów polarnych spowodowane są przez rozwój cywilizacyjny. Chociaż Arktyka doświadcza w mniejszym stopniu bezpośredniego wpływu działalności człowieka w porównaniu z innymi obszarami, to jednak środowisko naturalne na tym terenie narażone jest na oddziaływanie pośrednie poprzez transport atmosferyczny toksycznych substancji na dalekie odległości z niższych szerokości

geograficznych (Weinbruch i wsp. 2012). Bez względu na pochodzenie, pierwiastki śladowe mogą mieć znaczące oddziaływanie na środowisko Arktyki ze względu na ich toksyczny wpływ na organizmy żywe. Gromadzenie się zanieczyszczeń w roślinach, a następnie w zwierzętach roślinożernych przyczynia się do obiegu pierwiastków śladowych w ekosystemach lądowych Arktyki (Hallanger i in. 2011). Łańcuchy troficzne w obszarach polarnych składają się ze stosunkowo małej liczby gatunków, które są powiązane szeregiem różnych interakcji. Tak więc obecność zanieczyszczeń w środowisku arktycznym może prowadzić do braku równowagi ekologicznej w polarnym ekosystemie (Koivurova 2005). Według Simõesa i Zagorodnova (2001) z powodu uwarunkowań cyrkulacji atmosferycznej Svalbard jest jednym z obszarów w Arktyce najbardziej dotkniętych skażeniem antropogenicznym.

W trzech wcześniejszych pracach skupiłem się na badaniach nad poziomami zanieczyszczeń pierwiastkami śladowymi w plechach porostów w kontekście zmian ich częstości występowania w zbiorowiskach tundrowych pod wpływem wzrostu presji ze strony reniferów. W kolejnej czwartej pracy⁴ starałem się zbadać sezonowe różnice w zawartości wybranych pierwiastków śladowych mierzonych w odchodach reniferów w dolinie Bolterdalen zlokalizowanej w środkowej części Spitsbergenu. Otrzymane wyniki przeanalizowałem w aspekcie sezonowych zmian w preferencjach pokarmowych reniferów.

Podgatunek renifera zamieszkujący archipelag Svalbard, jest jedynym niemigrującym roślinożercą, który przez cały rok żeruje na tundrze. Ze względu na dużą populację, spowodowaną brakiem naturalnych wrogów, renifery zajmują wszystkie obszary Svalbardu nieobjęte lodowcami. Podczas krótkiego, trzymiesięcznego okresu wegetacji, renifer musi jeść wystarczająco dużo, aby przetrwać i budować dodatkowe rezerwy energii na zimę (Bjørkvoll i in. 2009, Tyler 1986). Jednak długa zima zwykle skutkuje przedwczesnym wyczerpywaniem się zapasów energetycznych, a tym samym zwierzęta zmuszone są do poszukiwania żywności pod warstwą śniegu (Bjørkvoll i in. 2009, Tyler 1986).

Ze względu na specyficzne warunki klimatyczne Svalbardu dieta reniferów dzielona jest na dietę letnią, w której głównymi składnikami pokarmowymi są trawy i rośliny kwiatowe oraz dietę zimową, w której skład wchodzi mszaki, porosty i zdrewniałe części krzewinek (Bjørkvoll i in. 2009). Dieta zimowa składa się z roślinności charakteryzującej się wydłużonym okresem akumulacji pierwiastków śladowych (Bjørkvoll i in. 2009). Długożyjące porosty, mszaki i wieloletnie rośliny o zdrewniałych łodygach są narażone na

⁴ Węgrzyn M.H., Wietrzyk P., Lehmann-Konera S., Chmiel S., Cykowska-Marzencka B., Polkowska Ż. 2018 Annual variability of heavy metal content in Svalbard reindeer faeces as a result of dietary preferences. *Environmental Science and Pollution Research* 25(26): 36693–36701. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3479-8>

akumulację pierwiastków śladowych przez wiele lat. Dlatego też założyłem, że dieta zimowa jest dla tych zwierząt głównym źródłem pierwiastków śladowych.

Do tej pory nie było doniesień na temat zawartości pierwiastków śladowych w odchodach renifera. Badano jedynie zawartość pierwiastków śladowych w tkankach miękkich tych zwierząt. Ponieważ renifery na Svalbardzie uważane są za niemigrujące (Bjørkvoll i in., 2009, Hansen i in. 2010), dane dotyczące zawartości pierwiastków śladowych w ich odchodach mogą być wykorzystane do nieinwazyjnego badania poziomów zanieczyszczenia pierwiastkami śladowymi roślinności tundrowej.

