

## Załącznik nr 2

### Autoreferat

1. **Imię i nazwisko:** Agnieszka Maria Klink

**2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej**

- a) licencjat ochrony środowiska – dyplom uzyskany w Zakładzie Ekologii i Ochrony Przyrody (obecnie Katedra Ekologii, Biogeochemii i Ochrony Środowiska) na Wydziale Nauk Przyrodniczych (obecnie Wydział Nauk Biologicznych) Uniwersytetu Wrocławskiego, tytuł pracy: „Makrohydrofity i ich ekologiczne znaczenie”, opiekun naukowy: Prof. dr hab. Aleksandra Samecka-Cymerman, 1995;
- b) magister ochrony środowiska – tytuł uzyskany w Zakładzie Ekologii i Ochrony Przyrody (obecnie Katedra Ekologii, Biogeochemii i Ochrony Środowiska) na Wydziale Nauk Przyrodniczych (obecnie Wydział Nauk Biologicznych) Uniwersytetu Wrocławskiego, tytuł pracy: „Ekologia makrohydrofitów jezior z okolic Boszkowa”, opiekun naukowy: Prof. dr hab. Aleksandra Samecka-Cymerman, 1997;
- c) doktor nauk biologicznych w zakresie biologii – ekologii roślin – dyplom uzyskany w Zakładzie Ekologii i Ochrony Przyrody (obecnie Katedra Ekologii, Biogeochemii i Ochrony Środowiska) na Wydziale Nauk Przyrodniczych (obecnie Wydział Nauk Biologicznych) Uniwersytetu Wrocławskiego, tytuł rozprawy doktorskiej: „Chemiczna ekologia roślin z rodziny *Nymphaeaceae* z jezior Pojezierza Leszczyńskiego”, promotor: Prof. dr hab. Aleksandra Samecka-Cymerman, 2001.

**3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/ artystycznych**

- a) 2001 – 2002 – asystent w Zakładzie Ekologii i Ochrony Przyrody Instytutu Botaniki (obecnie Katedra Ekologii, Biogeochemii i Ochrony Środowiska) Uniwersytetu Wrocławskiego;
- b) od 2002 r. do chwili obecnej – adiunkt w Katedrze Ekologii, Biogeochemii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Wrocławskiego

**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/ artystycznego**

Osiągnięciem w myśl ww. Ustawy jest wskazany poniżej jednotematyczny cykl siedmiu publikacji, objęty tytułem:

**Ocena przydatności wynurzonych makrohydrofitów w bioindykacji i fitoremediacji zanieczyszczenia środowiska metalami śladowymi**

**b) publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego<sup>12</sup>:**

1. **Klink A.**, Macioł A., Wisłocka M., Krawczyk J., 2013, Metal accumulation and distribution in the organs of *Typha latifolia* L. (cattail) and their potential use in bioindication, *Limnologica*, 43, 164-168. IF<sub>2013</sub>: 1,655; MNiSW: 25 pkt.
2. **Klink A.**, Wisłocka M., Musiał M., Krawczyk J., 2013, Macro- and Trace- Elements Accumulation in *Typha angustifolia* L. and *Typha latifolia* L. Organs and their Use in Bioindication, *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(1), 183-190. IF<sub>2013</sub>: 0,600; MNiSW: 15 pkt.
3. Polechońska L., **Klink A.**, 2014, Trace metal bioindication and phytoremediation potentialities of *Phalaris arundinacea* L. (reed canary grass), *Journal of Geochemical Exploration*, 146, 27-33. IF<sub>2014</sub>: 2,747; MNiSW: 30 pkt.
4. **Klink A.**, Stankiewicz A., Wisłocka M., Polechońska L., 2014, Macro- and microelement distribution in organs of *Glyceria maxima* and biomonitoring applications, *Environmental Monitoring and Assessment*, 186, 4057-4065. IF<sub>2014</sub>: 1,679; MNiSW: 25 pkt.
5. Łojko R., Polechońska L., **Klink A.**, Kosiba P., 2015, Trace metal concentrations and their transfer from sediment to leaves of four common aquatic macrophytes. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 15123-15131. IF<sub>2015</sub>: 2,760; MNiSW: 30 pkt.
6. **Klink A.**, Polechońska L., Cegłowska A., Stankiewicz A., 2016, *Typha latifolia* (broadleaf cattail) as bioindicator of different types of pollution in aquatic ecosystems - application of

---

<sup>1</sup>Oświadczenia wszystkich współautorów określające indywidualny wkład każdego z nich w powstanie poszczególnych prac znajdują się w Załączniku 6.

<sup>2</sup>Współczynnik IF został podany zgodnie z rokiem opublikowania, a punkty MNiSW zgodnie z Załącznikiem do komunikatu MNiSW z dnia 9 grudnia 2016 r.

Self-Organizing Feature Map (neural network). *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 14078-14086. IF<sub>2016</sub>: 2,741; MNiSW: 30 pkt.

7. **Klink A.**, 2017, A comparison of trace metal bioaccumulation and distribution in *Typha latifolia* and *Phragmites australis*: implication for phytoremediation, *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 3843-3852. IF<sub>2016</sub>: 2,800; MNiSW: 30 pkt.

Sumaryczny Impact Factor wyżej wymienionych publikacji, zgodnie z rokiem opublikowania, wynosi: **14,982**. Sumaryczna liczba punktów MNiSW, zgodnie z aktualną punktacją wg. wykazu MNiSW z dnia 9 grudnia 2016 r. oraz rozporządzenia MNiSW z dnia 13 lipca 2012 r., wynosi: **185**.

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

Ze względu na intensywny rozwój przemysłu i rolnictwa oraz związane z tym rosnące zanieczyszczenie ekosystemów wodnych metalami śladowymi, duże znaczenie mają techniki bioindykacyjne oraz alternatywne metody usuwania metali ze środowiska. Bioindykacja jest metodą, która pozwala na ocenę stopnia zanieczyszczenia lub degradacji ekosystemów na podstawie reakcji organizmów żywych (Markert i inni 2003). Z kolei fitoremediacja jest tańszą, bardziej przyjazną dla środowiska i skuteczną alternatywą dla konwencjonalnych (fizycznych i chemicznych) metod jego oczyszczania (Dhir i Srivastava 2011). Polega ona na wykorzystaniu roślin w celu usunięcia ze środowiska zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych lub ich przekształcenia w formy o niskiej toksyczności dla organizmów żywych (Dhir i inni 2009; Ali i inni 2013).