Na podstawie swoich badań stwierdziłem obecność wszystkich analizowanych pierwiastków śladowych w zebranych 30 próbach odchodów letnich i zimowych renifera. Co również dowodzi tego, że nie wszystkie pierwiastki są akumulowane w tkankach miękkich, ale część z nich jest wydalana wraz z odchodami. Niemniej jednak notowane przeze mnie poziomy pierwiastków śladowych w odchodach były niskie w porównaniu z poziomami w roślinach naczyniowych, mszakach i porostach stanowiących dietę reniferów oraz poziomami tych pierwiastków w tkankach miękkich tych zwierząt. Analiza statystyczna potwierdziła znaczące różnice między letnimi i zimowymi odchodami pod względem stężenia wybranych pierwiastków śladowych. Mimo tego trudno jest otrzymane wyniki poddać dyskusji, ponieważ żadne inne dane literaturowe dotyczące zawartości pierwiastków w odchodach reniferów w obszarze arktycznym nie istnieją. Jedynie można się odnieść do badań, które przeprowadzono w 1979 r. w Adventdalen (centralny Svalbard), gdzie pobrano sześć próbek kału z końcowego odcinka jelita grubego reniferów (Staaland i in. 1983). Badania te wykazały również różnice między stężeniami Fe, Cu, Mn i Zn w letnich i zimowych ekskrementach, ale wartości były znacznie wyższe od moich wyników oraz wyższe od poziomów stwierdzonych w roślinności i tkankach miękkich renifera. Zmienny udział procentowy roślin kwiatowych, traw, krzewów, mszaków i porostów zjadanych przez renifery w okresie letnim i zimowym (Bjørkvoll i in. 2009, Staaland i in. 1993), a także różne poziomy zanieczyszczeń w wymienionych elementach diety są główną przyczyną różnic w zawartości pierwiastków śladowych, w tkankach miękkich renifera (Borch-Johnsen i in. 1996). Moje badania pokazały, że ta zmienność pokarmowa ma również wpływ na poziomy pierwiastków śladowych w odchodach tych zwierząt.

Badania opublikowane w tej pracy w przyszłości przyczynią się do rozwinięcia metody szybkiej oceny poziomów pierwiastków śladowych w roślinności tundrowej, a tym samym również zmienności tych zanieczyszczeń w obrębie dolin Svalbardu.

W trakcie prowadzonych badań nad stężeniami pierwiastków śladowych w odchodach reniferów i udziałem poszczególnych elementów roślinności tundrowej w diecie tych

zwierząt, zastanawiałem się, czy w dalszym ciągu porosty, a jeżeli tak, to jakie gatunki, są zjadane przez renifery na Svalbardzie?

Porosty mają zdolność do syntezy substancji chemicznych określanych jako wtórne metabolity (Orange 2001). Pełnią one różnorodne funkcje, w tym obronę przed roślinożercami i drobnoustrojami. Jednymi z najbardziej przebadanych związków produkowanych przez porosty są: kwas usninowy i atranoryna (Cocchietto i in. 2002, Honda i in. 2010, White i in. 2014). Atranoryna (3-hydroksy-4-metoksykarbonylo-2,5-dimetylofenyl; C₁₉H₁₈O₈) jest pochodną β-orcynolu biosyntetyzowaną poprzez szlak acetylopolimalonylowy (Studzińska-Sroka 2017). Kwas usninowy (2,6-diacetylo-7,9-dihydroksy-8,9b-dimetylo-1,3 (2H, 9bH) -dibenzo-furandion; C₁₈H₁₆O₇) jest żółtym pigmentem, który występuje w dwóch postaciach enancjomerycznych (Ingólfssdóttir 2002). Obie substancje są nierozpuszczalne w wodzie.

Ze względu na to, że kwas usninowy i atranoryna są to bardzo trwałe związki organiczne ulegające rozkładowi tylko w wyniku mocnych kwasów mineralnych, postanowiłem sprawdzić czy w zebranych odchodach letnich i zimowych renifera żyjącego na Svalbardzie nie występują oba związki. Ich obecność świadczyłaby, o tym że renifery w dalszym ciągu jedzą porosty syntezujące te związki. Według badań jakie były prowadzone w Skandynawii renifery żyjące na kontynencie europejskim mają specyficzną biotę bakteryjną w układzie pokarmowym, odpowiedzialną za całkowity rozkład kwasu usninowego (Sundset i in. 2010). W odniesieniu do atranoryny nie były prowadzone podobne badania.

Celem moich badań opublikowanych w ostatniej piątej pracy⁵ było uzyskanie odpowiedzi czy renifer żyjący na Svalbardzie może rozkładać w swoim układzie pokarmowym substancje produkowane przez porosty, takie jak kwas usninowy i atranoryna oraz czy renifery w dalszym ciągu szukają i zjadają porosty naziemne krzaczkowate, pomimo ich niewielkiego zasięgu ograniczonego do trudno dostępnych miejsc.