Obie przedstawione techniki, bioindykacja i fitoremediacja, opierają się na naturalnych zdolnościach roślin do akumulacji metali śladowych w tkankach (Dhir i inni 2009, Hua i inni 2012). Wiele gatunków makrohydrofitów charakteryzuje się wysokimi zdolnościami do pobierania metali śladowych z wody lub osadów dennych (Hua i inni 2012), ale różnią się one intensywnością akumulacji metali, stopniem ich transportu z korzeni do części nadziemnych oraz biomasą (Baldantoni i inni 2004; Bonanno 2013; Rezania i inni 2016). Dlatego wiarygodność bioindykacji i skuteczność fitoremediacji zależą w dużym stopniu od wyboru właściwych gatunków roślin, charakteryzujących się tolerancją w stosunku do wysokich zawartości metali śladowych oraz dużą zdolnością ich akumulacji w tkankach (Hua i inni 2012). Bioindykatory kumulatywne powinny być ponadto łatwe do identyfikacji

i pobierania w terenie, pospolite, szeroko rozprzestrzenione oraz akumulować zanieczyszczenia w ilościach proporcjonalnych do ich zawartości w środowisku (Markert i inni 2003; Gadzała-Kopciuch i inni 2004). Z kolei do cech, umożliwiających zastosowanie roślin w fitoremediacji, należą dobrze rozbudowany system korzeniowy oraz wysoka produkcja biomasy i szybkie tempo wzrostu (Bhargava i inni 2012).

Wiele gatunków wynurzonych makrohydrofitów spełnia wymienione kryteria. Są łatwe do identyfikacji i pobierania, cechują się szybkim wzrostem i łatwo się rozprzestrzeniają (Katagiri i inni 2011; Mugwedi i inni 2014). Skłoniło mnie to do przeanalizowania pospolitych gatunków helofitów: *Typha latifolia*, *Typha angustifolia*, *Phragmites australis*, *Phalaris arundinacea*, *Glyceria maxima* i *Sparganium erectum* pod względem ich przydatności w bioindykacji i fitoremediacji zanieczyszczenia środowiska metalami śladowymi, tym bardziej, że należą one do gatunków kosmopolitycznych o szerokim zasięgu geograficznym (Lavergne i Molofsky 2004). Jest to bardzo istotne, ponieważ rodzime gatunki roślin są lepiej przystosowane do lokalnych warunków, więc lepiej rosną i rozmnażają się w warunkach stresu środowiskowego, a ich stosowanie w fitoremediacji jest bardziej skuteczne (Kamran i inni 2014).

Poniżej przedstawiłam chronologiczne omówienie najważniejszych osiągnięć zawartych w publikacjach włączonych do cyklu habilitacyjnego.

Nadrzędnym celem pierwszej pracy, wchodzącej w skład cyklu habilitacyjnego (**Klink A., Macioł A., Wisłocka M., Krawczyk J., 2013, Limnologica, 43, 164-168**), było określenie, w których organach *Typha latifolia* gromadzone są największe ilości metali śladowych i w związku z tym są one najbardziej przydatne w bioindykacji z wykorzystaniem tego gatunku. Na podstawie przeprowadzonych analiz zawartości Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni i Zn w liściach, łodygach, kłęczach i korzeniach pałki szerokolistnej wykazano, że zawartości metali śladowych były istotnie statystycznie zróżnicowane pomiędzy organami podziemnymi i nadziemnymi tej rośliny. Najwyższe zawartości wszystkich badanych metali akumulowane były w korzeniach, a tylko niewielka ich część transportowana była do pozostałych organów *T. latifolia*, przy czym największe ilości metali, za wyjątkiem Mn, transportowane były z korzeni do kłęczów. Jedynie Mn, który jest pierwiastkiem stosunkowo ruchliwym w tkankach roślin, był w większym stopniu magazynowany w liściach niż w kłęczach. Unieruchamianie metali śladowych w korzeniach helofitów jest mechanizmem obronnym, który chroni organy nadziemne przed negatywnym wpływem nadmiernych ilości metali, zwłaszcza toksycznych. Wykazano ponadto, że pałka szerokolistna cechuje się wysokimi zdolnościami do bioakumulacji wszystkich

badanych metali śladowych. Pomimo tendencji do akumulowania metali w korzeniach, zawartości Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni i Zn w poszczególnych organach były proporcjonalne do zawartości w środowisku, co potwierdza przydatność badanego gatunku w ocenie stopnia zanieczyszczenia środowiska tymi pierwiastkami.

W kolejnej pracy (Klink A., Wisłocka M., Musiał M., Krawczyk J., 2013, *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(1), 183-190) pokazano, że *Typha angustifolia*, podobnie jak *T. latifolia*, gromadziła metale śladowe głównie w organach podziemnych. Również w przypadku tego gatunku, tylko niewielka część pobranych metali transportowana była do łodyg i liści, a ich mobilność w roślinach była zróżnicowana pomiędzy metalami oraz organami badanych makrohydrofitów. Ponadto wykazano, że *T. latifolia* jest lepszym akumulatorem metali niż *T. angustifolia*. Zawartości Cd, Cu i Pb w organach podziemnych oraz Cu w liściach pałki szerokolistnej były istotnie statystycznie wyższe niż w tych organach pałki wąskolistnej.

W artykule Polechońska i Klink (2014) (Polechońska L., Klink A., 2014, *Journal of Geochemical Exploration*, 146, 27-33), wykazano wysokie zdolności *Phalaris arundinacea* do pobierania i gromadzenia metali śladowych, zwłaszcza Cd, Co, Mn i Zn. Podobnie, jak w przypadku helofitów, badanych we wcześniejszych pracach, zawartości metali śladowych były istotnie statystycznie zróżnicowane pomiędzy organami podziemnymi i nadziemnymi mozgi trzcinowatej. Najwięcej metali gatunek ten akumulował w korzeniach i tylko niewielka ich część była transportowana do organów nadziemnych. Ograniczony transport wewnętrzny metali przy wysokich zdolnościach do ich bioakumulacji świadczy o przydatności *P. arundinacea* w fitostabilizacji osadów dennych zanieczyszczonych Cd, Co, Mn i Zn. Ponadto w oparciu o analizę składowych głównych i klasyfikację, wykazano, że liście roślin ze stanowisk miejskich charakteryzowały się wysoką zawartością Cu, Fe, Pb i Zn, a z terenów rolniczych – wysoką zawartością Mn i Ni. Z kolei liście roślin z terenów leśnych i zbiorników retencyjnych cechowały się najniższymi zawartościami metali śladowych. Wyniki te świadczą o możliwości wykorzystania *P. arundinacea* w bioindykacji zanieczyszczenia ekosystemów wodnych na obszarach rolniczych i zurbanizowanych, tym bardziej że zawartości Cd, Co, Cu, Ni i Zn w poszczególnych organach mozgi trzcinowatej były proporcjonalne do ich zawartości w osadach dennych.

W pracy Klink i inni (2014) (Klink A., Stankiewicz A., Wisłocka M., Polechońska L., 2014, **Environmental Monitoring and Assessment**, 186, 4057-4065) wykazano, że pierwiastki pokarmowe, pobierane przez korzenie *Glyceria maxima*, były intensywnie transportowane z korzeni do organów nadziemnych, a metale śladowe akumulowane były w mniejszych ilościach niż makroelementy i tylko w niewielkim stopniu transportowane do łodyg i liści. Ponadto po raz pierwszy przeanalizowano przydatność samoorganizujących się map cech Kohonena (SOFM Self-Organizing Feature Map) do oceny stanu ekosystemów rzecznych na podstawie makrohydrofitów. Mapy Kohonena, przygotowane dla wód, osadów dennych i liści *G. maxima* z terenów czystych, pozwoliły wyróżnić trzy grupy stanowisk, które były istotnie zróżnicowane pod względem zawartości makro- i mikroelementów, przy czym grupy neuronów, wyznaczone dla roślin wyraźnie odpowiadały grupom neuronów dla wód i osadów dennych. Wskazuje to, że mapy SOFM umożliwiają wizualizację poziomu zależności pomiędzy zawartością pierwiastków w liściach *G. maxima*, a ich zawartością w wodzie i osadach dennych. Rośliny z terenów rolniczych charakteryzowały się najwyższą zawartością P i K w liściach, z terenów leśnych – Zn i Ni, a z małych miejscowości – Ca, Mg i Mn. Dlatego raz zaprogramowana mapa SOFM może być wykorzystywana w badaniach ekologicznych i stanowić podstawę rozpoznania zanieczyszczenia ekosystemów rzecznych metalami śladowymi w oparciu o analizę ich zawartości w liściach manny mielec. Może być również pomocna przy gromadzeniu danych środowiskowych oraz podejmowaniu działań służących ograniczaniu zanieczyszczenia i degradacji środowiska.

W publikacji Łojko i inni (2015) (Łojko R., Polechońska L., Klink A., Kosiba P., 2015, **Environmental Science and Pollution Research**, 22, 15123-15131), wykorzystując analizę składowych głównych i klasyfikację, oceniono zróżnicowanie akumulacji metali śladowych pomiędzy liśćmi pospolitych gatunków helofitów: *Sparganium erectum*, *Glyceria maxima*, *Phalaris arundinacea* i *Phragmites australis*. Biplot projekcji zmiennych na płaszczyznę czynnikową pokazał, że liście *S. erectum*, charakteryzowały się najwyższą zawartością K, Na, Mn, Fe i Ni, a liście *P. arundinacea* – najwyższą zawartością Ca, Cr i Zn. Zawartości wszystkich badanych metali były najniższe w liściach *P. australis*. Ponadto w oparciu o współczynniki wzbogacenia (EF) wykazano, że *S. erectum* jest dobrym bioakumulatorem Cr i Mn, *P. arundinacea* – Co, Cr i Zn, *P. australis* – Cu i Mn, a *G. maxima* – Cr. W związku z tym badane helofity mogą być przydatne w fitoremediacji ekosystemów wodnych zanieczyszczonych metalami śladowymi. Przydatność tych gatunków w fitoremediacji jest tym większa, że za wyjątkiem manny mielec, mają zdolność do akumulacji kilku metali.

W pracy Klink i inni (2016) (**Klink A., Polechońska L., Ceglowska A., Stankiewicz A., 2016, Environmental Science and Pollution Research, 23, 14078-14086**) zebrano dane na temat zawartości Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb i Zn w kłęczach i liściach *Typha latifolia* oraz w wodzie i osadach dennych z różnych typów ekosystemów wód stojących i płynących, różniących się rodzajem i stopniem antropopresji. W oparciu o samoorganizujące się mapy cech Kohonena, wyróżniono cztery grupy stanowisk, które były zróżnicowane statystycznie pod względem zawartości metali śladowych w wodzie, osadach dennych i liściach *T. latifolia*. W roślinach zasiedlających stanowiska przemysłowe stwierdzono najwyższe zawartości Cd, Cu, Fe i Ni, z terenów rolniczych – najwyższe zawartości Mn i Zn, a w roślinach ze stanowisk w pobliżu szlaków komunikacyjnych – najwyższe zawartości Pb. Z kolei liście roślin z terenów rekreacyjnych, wolnych od przemysłu i intensywnego rolnictwa, zawierały najniższe ilości wszystkich badanych metali śladowych. Te analizy potwierdziły, że mapy Kohonena są pomocne do wizualizacji poziomej zależności pomiędzy zawartością metali śladowych w roślinach, a ich zawartością w wodzie i osadach dennych oraz mogą być przydatne w bioindykacji. Zaprogramowane sieci neuronowe umożliwiają ocenę źródła zanieczyszczenia różnych typów ekosystemów wodnych na podstawie analizy zawartości metali śladowych w liściach *T. latifolia*.

W ostatniej pracy cyklu habilitacyjnego (**Klink A., 2017, Environmental Science and Pollution Research, 24, 3843-3852**), badane wcześniej gatunki *Typha latifolia* i *Phragmites australis* zostały porównane i przeanalizowane pod kątem ich przydatności w fitoremediacji środowiska zanieczyszczonego metalami śladowymi. W oparciu o analizę składowych głównych i klasyfikację oceniono zróżnicowanie akumulacji metali śladowych w poszczególnych organach nadziemnych i podziemnych obu badanych gatunków. W przypadku nadziemnych części roślin, biplot projekcji zmiennych na płaszczyznę czynnikową pokazał, że liście *T. latifolia* i *P. australis*, charakteryzowały się wysoką zawartością metali śladowych. Zawartość Cd, Fe i Mn była wyższa w liściach trzciny pospolitej, a zawartość Cu, Pb i Zn w liściach pałki szerokolistnej. Natomiast łodygi obu badanych gatunków cechowały się niskimi zawartościami badanych metali śladowych, przy czym w łodygach *T. latifolia* było więcej Cu, Mn, Pb i Zn, a w łodygach *P. australis* – Cd. Z kolei biplot projekcji zmiennych na płaszczyznę czynnikową, przygotowany dla podziemnych części tych roślin, pokazał że korzenie *P. australis* charakteryzowały się wysoką zawartością Cu, Fe i Mn, a *T. latifolia* - Cd, Pb i Zn. Kłęcza obu badanych makrohydrofitów cechowały się niższą zawartością metali śladowych niż korzenie, przy czym zawartości Cu,