Badania przeprowadzono w trzech etapach, które polegały na: wykonaniu analizy udziału procentowego porostów w zbiorowiskach tundry w dolinie Bolterdalen na Svalbardzie przy pomocy metod fitosocjologicznych; zebraniu próbek porostów naziemnych krzaczkowatych występujących na obszarze badań i poddaniu ich analizie ilościowej w celu określenia stężenia atranoryny i kwasu usninowego; poddaniu zebranych próbek odchodów reniferów analizie jakościowej na wykrycie w nich kwasu usninowego oraz atranoryny, a także analizie ilościowej w celu określenia poziomów tych związków.

⁵ Węgrzyn M.H., Wietrzyk-Pełka P., Galanty A., Cykowska-Marzencka B., Sundset M.A. 2019. Incomplete degradation of lichen usnic acid and atranorin in Svalbard reindeer (*Rangifer tarandus platyrhynchus*). *Polar Research* 38, 3375, DOI: <http://dx.doi.org/10.33265/polar.v38.3375>

Najważniejszym doniesieniem tej pracy było stwierdzenie po raz pierwszy obecności kwasu usninowego (w 75% wszystkich badanych próbek) oraz atranoryny (w 68% wszystkich badanych próbek) w zebranych odchodach renifera wolnożyjącego na obszarze Svalbardu. Do tej pory sądzono, że populacje reniferów całkowicie rozkładają kwas usninowy w swoich układach pokarmowych (Sundset i in. 2010). Tym samym potwierdziłem, że porosty zawierające kwas usninowy i atranorynę w dalszym ciągu stanowią element bazy pokarmowej reniferów. Przyczyn obecności badanych wtórnych metabolitów w odchodach reniferów jest prawdopodobnie wiele. Można do nich zaliczyć: gatunkowe cechy anatomiczne porostów, jak np. w rodzaju *Flavocetraria*, gdzie kwas usninowy zlokalizowany jest w obrębie mocno wyżelowanych komórek kory plechowej. Również odmienna flora bakteryjna zwłaszcza u podgatunku renifera żyjącego na Svalbardzie, w stosunku do renifera żyjącego w Skandynawii może być odpowiedzialna za taki stan. Izolacja geograficzna populacji reniferów żyjących na Svalbardzie może tłumaczyć utratę symbiotycznych mikroorganizmów żwaczowych i przyczyniać się do niecałkowitej degradacji kwasu usninowego oraz atranoryny. Całkowite wyjaśnienia tego zjawiska wymaga dalszych badań nad mikrobiomami i enzymami trawiennymi oraz odchodami reniferów żyjących na wolności zarówno na Svalbardzie jak i na kontynencie europejskim.

Całość moich badań wchodzących w prezentowane osiągnięcie naukowe została opublikowana w czasopiśmie z bazy JCR. Poza jedną publikacją cztery doniesienia zostały opublikowane w czasopiśmie skupiających się na tematyce polarnej, w których recenzentami są specjaliści zajmujący się aktualnymi problemami badawczymi współczesnej Arktyki.

Literatura

- AMAP (2005) AMAP assessment 2002: heavy metals in the Arctic. In: Arctic monitoring and assessment programme, Oslo
- Bargagli R, Mikhailova I. 2002. Accumulation of inorganic contaminants. In: PL Nimis, C Scheidegger, PA Wolseley (red.) Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens, ss. 65–84. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Berg T, Kallenborn R, Manø S. 2004. Temporal trends in atmospheric heavy metal and organochlorine concentrations at Zeppelin, Svalbard. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 36(3): 284–291. [https://doi.org/10.1657/1523-0430\(2004\)036\[0284:TTIAHM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1657/1523-0430(2004)036[0284:TTIAHM]2.0.CO;2)
- Bjørkvoll E, Pedersen B, Hytteborn H, Jónsdóttir IS, Langvatn R. 2009. Seasonal and interannual dietary variation during winter in female Svalbard reindeer (*Rangifer tarandus*