Mn, Ni, Pb i Zn w kłęczach pałki szerokolistnej były statystycznie wyższe niż w kłęczach trzciny pospolitej. Wysokie zdolności pałki szerokolistnej i trzciny pospolitej do bioakumulacji Cu, Mn, Ni, Pb i Zn w korzeniach oraz ich ograniczony transport do organów nadziemnych wskazały, że oba badane gatunki mogą być przydatne w fitostabilizacji osadów dennych zanieczyszczonych tymi metalami. Również wysoka biomasa części nadziemnych badanych makrohydrofitów oraz całkowita ilość poszczególnych metali śladowych, które mogą zostać usunięte z określonej powierzchni wraz z biomasą roślin (ang. standing stock) potwierdziły możliwość wykorzystania *T. latifolia* i *P. australis* w fitoremediacji.

Najważniejszymi i oryginalnymi osiągnięciami moich badań skupiających się na określeniu przydatności helofitów w bioindykacji i fitoremediacji, opublikowanych w cyklu prac habilitacyjnych są:

- Określenie akumulacji metali śladowych w organach podziemnych i nadziemnych wielu pospolitych gatunków helofitów (*Typha latifolia*, *Typha angustifolia*, *Phalaris arundinacea*, *Glyceria maxima* oraz *Phragmites australis*) i wykazanie ich niskiej mobilności w tkankach tych roślin. Pobrane metale gromadzone są przede wszystkim w korzeniach i tylko w niewielkim stopniu transportowane są do łodyg i liści. W związku z tym korzenie są bardzo dobrym wskaźnikiem zanieczyszczenia ekosystemów wodnych. Pomimo przeważającej akumulacji metali w organach podziemnych, również w częściach nadziemnych helofitów, zawartości metali są proporcjonalne do ich zawartości w środowisku. Dzięki temu również łodygi i liście, których pobieranie w terenie jest łatwiejsze i mniej inwazyjne, mogą być efektywnie wykorzystywane w bioindykacji. Na podstawie zawartości metali w roślinach można ocenić skażenie ekosystemów wód płynących i stojących, różniących się zagospodarowaniem terenu i stopniem przekształcenia w wyniku działalności człowieka.
- Wykazanie, przydatności wynurzonych makrohydrofitów (*Phalaris arundinacea*, *Typha latifolia* *Phragmites australis*) w fitostabilizacji osadów dennych zanieczyszczonych metalami śladowymi. Ograniczony transport metali śladowych do pędów i liści helofitów oraz ich magazynowanie w organach podziemnych, które są wieloletnie, powoduje wyłączenie tych pierwiastków z obiegu w zbiornikach wodnych i przyczynia się do zmniejszenia zanieczyszczenia tych ekosystemów.
- Wykazanie zróżnicowania pospolitych helofitów pod względem ich gatunkowych zdolności do pobierania i magazynowania poszczególnych metali śladowych. W związku



z tym bardzo istotny jest, przed wdrożeniem techniki fitoremediacji, dobór właściwego gatunku rośliny dla określonych typów zanieczyszczeń.

- Wykazanie, że raz zaprogramowana mapa SOFM (Kohonena) może być wykorzystywana do oceny stanu ekologicznego środowiska wodnego na podstawie zawartości metali śladowych w liściach *Typha latifolia* i *Glyceria maxima*. Ta metoda umożliwia sklasyfikowanie zawartości metali w liściach helofitów w sposób pozwalający na określenie źródła zanieczyszczenia ekosystemów wód płynących i stojących.

Uzyskane wyniki, opracowane z wykorzystaniem wielowymiarowych analiz statystycznych, mają duże znaczenie praktyczne, mogą zostać wykorzystane w działaniach ochronnych i naprawczych podejmowanych w ekosystemach wodnych. Umożliwiają wybór najbardziej odpowiedniej metody bioindykacyjnej do kontroli obszarów rolniczych i zurbanizowanych a także dobór właściwego gatunku do oczyszczalni hydrobotanicznych oraz do wykorzystania w fitoremediacji naturalnych ekosystemów wodnych.

Cytowana literatura:

1. Ali H., Khan E., Sajad M.A., 2013. Phytoremediation of heavy metals – Concepts and applications. *Chemosphere* 91: 869-881.
2. Baldantoni D., Alfani A., Tommasi P.D., Bartoli G., Virzo De Santo A., 2004. Assessment of macro and microelement accumulation capability of two aquatic plants. *Environmental Pollution* 130: 149-156.
3. Bhargava A., Carmona F.F., Bhargava M., Srivastava S., 2012. Approaches for enhanced phytoextraction of heavy metals. *Journal of Environmental Management* 105:103-120.
4. Bonanno G., 2013. Comparative performance of trace element bioaccumulation and biomonitoring in the plant species *Typha domingensis*, *Phragmites australis* and *Arundo donax*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 97: 124-130.
5. Carranza-Álvarez C., Alonso-Castro A.J., Alfaro-De La Torre M.C., García-De La Cruz R.F., 2008, Accumulation and Distribution of Heavy Metals in *Scirpus americanus* and *Typha latifolia* from an Artificial Lagoon in San Luis Potosí, México. *Water Air and Soil Pollution* 188: 297–309.
6. Dhir B, Srivastava S., 2011 Heavy metal removal from a multi-metal solution and wastewater by *Salvinia natans*. *Ecological Engineering* 37: 893–896.

7. Dhir B., Sharmila P., Pardha Saradhi P., Nasim A., 2009. Physiological and antioxidant responses of *Salvinia natans* exposed to chromium-rich wastewater. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72: 1790–1797.
8. Gadzała-Kopciuch R., Berecka B., Bartoszewicz J., Buszewski B., 2004. Some Considerations About Bioindicators in Environmental Monitoring. *Polish Journal of Environmental Studies* 13: 453-462.
9. Hua J., Zhang C., Yin Y., Chen R., Wang X., 2012. Phytoremediation potential of three aquatic macrophytes in manganese-contaminated water. *Water and Environmental Journal* 26(3): 335-342.
10. Kamran M.A., Amna Mufti R., Mubariz N., Syed J.H., Bano A., Javed M.T., Munis M.F., Tan Z., Chaudhary H.J., 2014. The potential of the flora from different regions of Pakistan in phytoremediation: a review. *Environmental Science and Pollution Research* 21(2): 801-812.
11. Katagiri K., Yale K., Nakamura F., Sakurai Y., 2011. Factors controlling the distribution of aquatic macrophyte communities with special reference to the rapid expansion of a semi-emergent *Phalaris arundinacea* L. in Bibi River, Hokkaido, North Japan. *Limnology* 12: 175-185.
12. Lavergne S., Molofsky J., 2004. Reed Canary Grass (*Phalaris arundinacea*) as a Biological Model in the Study of Plant Invasions. *Critical Reviews in Plant Sciences* 23: 415–429.
13. Markert B.A., Breure A.M., Zechmeister H.G., 2003. *Bioindicators & Biomonitors. Principles, Concepts and Applications.* Elsevier Science Ltd. Oxford, UK.
14. Mugwedi L.M., Goodall J., Witkowski E.T.F., Byrne M.J., 2014. The role of reproduction in *Glyceria maxima* invasion. *African Journal of Range & Forage Science* 2014: 1–8.
15. Rezania S., Taib S.M., Din M.F.M., Dahalan F.A., Kamyab H., 2016. Comprehensive review on phytotechnology: heavy metals removal by diverse plants species from wastewater. *Journal of Hazardous Materials* 318: 587–599.

## **5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych (artystycznych)**

Oprócz prac badawczych związanych z wykorzystaniem makrohydrofitów wynurzonych w bioindykacji i fitoremadiacji, uczestniczyłam w pracach zespołów realizujących inne projekty badawcze. Efektem tych badań są liczne prace, opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych.

Bardzo istotnym elementem mojej pracy naukowej była kontynuacja badań nad ekologią roślin z rodziny *Nymphaeaceae*, które rozpoczęłam w trakcie studiów doktoranckich i były przedmiotem mojej rozprawy doktorskiej.

Na podstawie tych badań stwierdzono wysokie zdolności roślin z gatunków *Nymphaea alba* i *Nuphar lutea* do gromadzenia metali śladowych w liściach pływających (Klink i inni 2004a)<sup>3</sup> oraz ich przydatność w bioindykacji zanieczyszczenia środowiska metalami śladowymi, zwłaszcza Ba, Co, Cu, Sr (Klink 2004a)<sup>4</sup> oraz Mn i Fe (Klink i inni 2004b)<sup>5</sup>. Wysokie zdolności tych roślin do gromadzenia metali znajdowały odzwierciedlenie w ilościowo-jakościowym wskaźniku, tzw. "stałej równowagi kationowej". Wykazano istotne różnice obliczonej "stałej równowagi kationowej" względem wartości referencyjnej 12,515 w siedliskach o wysokiej zawartości metali, zwłaszcza Ca i Na (Klink 2004b)<sup>6</sup>. Ponadto porównano zawartości metali śladowych w liściach *N. alba* i *N. lutea* z innymi grupami roślin wodnych - helofitami i elodeidami (Klink i inni 2006)<sup>7</sup>.

Kolejnym zagadnieniem, które zostało przeanalizowane, był udział grzebieni białych i grążeli żółtych w obiegu pierwiastków pokarmowych i metali śladowych w ekosystemach wodnych. Wykazano, że w przypadku roślin o liściach pływających proces starzenia się liści, a następnie ich obumieranie i rozkład zachodziły w ciągu całego okresu wegetacyjnego. W związku z tym pobieranie pierwiastków pokarmowych ze środowiska, a następnie ich uwalnianie w procesie dekompozycji również odbywało się kilkakrotnie w trakcie sezonu wegetacyjnego. U obu badanych gatunków, proces ten powtarzał się średnio 4,9 raza w ciągu roku. Ponadto zawartości makro i mikroelementów w liściach *N. alba* i *N. lutea* zmieniały się w czasie całego okresu wegetacyjnego i były uzależnione od tempa rozwoju roślin. Istotny udział nymfeidów w obiegu pierwiastków w ekosystemie związany był nie tylko z długością życia liści pływających (Klink 2005a)<sup>8</sup>, ale również z tempem rozkładu ich detrytusu (Klink 2005b)<sup>9</sup>. *Nuphar lutea* należy do makrohydrofitów ulegających szybkiej dekompozycji,

---

<sup>3</sup> **Klink A.**, Krawczyk J., Letachowicz B., 2004a, Możliwość wykorzystania makrohydrofitów w bioindykacji skażeń środowiska metalami ciężkimi, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 501, 203-209.

<sup>4</sup> **Klink A.**, 2004a, Content of selected chemicals in two protected macrophytes *Nymphaea alba* L. and *Nuphar lutea* (L.) SIBITH. & SM in relation to site chemistry, Polish Journal of Ecology, 52(2), 229-232.

<sup>5</sup> **Klink A.**, Krawczyk J., Letachowicz B., 2004b, Żelazo i mangan w liściach *Nymphaea alba* L. i *Nuphar lutea* (L.) SIBITH. & SM. z terenu Pojezierza Leszczyńskiego, Roczniki PZH, 55, 177-183.

<sup>6</sup> **Klink A.**, 2004b, Równowaga kationowa w liściach wybranych gatunków makrohydrofitów, Archives of Environmental Protection, 30(4), 111-118.

<sup>7</sup> **Klink A.**, Krawczyk J., Letachowicz B., 2006. Wykorzystanie różnych grup roślin wodnych w bioindykacji skażenia środowiska metalami ciężkimi. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 515: 129-136.

<sup>8</sup> **Klink A.**, 2005a, Production of elemental composition of floating leaves of *Nymphaea alba* L. and *Nuphar lutea* (L.) Sibith. & Sm in selected lakes in West Poland, Ecohydrology & Hydrobiology, 5(3), 133-139.