- platyrhynchus*). *Arctic Antarctic and Alpine Research* **41**: 88–96.
<https://doi.org/10.1657/1523-0430-41.1.88>
- Borch-Iohnsen B, Nilssen KJ, Norheim G. 1996. Influence of season and diet on liver and kidney content of essential elements and heavy metals in Svalbard reindeer. *Biological Trace Element Research* **51**: 235–247. <https://doi.org/10.1007/BF02784078>
- Braun-Blanquet J. 1964. Pflanzensozioölogie. Springer, Grundzüge der Vegetationskunde, p. 865.
- Chiarenzelli JR, Aspler LB, Ozarko DL, Hall GEM, Powis KB, Donaldson JA. 1997. Heavy metals in lichens, southern district of Keewatin, Northwest Territories, Canada. *Chemosphere* **35**(6): 1329–1341. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(97\)00168-9](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(97)00168-9)
- Cocchietto M, Skert N, Nimis P, Sava G. 2002. A review on usnic acid, an interesting natural compound. *Naturwissenschaften* **89**: 137–146, <https://doi.org/10.1007/s00114-002-0305-3>
- Dubiel E, Olech M. 1990. Plant communities of NW Sørkapp Land (Spitsbergen). *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego Prace Botaniczne* **21**: 35–74
- Foti RS, Dickmann LJ, Davis JA, Greene RJ, Hill JJ, Howard ML, Pearson JT, Rock DA, Taylor JC, Wahlstrom JL, Slatter JG. 2008. Metabolism and related human risk factors for hepatic damage by usnic acid containing nutritional supplements. *Xenobiotica* **38**, 264–280. <https://doi.org/10.1080/00498250701802514>
- Fox AJ, Cooper APR. 1998. Climate-change indicators from archival aerial photography of the Antarctic Peninsula. *Annales Glaciology* **27**: 636–642. <https://doi.org/10.3189/1998AoG27-1-636-642>
- Garty J. 2001. Biomonitoring atmospheric heavy metals with lichens: theory and application. *Critical Reviews in Plant Sciences*, **20**(4): 309–371.
- Gugnacka-Fiedor W, Noryskiewicz B. 1982. The vegetation of Kaffiöyra, Oscar II Land, NW Spitsbergen. - *Acta Universitatis Nicolai Copernici Series Geographica* **16**: 203–238.
- Hallanger IG, Warner NA, Ruus A, Evenset A, Christensen G, Herzke D, Gabrielsen GW, Borgå K. 2011. Seasonality in contaminant accumulation in Arctic marine pelagic food webs using trophic magnification factor as a measure of bioaccumulation. *Environmental Toxicology and Chemistry* **30**: 1026–1035. <https://doi.org/10.1002/etc.488>
- Hansen BB, Aanes R, Sæther B-E. 2010. Partial seasonal migration in high-arctic Svalbard reindeer (*Rangifer tarandus platyrhynchus*). *Canadian Journal of Zoology* **88**: 1202–1209. <https://doi.org/10.1139/Z10-086>
- Hill MO, Gauch HG (1980) Detrended Correspondence analysis: an improved ordination technique. *Vegetatio* **42**: 47–58. doi:10.1007/BF00048870
- Honda NK, Pavan FR, Coelho RG, de Andrade Leite SR, Micheletti AC, Lopes TIB, Misutsu

- MY, Beatriz A, Brum RL, Leite CQF. 2010. Antimycobacterial activity of lichen substances. *Phytomedicine* **17**: 328–332, <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2009.07.018>
- Ingólfssdóttir K. 2002. Usnic acid. *Phytochemistry* **61**: 729–736. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(02\)00383-7](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(02)00383-7)
- Joly K, Jandt RR, Klein DR. 2009. Decrease of lichens in Arctic ecosystems: the role of wildfire, caribou, reindeer, competition and climate in north-western Alaska. *Polar Research* **28**(3): 433–442.
- Jónsdóttir IS. 2005. Terrestrial ecosystems on Svalbard: heterogeneity, complexity and fragility from an Arctic island perspective. In *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy* (pp. 155–165). Royal Irish Academy. <https://www.jstor.org/stable/20728565>
- Jóźwik Z. 2000. Heavy metals in tundra plants of the Bellsund in West Spitsbergen, investigated in the years 1987–1995. *Polish Polar Research* **21**: 43–54.
- Koivurova T. 2005. Environmental protection in the Arctic and Antarctic: can the polar regimes learn from each other? *33 Int'l J. Legal Info.* **33**(2): 204–218.
- Menne MJ, Kennedy JJ. 2010. Global Surface Temperatures [W:] State of the Climate in 2009. Arndt D.S., Baringer M.O., Johnson M.R. (red.). *Bulletin of the American Meteorological Society* **91**: 24–25.
- Olech M, Węgrzyn M, Lisowska M, Słaby A, Angiel P. 2011. Contemporary changes of vegetation in polar regions. *Papers on Global Change IGBP* **18**: 35–51.
- Orange A, James PW, White FJ. 2001. Microchemical methods for the identification of lichens. London: British Lichen Society.
- Osyczka P, Rola K, Jankowska K. 2016. Vertical concentration gradients of heavy metals in *Cladonia* lichens across different parts of thalli. *Ecological Indicator* **61**(2): 766–776. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.028>
- Przybylak R. 2007. Recent air-temperature changes in the Arctic. *Annals of Glaciology* **46**: 316–324.
- Riget FU, Asmund G, Aastrup P. 2000. The use of lichen (*Cetraria nivalis*) and moss (*Rhacomitrium lanuginosum*) as monitors for atmospheric deposition in Greenland. *Science of the Total Environment* **245**(1-3): 137–148. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00439-8](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00439-8)
- Simões JC, Zagorodnov VS. 2001. The record of anthropogenic pollution in snow and ice in Svalbard, Norway. *Atmospheric Environment* **35**(2): 403–413. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00122-9](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00122-9)