<sup>9</sup> **Klink A.**, 2005b, Chemical changes and nutrient release during decomposition processes of mature leaves of *Nuphar lutea* (L.) Sibith. & Sm under laboratory conditions, Ecohydrology & Hydrobiology, 5(3), 125-132.

a tempo rozkładu martwych tkanek tego gatunku uwarunkowane było chemizmem siedliska. Wysokie pH i zasadowość wody oraz wysoka zawartość w niej Ca i Mg przyspieszały uwalnianie makroelementów z detrytusu *N. lutea*. W pierwszym etapie rozkładu wracały do środowiska K i Na, które są luźno związane z materiałem roślinnym. Stosunkowo szybko, z materiału roślinnego, uwalniany był również P, następnie Mg i Ca oraz N, który wracał do ekosystemu w ostatniej fazie procesu dekompozycji (Klink, 2005b)<sup>9</sup>.

Opracowano ponadto model, który pozwala na nieinwazyjną ocenę biomasy liści grzybieni białych i grzęzeli żółtych na podstawie powierzchni ich blaszek liściowych (Klink 2005a)<sup>8</sup>.

W toku mojej pracy naukowej, uczestniczyłam w wielu projektach badawczych, których tematyka była zgodna z głównym nurtem moich zainteresowań i dotyczyła przede wszystkim akumulacji metali śladowych w roślinach oraz możliwości ich wykorzystania w ocenie zanieczyszczenia środowiska.

Istotnym wątkiem badawczym, związanym z tą tematyką, było określenie wartości tła biogeochemicznego dla poziomu metali śladowych w roślinach zielnych, krzewinkach, porostach oraz paprociach z terenów o niskim stopniu antropopresji (Krawczyk i inni 2004)<sup>10</sup>. W oparciu o badania, dotyczące akumulacji metali w liściach paproci *Athyrium filix-femina* i *Athyrium distentifolium* z terenów niezanieczyszczonych, wykazano, że wysokie zawartości Cr, Ni, Fe i Mn są cechą gatunkową tych roślin, przy czym w tkankach *A. filix-femina* gromadzone są istotnie większe ilości Ni i Cr, a w *A. distentifolium* – Fe i Mn (Krawczyk i inni 2006)<sup>11</sup>. Wyniki te wskazują na konieczność analizy i poznania zróżnicowania akumulacji metali w tkankach roślin z terenów pozbawionych zanieczyszczeń dla właściwej interpretacji wyników badań bioindykacyjnych.

Kolejny wątek badawczy dotyczył przydatności roślin w ocenie źródeł i stopnia zanieczyszczenia ekosystemów zurbanizowanych i górskich. Badania te wykazały, że doskonałymi bioindykatorami zanieczyszczeń miejskich i przemysłowych są *Polygonum aviculare*, *Viscum album* i *Sorbus aucuparia*. Miejski ruch komunikacyjny oraz emisje przemysłowe wywoływały wysokie zawartości Cd, Cu, Pb i Zn w pędach rdestu ptasiego,

---

<sup>10</sup> Krawczyk J., Letachowicz B., **Klink A.**, 2004, Wykorzystanie wybranych gatunków roślin i porostów do oceny zanieczyszczenia środowiska metalami ciężkimi, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 501, 227-234.

<sup>11</sup> Krawczyk J., Letachowicz B., **Klink A.**, Krawczyk A., 2006, Zróżnicowanie kumulacji metali ciężkich w *Athyrium filix-femina* (L.) Roth i *Athyrium distentifolium* Tausch ex Opiz z Sowiej Doliny i Doliny Łomniczki (Karkonosze Wschodnie) oraz ich wykorzystanie do oceny stanu środowiska. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 515, 211-217.

a ruch związany z autostradami – wysokie zawartości Ni i Fe (Polechońska i inni 2013)<sup>12</sup>. Z kolei liście jemioly pospolitej w stanowiskach o niskim stopniu zanieczyszczenia charakteryzowały się wyższymi zawartościami Cd, Ni, Pb i Zn niż liście gospodarza - jarząbu pospolitego, a w stanowiskach silnie zanieczyszczonych – niższymi (Kolon i inni 2013)<sup>13</sup>. Na drodze porównania z dobrze poznanym bioindykatorem, którym jest *Pinus sylvestris*, wykazano wysokie zdolności *Quercus petraea* do akumulacji metali oraz możliwości wykorzystania tego gatunku do oceny zanieczyszczenia środowiska wokół zakładów przemysłowych (Klink i inni 2017)<sup>14</sup>. Gatunkami przydatnymi do oceny zanieczyszczenia ekosystemów górskich okazały się *Streptopus amplexifolius* (Letachowicz i inni 2004)<sup>15</sup>, *Gentiana asclepiadea* (Letachowicz i inni 2007)<sup>16</sup>, *Andromeda polifolia* i *Oxycoccus microcarpus* (Wojtuń i inni 2013)<sup>17</sup>. Uczestniczyłam również w badaniach, które określiły właściwości bioindykacyjne *Hieracium pilosella* (Krawczyk i inni 2006)<sup>18</sup>, *Rubus idaeus*, *Salix caprea* (Wisłocka i inni 2006)<sup>19</sup> oraz *Betula pendula* (Klink i inni 2006)<sup>20</sup>.

Badania przeprowadzone wraz z dr. Ludmiłą Polechońską i dr Małgorzatą Dambiec wykazały, że skutecznym bioindykatorem pasywnym, pozwalającym na ocenę zanieczyszczenia ekosystemów wodnych z obszarów o zróżnicowanym i wieloczynnikowym wpływie człowieka, jest *Ceratophyllum demersum*. W badaniach tych po raz pierwszy porównano syntetyczny wskaźnik zanieczyszczenia NPI (ang. Nemerow Pollution Index),

---

<sup>12</sup> Polechońska M., Zawadzki K., Samecka-Cymerman A., Kolon K., **Klink A.**, Krawczyk J., Kempers A., 2013, Evaluation of the bioindicator suitability of *Polygonum aviculare* in urban areas, *Ecological Indicators*, 24, 552-556.

<sup>13</sup> Kolon K., Samecka-Cymerman A., **Klink A.**, Kempers A., 2013, *Viscum album* versus host (*Sorbus aucuparia*) as bioindicators of urban areas with various level of pollution, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 48, 1-6.

<sup>14</sup> **Klink A.**, Polechońska L., Dambiec M., Białas K., 2018, A comparative study on macro- and microelement bioaccumulation properties of leaves and bark of *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 74(1): 71-79.

<sup>15</sup> Letachowicz B., Krawczyk J., **Klink A.**, 2004, Metale ciężkie w liściach i kory kłosa górskim *Streptopus amplexifolius* (L.) DC z Karkonoskiego Parku Narodowego, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 501, 253-260.

<sup>16</sup> Letachowicz B., Krawczyk J., **Klink A.**, Wisłocka M., 2007, Accumulation of metals in *Gentiana asclepiadea* L. from Karkonosze Mts., *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 31, 204-208.

<sup>17</sup> Wojtuń B., Samecka-Cymerman A., Kolon K., **Klink A.**, Kempers A.J., 2013, *Andromeda polifolia* and *Oxycoccus microcarpus* as pollution indicators for ombrotrophic bogs in the Western Sudety Mountains (SW Poland), *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 48, 686-693.

<sup>18</sup> Krawczyk J., **Klink A.**, Letachowicz B., Wisłocka M., 2006, The study of heavy metal content in mouse-ear hawkweed, *Hieracium pilosella* L. and the soil from its habitats within the Wieluń area. *Polish Journal of Environmental Studies* 15(2a), 116-120.

<sup>19</sup> Wisłocka M., Krawczyk J., **Klink A.**, Morrison L., 2006, Bioaccumulation of Heavy Metals by Selected Plant Species from Uranium Mining Dumps in the Sudety Mts., Poland. *Polish Journal of Environmental Studies* 15(5), 811-818.

<sup>20</sup> **Klink A.**, Letachowicz B., Krawczyk J., Wisłocka M., 2006, The Content of Heavy Metals in Soil and Silver Birch Leaves (*Betula pendula* Roth) from Wałbrzych and Głogów. *Polish Journal of Environmental Studies* 15(2a), 347-350.

wyznaczony dla wody i roślin, co pozwoliło na wykazanie ich zależności od rodzaju i stopnia antropopresji oraz sformułowanie klasyfikacji stanu środowiska wodnego w oparciu o NPI dla roślin. Jest to bardzo istotne, ponieważ rośliny dostarczają zintegrowanych w czasie informacji o jakości ekosystemu, podczas gdy analiza wody jest narażona na znaczne wahania spowodowane nieregularnym dostarczaniem zanieczyszczeń oraz możliwym ich rozcieńczeniem (Polechońska i inni 2018)<sup>21</sup>.

Byłam również członkiem zespołów badawczych prowadzących badania nad rolą makrohydrofitów wynurzonych w usuwaniu pierwiastków pokarmowych z ekosystemów wodnych. Badania te wykazały wysokie zdolności *Phalaris arundinacea* do pobierania i magazynowania makroelementów, przy czym najwyższe zawartości Ca, N, Mg i K były akumulowane w liściach, P - w łodygach, a Na w korzeniach tego gatunku. Wysokie współczynniki transportu Ca, Mg, K i N z organów podziemnych do nadziemnych świadczą o przydatności mozgi trzcinowatej w fitoekstrakcji tych pierwiastków z wody i osadów dennych zbiorników eutroficznych (Polechońska i Klink 2014)<sup>22</sup>. Z kolei w przypadku *Typha latifolia*, P, Mg i Na akumulowane były głównie w kłęczach, a N, K i Ca - transportowane do liści (Letachowicz i inni 2006)<sup>23</sup>.

Badania, przeprowadzone we współpracy z dr Zygmuntem Dajdokiem (Zakład Botaniki Instytutu Biologii Środowiskowej, Uniwersytet Wrocławski), pozwoliły ustalić wymagania glebowe rzadkiej w Polsce i na świecie rośliny zbiorowisk namułkowych *Coleanthus subtilis*. Wykazano, że koleantus delikatny zasiedlał osady o zróżnicowanej zawartości pierwiastków pokarmowych i szerokim zakresie pH. Optymalnym podłożem, na którym populacje *C. subtilis* osiągały najwyższą biomasę oraz największe zagęszczenie były osady muliste zasobne w N, K, Ca, Mg i Na, ale ubogie w P (Dajdok i inni 2017)<sup>24</sup>. Wyniki tych badań są niezbędne do opracowania właściwej strategii działań związanych z ochroną tego gatunku.

---

<sup>21</sup> Polechońska L., **Klink A.**, Dambiec M., Rudecki A., 2018, Evaluation of *Ceratophyllum demersum* as the accumulative bioindicator for trace metals. *Ecological Indicators*, 93: 274-281.

<sup>22</sup> Polechońska L., **Klink A.**, 2014, Accumulation and distribution of macroelements in the organs of *Phalaris arundinacea* L.: Implication for phytoremediation. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 49, 1385-1391.

<sup>23</sup> Letachowicz B., Krawczyk J., **Klink A.**, 2006, Kumulacja metali oraz równowaga kationowa *Typha latifolia* L. jako wskaźnik stanu zanieczyszczenia środowiska. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 515, 241-249.

<sup>24</sup> Dajdok Z., **Klink A.**, Polechońska L., Dambiec M., Pielech R., 2017, Abundance of *Coleanthus subtilis* in relation to nutrient concentrations in pond soils – A case study of localities in Poland. *Flora*, 235, 41-50.

Uczestniczyłam również w opracowaniu amplitudy ekologicznej *Elodea canadensis* z małych rzek Polski oraz składu gatunkowego towarzyszących jej zbiorowisk roślinnych. Na podstawie własnych badań oraz analizy dużej ogólnopolskiej bazy danych, zgromadzonej w Katedrze Ekologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, wykazano, że warunki świetlne oraz zasobność wód w składniki pokarmowe były głównymi czynnikami wpływającymi na liczebność i rozprzestrzenienie tego gatunku w rzekach Polski. Wykazano ponadto, że moczarka kanadyjska zasiedla głównie małe i średnie rzeki nizinne, płytkie, o podłożu piaszczystym z domieszką mułu lub żwiru. Występuje przede wszystkim w miejscach niezacienionych o nurcie laminarnym lub wartkim, które są umiarkowanie naturalne i umiarkowanie przekształcone hydromorfologicznie. Preferuje wody mezo- i eutroficzne, bogate w węglany wapnia i magnezu (Cegłowska i inni 2017)<sup>25</sup>. Uzyskane wyniki są bardzo istotne ze względu na dużą potencjalną ekspansywność i inwazyjność tego gatunku w polskich rzekach.