- Sokal RR, Michener CD. 1958. A statistical method of evaluating systematic relationships. *University Kansas Science Bulletin* **28**: 1409–1438.
- Søndergaard J. 2013. Accumulation dynamics and cellular locations of Pb, Zn and Cd in resident and transplanted *Flavocetraria nivalis* lichens near a former Pb–Zn mine. *Environmental Monitoring and Assessment*, **185**(12): 10167–10176. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3321-1>
- Staaland H, Brattbakk I, Ekern K, Kildemo K. 1983. Chemical composition of reindeer forage plants in Svalbard and Norway. *Ecography* **6**: 109–122. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.1983.tb01072.x>
- Staaland H, Scheie JO, Grøndahl A, Person E, Leifseth AB, Holand Ø. 1993. The introduction of reindeer to Brøggerhalvøya, Svalbard: grazing preference and effect on vegetation. *Rangifer* **13**: 15–19.
- Sundset MA, Barboza PS, Green TK, Folkow LP, Blix AS, Mathiesen SD 2010. Microbial degradation of usnic acid in the reindeer rumen. *Naturwissenschaften* **97**: 273–278. <https://doi.org/10.1007/s00114-009-0639-1>
- Thomson JW. 1984. American Arctic Lichens. 1. The Macrolichens. 504 pp. Columbia University Press, New York.
- Tyler NJC. 1986. The relationship between the fat content of Svalbard reindeer in autumn and their death from starvation in winter. *Rangifer* **6**: 311–314
- Van der Wal R, Brooker R, Cooper E, Langvatn R. 2001. Differential effects of reindeer on high Arctic lichens. *Journal of Vegetation Science* **12**(5): 705–710. <https://doi.org/10.2307/3236911>
- Vaughan DG, Marshall GJ, Connolley WM, King J, Mulvaney R. 2001. Climate change: devil is in the detail. *Science* **293**(5536): 1777–1779. DOI: 10.1126/science.1065116
- Weinbruch S, Wiesemann D, Ebert M, Schütze K, Kallenborn R, Stroem J. 2012. Chemical composition and sources of aerosol particles at Zeppelin Mountain (Ny-Ålesund, Svalbard): an electron microscopy study. *Atmospheric Environment* **49**: 142–150. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.12.008>
- Węgrzyn M, Lisowska M, Olech M, Osyczka P. 2011. Changes in vegetation. W: W Ziaja (red.) Transformation of the natural environment in Western Sørkapp Land (Spitsbergen) since the 1980s. pp. 69–78. Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych:

a) Okres przed doktoratem

W okresie przed doktoratem w latach 2000 – 2001 swoje badania prowadziłem na terenie Babiogórskiego Parku Narodowego. Zebrane dane wykorzystałem do przygotowania pracy magisterskiej zatytułowanej „Porosty epifityczne i naziemne piętra kosodrzewiny i piętra halnego w masywie Babiej Góry”. Najważniejsze wyniki wykorzystałem do przygotowania dwóch artykułów, które ukazały się w czasopiśmie o tematyce botanicznej (zał. 4, pkt II D, poz. 49 i 50). W latach 2002 – 2006 prowadziłem badania na terenie Tatrzańskiego Parku Narodowego, które dotyczyły bioty porostowej występującej na obszarze piętra subalpejskiego w obrębie Tatr Wysokich. Wybór terenu wynikał z potrzeby kompleksowej analizy występowania i rozmieszczenia gatunków porostów w bardzo trudnym wysokogórskim terenie, a przez to słabo zbadanym pod względem lichenologicznym. Dane jakie zebrałem w tym czasie posłużyły mi do przygotowania rozprawy doktorskiej pt. „Porosty piętra kosodrzewiny w polskiej części Tatr Wysokich – studium florystyczno-fitogeograficzne”. Otrzymane interesujące wyniki w ramach badań na terenie TPN przyczyniły się do powstania kilku publikacji w czasopismach krajowych polskojęzycznych (zał. 4, pkt II D, poz. 42, 47 i 48). Natomiast całość wyników badań w tym wykaz stwierdzonych gatunków porostów i ich rozmieszczenie na badanym terenie, wraz z informacjami o częstości ich występowania i typach podłoża jakie zajmują oraz wykazem gatunków rzadkich i zagrożonych, opublikowane zostały w opracowaniu monograficznym po obronie pracy doktorskiej w roku 2009 (zał. 4, pkt II D, poz. 27). W wyniku tych badań poznałem bardzo dobrze wysokogórską biotę porostową, co w przyszłości ułatwiło mi rozpoczęcie badań w obszarach polarnych dotyczących ekosystemów lądowych Arktyki.

b) Okres po doktoracie

Realizacja moich badań po doktoracie skupiała się zarówno na badaniach realizowanych na terenie Parków Narodowych w obrębie Karpat Zachodnich, co było kontynuacją badań rozpoczętych przed doktoratem (zał. 4, pkt II A, poz. 23, 25; zał. 4, pkt II D, poz. 41) jak również na badaniach polarnych, które zapoczątkowane zostały w roku 2008 przygotowaniem do mojej pierwszej wyprawy polarnej na Spitsbergen. Wyniki i obserwacje zdobyte w trakcie tej wyprawy ukierunkowały w przyszłości całe dalsze moje badania.

Od roku 2006 jako autor lub współautor opublikowałem 56 publikacji (łącznie z 5 pracami wchodzącymi w skład osiągnięcia habilitacyjnego), w tym 39 artykułów naukowych, 4 monografie, 8 rozdziałów w monografiach, 5 artykułów popularnonaukowych, 23

streszczenia konferencyjne. Wśród artykułów naukowych 25 opublikowanych zostało w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR): *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* (3), *Biologia* (2), *Cryptogamie Mycology* (1), *Journal of Bryology* (3), *Ecological Indicator* (1), *Environmental Science and Pollution Research* (1), *Mycotaxon* (1), *Polish Polar Research* (5), *Polar Biology* (2), *Polar Research* (1), *Polar Science* (1), *Plant and Soil* (1), *Science of the Total Environment* (1), *Toxicon* (1), *Toxicology in Vitro* (1).

Biota porostowa Kanionu Colca oraz Doliny Wulkanów (Arequipa, Peru)

W roku 2008 opracowałem materiały lichenologiczne zebrane na terenie Kanionu Colca oraz Dolinie Wulkanów (Arequipa, Peru) na 20 stanowiskach zlokalizowanych w przedziale wysokościowym od 3000 – 5000 m n.p.m. Zebrane w czasie wyprawy porosty oznaczyłem a wstępne wyniki dotyczące występowania stwierdzonych głównych rodzajów porostów zostały opublikowane w numerze tematycznym czasopisma Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, poświęconemu badaniom prowadzonym na terenie Peru (zał. 4, pkt IID, poz. 46). Wyniki były również opublikowane w języku hiszpańskim w formie rozdziału w monografii (zał. 4, pkt IID, poz. 37).

Monitoring gatunków i siedlisk przyrodniczych ważnych dla Unii Europejskiej

W latach 2006-2016 brałem udział w monitoringu przyrodniczym, którego celem jest zebranie danych na temat stanu zachowania gatunków i siedlisk przyrodniczych o znaczeniu dla Unii Europejskiej. Na zlecenie Instytutu Ochrony Przyrody PAN w Krakowie (do roku 2014 wykonującego w ramach umowy z Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska ogólnopolski monitoring siedlisk i gatunków) realizowałem monitoring przyrodniczy siedlisk: śródładowego boru chrobotkowego 91T0 (koordynowanie); nadrzecznych zarośli łęgowych 91E0; zarośli kosodrzewiny 4070; zarośli wierzy siwej na kamieńcach i żwirowiskach górskich potoków 3240; pionierskiej roślinności na kamieńcach górskich potoków 3220; zarośli wrześni na kamieńcach i żwirowiskach górskich potoków 3230; górskich reliktowych lasów sosnowych 91Q0; górskiego boru limbowo-świerkowego 9420; górskiego boru świerkowego 9410 oraz dla rodzaju *Lycopodium* spp. i *Cladonia* sp. subgenus *Cladina* (koordynowanie). Wyniki realizowanego przeze mnie monitoringu wykorzystane zostały do opracowania raportów przekazywanych Komisji Europejskiej. W przypadku koordynowanych przeze mnie monitoringów siedlisk i gatunków oraz dodatkowo siedliska górskiego boru limbowo-świerkowego 9420 zostały opublikowane przewodniki metodyczne których jestem autorem lub współautorem (zał. 4, pkt II D, poz. 30, 31, 32).

Badania nad biotą porostową Magurskiego Parku Narodowego

W latach 2013 – 2016 prowadziłem badania nad składem gatunkowym i występowaniem porostów chronionych i rzadkich występujących na terenie Magurskiego Parku Narodowego w obrębie 40 powierzchni siatki kwadratów ATPOL o wymiarach 1km x 1km. Wyniki tych badań posłużyły do opracowania Planu Ochrony Magurskiego Parku Narodowego, a w roku 2016 część z nich została wykorzystana w wieloautorskiej publikacji będącej wykazem 314 gatunków porostów i 18 grzybów naporostowych występujących na tym terenie (zał. 4, pkt II D, poz. 38).