Istotną dziedziną mojej działalności naukowej były badania nad wpływem wód opadowych na biogeochemię *Pleurozium schreberi* spod okapu *Pinus sylvestris* i *Betula pendula*. Wykazano istotny statystycznie wzrost zawartości Mn (Krawczyk i inni 2007)<sup>26</sup> oraz Zn i Cu (Krawczyk i inni 2009)<sup>27</sup> w wodach opadowych spływających po igłach *Pinus sylvestris* i liściach *Betula pendula* oraz po korze tych drzew. Znajdowało to odzwierciedlenie w wyraźnie wyższych zawartościach tych metali w glebie i mchach ze stanowisk zlokalizowanych pod okapem badanych drzew w stosunku do stanowisk z otwartej przestrzeni. Na podstawie porównania stanowisk spod okapu brzozy brodawkowatej i sosny zwyczajnej, zanotowano wyższe zawartości Mn, Zn i Cu w glebie i mchach spod okapu sosny, co oznacza większe wymywanie metali z tkanek tego gatunku (Krawczyk i inni 2007; Krawczyk i inni 2009)<sup>26, 27</sup>.

Ważne znaczenie praktyczne mają wyniki analiz zawartości makro- i mikroelementów w liściach herbaty, herbatach torebkowych oraz w naparach herbacianych. Przeprowadzone badania wykazały istotne statystycznie zróżnicowanie zawartości P, K, Ca, Mg, Na, Al, Fe, Mn

---

<sup>25</sup> Cegłowska A., Jusik Sz., Samecka-Cymerman A., **Klink A.**, Szoszkiewicz K., 2017, Habitat requirements of *Elodea canadensis* Michx. in Polish rivers. Oceanological and Hydrobiological Studies, 46(4): 363-378.

<sup>26</sup> Krawczyk J., **Klink A.**, Letachowicz B., Wisłocka M., 2007, Influence of tree canopy on manganese concentration in throughfall and moss *Pleurozium schreberi* (Bird.) Mitt, Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, 31, 225-230.

<sup>27</sup> Krawczyk J., **Klink A.**, Wisłocka M., 2009, Influence of tree canopies on concentration of some metals in throughfall, soil and moss *Pleurozium schreberi* (Bird.) Mitt, Fresenius Environmental Bulletin, 18(7a), 1186-1191.

i Zn w herbatach pochodzących z różnych rejonów świata oraz różny stopień uwalniania poszczególnych pierwiastków do naparu. W największych ilościach uwalniane były Ca i K, a w najmniejszych Fe (Dambiec i inni 2013)<sup>28</sup>. Herbaty torebkowe zawierały wyższe ilości Pb, Mn, Fe, Ni, Al, Cr (Polechońska i inni 2014)<sup>29</sup> i F (Klink i inni 2017)<sup>30</sup> niż herbaty liściaste tych samych marek, a napary przygotowane z herbat torebkowych cechowały się wyższą zawartością makroelementów oraz Mn, Ni, Al, Cr i F niż napary herbat liściastych (Polechońska i inni 2014; Klink i inni 2017)<sup>29, 30</sup>. Ilości Al i Mn (Dambiec i inni 2013; Polechońska i inni 2014)<sup>28, 29</sup> oraz F i Na (Klink i inni 2017)<sup>30</sup>, przechodzące do naparu stanowią istotne źródło tych pierwiastków dla człowieka i w znacznym stopniu zaspakajają jego codzienne zapotrzebowanie na te pierwiastki.

Mój dorobek naukowy obejmuje ponadto pracę przeglądową, przygotowaną wspólnie z dr. Tomaszem Długoszem (Instytut Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki; Politechnika Wrocławska), która systematyzuje wiedzę dotyczącą pól elektromagnetycznych i ich wpływu na rośliny z rodziny *Lemnaceae* (Długosz i Klink 2012)<sup>31</sup>. Na podstawie przeanalizowanej literatury wykazano, że fale elektromagnetyczne, w zależności od charakterystyki pola, mogą wpływać stymulująco lub hamująco na aktywność enzymów w komórkach roślinnych, co związane jest ze zmianą zawartości wolnych jonów wapniowych. Pokazano również wpływ pola elektromagnetycznego na wzrost aktywności enzymów antyoksydacyjnych w komórkach, co objawia się stresem oksydacyjnym. Siła oddziaływania zależy od częstotliwości pola oraz czasu ekspozycji. Ponadto wrażliwość roślin oraz ich odpowiedź na działanie pola elektromagnetycznego zależy w dużej mierze od stanu fizjologicznego i wieku rośliny. Praca ta stanowiła punkt wyjścia do badań prowadzonych we współpracy z dr hab. Pawłem Bieńkowskim z certyfikowanego Laboratorium Wzorców i Metrologii Pola Elektromagnetycznego Politechniki Wrocławskiej. Wspólne badania wykazały istotny wpływ pola elektrycznego na bioakumulację metali śladowych w tkankach

---

<sup>28</sup> Dambiec M., Polechońska L., **Klink A.**, 2013, Levels of essential and non-essential elements in black teas commercialized in Poland and their transfer to tea infusion, *Journal of Food Composition and Analysis*, 31, 62-66.

<sup>29</sup> Polechońska L., Dambiec M., **Klink A.**, Rudecki A., 2015, Concentrations and solubility of selected trace metals in leaf and bagged black teas commercialized in Poland. *Journal of Food and Drug Analysis*, 23, 486-492.

<sup>30</sup> **Klink A.**, Dambiec M., Polechońska L., Rudecki A., 2018, Evaluation of macroelements and fluorine in leaf and bagged black teas. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12: 488-496.

<sup>31</sup> Długosz T., **Klink A.**, 2012, Wpływ pola elektromagnetycznego na rośliny na przykładzie rzęsy drobnej – przegląd literatury, *Przegląd Elektrotechniczny* 88(12b), 121-123.



*Elodea canadensis* (Klink et al. 2019)<sup>32</sup>. Zawartości Pb i Zn w roślinach poddawanych działaniu pola elektrycznego były wyższe, a zawartości Mn i Ni niższe niż w roślinach, które nie podlegały wpływowi pola. Uzyskane wyniki mają istotne znaczenie praktyczne, mogą zostać wykorzystane w fitoremediacji.

W sumie, od momentu uzyskania tytułu doktora, opublikowałam 41 prac z zakresu biogeochemii i ekologii roślin. Sumaryczny współczynnik oddziaływania (IF) zgodny z rokiem opublikowania wynosi 39,719, a suma punktów MNiSW (zgodnie z aktualną punktacją wg wykazu MNiSW z dnia 9 grudnia 2016 r. oraz rozporządzenia MNiSW) wynosi 767.

Agnieszka Klink

---

<sup>32</sup> **Klink A.**, Polechońska L., Dambiec M., Bieńkowski P., Klink J., Sałamacha Z., 2019, The influence of an electric field on growth and trace metal content in aquatic plants, *International Journal of Phytoremediation*, 21(3): 246-250