Czynna ochrona kompleksu muraw napiaskowych na terenie Pustyni Błędowskiej

W latach 2012 – 2017 uczestniczyłem w planowaniu, realizacji oraz ocenie efektów wykonania działań czynnej ochrony występujących na terenie Pustyni Błędowskiej Kompleksu siedlisk: ciepłolubnych muraw napiaskowych 6120 oraz wydym z roślinnością napiaskową 2330 w ramach dwóch projektów LIFE+ oraz LIFE 12. Efektem mojego udziału było zaprojektowanie zabiegów czynnej ochrony wraz z wytyczeniem granic obecnie istniejącej pustyni oraz skartowanie pod względem siedliskowym całego obszaru chronionego oraz zaplanowanie i realizacja monitoringu przyrodniczego obu typów siedlisk przyrodniczych. Efektem tych badań było również współautorstwo w dwóch monografiach poświęconych występowaniu siedliska muraw napiaskowych na terenie naszego kraju (zał. 4, pkt II D, poz. 26, 28).

Czynna ochrona borów chrobotkowych na terenie Parku Narodowego Bory Tucholskie

W roku 2007 po raz pierwszy miałem możliwość prowadzenia badań związanych z realizowanym monitoringiem przyrodniczym siedlisk na terenie Parku Narodowego „Bory Tucholskie”. W kolejnych latach badania były powtarzane, a w latach 2014-2015 opracowałem projekt czynnej ochrony siedliska borów chrobotkowych na terenie parku. W ramach zaplanowanych zabiegów wykonana została w latach 2017-2018 trzebież na około 13 ha, w celu zmniejszenia zwarcia drzewostanu do wartości 0,6 – 0,7. Równoległe badania nad stanem zachowania tego siedliska oraz nad efektami realizacji zadań czynnej ochrony były przeze mnie kontynuowane. Na podstawie wyników badań z lat 2014-2015 powstała publikacja omawiająca zagrożenie stanu zachowania borów chrobotkowych w Borach Tucholskich. Opisałem w niej również główne przyczyny zanikania tego zbiorowiska na terenie kraju oraz podałem propozycje podejmowania działań czynnej ochrony (zał. 4, pkt II D, poz. 43).

Badania nad sukcesją pierwotną na przedpolach lodowców Svalbardu

W roku 2012 podczas drugiej mojej wyprawy badawczej na Spitsbergen w rejon równiny Kaffiøyra kontynuowałem badania nad sukcesją pierwotną roślinności na przedpolu lodowca Irenebreen. Realizacja tego projektu była kontynuacją badań rozpoczętych przez dr M. Lisowską na przedpolach lodowca Gåsbreen. W związku z realizacją przeze mnie badań związanych z przemianami w zbiorowiskach tundrowych temat sukcesji pierwotnej został przekazany doktorantce mgr Paulinie Wietrzyk, która poza tymi dwoma dotychczas badanymi morenami, kontynuowała wraz ze mną badania na ośmiu innych wybranych morenach lodowcowych występujących na Svalbardzie. W roku 2015 wspólnie badaliśmy morenę lodowca Rieperbreen, w roku 2017 zostały zbadane lodowce: w rejonie Ny-Ålesundu – Austre Brøggerbreen, Vestre Brøggerbreen, Austre Lovénbreen, Midtre Lovénbreen i Vestre Lovénbreen; w rejonie Isfordu – kontynuacja na lodowcu Rieperbreen; w rejonie Petuniabukta – Svenbreen i Ferdinandbreen. W ramach tych badań do tej pory zostało opublikowanych kilka prac w czasopismach z bazy JCR, w których zostały opisane wyniki dotyczące: różnorodności gatunkowej porostów na przedpolach lodowców Svalbardu; zależności pomiędzy właściwościami chemicznymi gleby a procesami sukcesji pierwotnej oraz nowych gatunków mszaków dla obszaru całego archipelagu (zał. 4, pkt II A, poz. 9, 10, 11, 14, 16, 17, 18).

Badania taksonomiczne nad biotą porostową drewna dryftowego na Svalbardzie

Drewno dryftowe, które wyrzucane jest przez morze na wybrzeża wysp Arktyki, jest specyficznym mikrosiedliskiem dla porostów epiksylicznych i epifitycznych w rejonach świata, gdzie drzewa nie występują. W ramach swoich badań opracowałem biotę porostową na drewnie dryftowym dla dwóch obszarów Svalbardu: Sørkapp Landu i Kaffiøyry. W pierwszym przypadku oznaczyłem 18 gatunków porostów z czego 3 były typowe dla siedliska na drewnie, natomiast dla obszaru Kaffiøyry odnotowałem 25 gatunków porostów. Wyniki zostały opublikowane w czasopismach z bazy JCR (zał. 4, pkt II A, poz. 19, 24).

Kontynuacja badań nad zawartością pierwiastków śladowych w odchodach reniferów

Rozpoczęta w roku 2015 współpraca z ośrodkiem Katedry Chemii Analitycznej Politechniki Gdańskiej zaowocowała wspólnymi pracami poświęconymi akumulacji pierwiastków śladowych w odchodach reniferów. Zaproponowana przeze mnie metodyka zbioru i identyfikacji odchodów renifera Svalbardzkiego oraz analizy zawartych w nich wybranych pierwiastków śladowych została zastosowana w rejonach Bellsundu na Svalbardzie. Badania te zostały ujęte w publikacji w czasopiśmie z bazy JCR (zał. 4, pkt II A, poz. 7).

Udział w badaniach w ramach współpracy

W ramach wyprawy w roku 2012 na Kaffiøyre zostały zebrane próbki glebowych skorup biologicznych na równinie nadmorskiej. W zebranych próbkach gatunków cyjanobakterii żyjących na lądzie zostały wykryte po raz pierwszy cyjanotoksyny (apatotoksyna). Badania te zostały ujęte w publikacji w czasopiśmie z bazy JCR (zał. 4, pkt II A, poz. 20).

W ramach współpracy z Zakładem Taksonomii i Ekologii Zwierząt, Wydziału Biologii Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu oznaczałem materiały porostów zebranych na Svalbardzie, w których następnie oznaczone zostało 25 taksonów niesporczaków w tym 18 gatunków. Badania te zostały ujęte w publikacji w czasopiśmie z bazy JCR (zał. 4, pkt II A, poz. 13).

Długa współpraca z naukowcami z Katedry Farmakognozji Wydziału Farmacji UJ dała możliwość udziału w badaniach nad właściwościami antyrakowymi kwasu usninowego zawartego w plechach niektórych gatunków porostów. Do tych badań dostarczałem i oznaczałem do gatunku materiał porostowy, z którego był ekstrahowany kwas usninowy. Badania te zostały ujęte w publikacji w czasopiśmie z bazy JCR (zał. 4, pkt II A, poz. 15).

W ramach wypraw badawczych dostarczałem wielokrotnie materiał badawczy w tym roślinny, do badań fizjologicznych prowadzonych przez różne ośrodki badawcze. Ciekawymi badaniami, w jakich wziąłem udział były studia nad przystosowywaniem się gatunków roślin polarnych do warunków ekstremalnych temperatur. Badania te zostały ujęte w publikacji w czasopiśmie z bazy JCR (zał. 4, pkt II A, poz. 21).

Dzięki znajomości technik GIS i oprogramowania służącego do obróbki i analizy danych przestrzennych wziąłem udział w badaniach nad gatunkami korytarzowymi wielkich rzek na terenie Polski. Badania te zostały ujęte w publikacji w czasopiśmie z bazy JCR (zał. 4, pkt II A, poz. 12). Również umiejętności w posługiwaniu się technikami GIS pozwoliły mi na opracowanie danych terenowych, na podstawie których scharakteryzowano kolonie lęgowe pingwinów rodzaju *Pygoscelis* na wyspach Południowych Szetlandów w Antarktyce. Badania te zostały ujęte w publikacji w czasopiśmie z bazy JCR (zał. 4, pkt II A, poz. 22).

W ostatnich miesiącach brałem udział w badaniach taksonomicznych nad grzybami naporostowymi Szetlandów Południowych w Antarktyce. W pracy, która powstała na podstawie tych badań zostało podanych 96 gatunków grzybów naporostowych z czego 31 gatunków jest nowych dla nauki. Badania te zostały ujęte w publikacji w czasopiśmie z bazy JCR (zał. 4, pkt II A, poz. 8).

c) Plany na przyszłość

Moje główne plany naukowe na przyszłość to kontynuacja badań w obszarach polarnych nad dotychczasowymi zagadnieniami dotyczącymi porostów w ekosystemach lądowych ich przystosowania do funkcjonowania w ekstremalnych warunkach oraz wykorzystywania ich jako wskaźników przemian zachodzących w zbiorowiskach tundrowych pod wpływem ocieplania się klimatu. W odniesieniu do Svalbardu planuję skupić się na tworzeniu dokładnych map roślinności w wybranych miejscach archipelagu, z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych i lotniczych. Jednym z takich miejsc jest obszar Hornsundu w obrębie Isbjørnhamna (Zatoka Białego Niedźwiedzia), gdzie położona jest Polska Stacja Polarna. Planuję swoje badania rozszerzyć również na obszary Grenlandii oraz Syberii.

Jednocześnie planuję kontynuować badania nad wpływem czynników środowiskowych na stan zachowania siedliska borów chrobotkowych na terenie Polski, na założonych w roku 2015 powierzchniach monitoringowych na obszarze Parku Narodowego „Bory Tucholskie”.

W planach mam również badania monitoringowe skażeń pierwiastkami śladowymi obszaru Europy z wykorzystaniem gatunków mszaków i porostów o zasięgu arktyczno-alpijskim.

Planuję również badania taksonomiczne nad porostami i grzybami naporostowymi Antarktyki.

