

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

**FITOREMEDIÁCIÓS ÉS ÖKOTOXIKOLÓGIAI
VIZSGÁLATOK VÉGZÉSE MAGYARORSZÁGI ÉS
TÖRÖKORSZÁGI TERÜLETEKEN**

**PHYTOREMEDIATION AND ECOTOXICOLOGICAL
INVESTIGATIONS ON HUNGARIAN AND TURKISH
POLLUTED AREAS**

Csatári István

Témavezető: Dr.habil Lakatos Gyula (egyetemi docens)

Konzulens: Dr. Gülriz Baycu (egyetemi docens)



DEBRECENI EGYETEM

Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola

Debrecen, 2015

1. Bevezetés és célkitűzések

A nehézfémek és egyéb kémiai szennyezőanyagok túlzott jelenléte a talajban, felszíni és felszín alatti vizekben komoly környezeti és egészségügyi kockázattal járhat. A növények képesek beépíteni ezeket az anyagokat a szervezetükbe, így azok bekerülhetnek a táplálkozási hálózatokba és a biomagnifikáció folyamatán keresztül akár az ember egészségét is veszélyeztethetik (Rabnecz *et al.*, 2007). A nehézfémekkel szennyezett területek kárelhárításában számos fizikai-kémiai módszer létezik, azonban ezeknek az eljárásoknak több hátránya is ismert, mint például a jelentős költsége, másodlagos veszélyes hulladék keletkezése, illetve a talaj szerkezetének és élővilágának károsodása. Ellenben a fitoremediáció, ami az adott szennyezők ártalmatlanítását teszi lehetővé növények felhasználásával, igen nagy területen akár helyben (in-situ) is alkalmazható, környezetkímélő és meglehetősen költséghatékony (Baker és Brooks, 1989; Brooks, 1998; Simon, 2005; Bíró *et al.*, 2007; Lakatos *et al.*, 2008). A növények azon tulajdonsága, hogy képesek gyökereikben akumulálni vagy a hajtásukba szállítani és ott raktározni bizonyos nehézfémeket, lehetővé teszi, hogy ezeket a növény fajokat felhasználjuk a szennyezett vízi és szárazföldi élőhelyek monitorozásában és kárelhárításában (Baycu *et al.*, 2014). A sikeres fitoremediációs eljárás kidolgozásánál figyelembe kell vennünk a remedálni kívánt terület környezeti paramétereit, az azt toleráló növények genetikai és fiziológiai sajátosságait, illetve azok biomassza produkcióit, ezért az ilyen projektek megkövetelik az alapos elővizsgálatokat és megfelelő kutatások elvégzését (Simon *et al.*, 2000).

Magyarország és Törökország azon országok közé tartozik, ahol a fitoremediációs technikák alkalmazása a kutatás és fejlesztés (R&D-Research and Development) fázisban tart, ezért az ilyen irányú kutatások napjainkban kiemelkedő szerepet kapnak (Bíró *et al.*, 2007). A helyben történő (in-situ) fitoremediációs eljárások vizsgálatára és fejlesztésére kiváló referencia területeket nyújtanak az ipari létesítményekhez tartozó szennyvíz ülepítő egységek, bánya meddők, illetve városi ökoszisztémák intenzív antropogén hatás alatt álló szárazföldi és vizes élőhelyei. Az utóbbira kiváló példát jelentenek a folyamatosan bővülő metropoliszok területén elhelyezkedő lagúnák, amelyek vízgyűjtő területei jelentős nehézfém

terhelést kaphatnak a közlekedés, mezőgazdaság, kezeletlen, vagy nem megfelelően kezelt ipari és kommunális szennyvíz kibocsátás, légköri kiülepedés és turisztikai tevékenységek következtében (Moore és Ramamoorthy, 1984; Green-Ruiz és Paez-Osuna, 2001; Shumilin *et al.*, 2001, Maanan *et al.*, 2004; Kolay és Singh, 2010). Globálisan megfigyelhető jelenség a lagúnák vizének és üledékének nehézfémek általi szennyeződése, mivel azok a vízgyűjtők talaján keresztül felszíni és/vagy felszín alatti lefolyással egészen a tengerparti területekig is eljuthatnak (Glasby *et al.*, 2004; Ruiz *et al.*, 2006). A lagúnák litorális zónáját illetve a tengeri torkolatok mocsaras vidékeit olyan többnyire sótűrő növényfajok népesítik be (többnyire a Poaceae családhoz tartozó fűfélék), amelyek potenciális fitoremediációs szerepére már több tanulmány is rámutatott. A nád (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex. Steud) fitoremediációs alkalmazhatósága nemzetközileg is széles körben tanulmányozott annak jelentős biomassza produkciója és nehézfém akkumuláló kapacitása miatt, azonban a tanulmányok csak egy töredéke foglalkozik a lagúnák partvidékén található állományok ilyen irányú vizsgálatával (Bonanno és Giudice, 2010).

A Debreceni Egyetem egykori Alkalmazott Ökológia Tanszékén 2005-ben kapcsolódtam be a kunszentmártoni börgyár nagy krómtartalmú ülepítő tórendszerét kolonizáló növényfajok fitoremediációs vizsgálataiba, majd 2010-től Törökországban folytattam ilyen irányú kutatásaimat. A kunszentmártoni mintavételi terület folyamatos monitorozásán túl kutatásaimat kiterjesztettem és egy török-magyar nemzetközi projekt (BAP-IRP) keretén belül kezdtem el vizsgálni az Isztambulban található Küçükçekmece-lagúna litorális zónájának vegetációját. A két mintavételi terület növényállományait hasonló fajok alkották, különös tekintettel a nádra, amely minden évben mindkét mintavételi területen fellelhető volt, így biztosítva egy részletes, összehasonlító tanulmány készítésének alapjait. A doktori dolgozatomban a kunszentmártoni monitorozás és az isztambuli kutatás új tudományos eredményeit foglaltam össze.

A vizsgálatok fő célkitűzéseként a mintavételi területek környezeti állapotfelmérésének elvégzését, illetve az azokon megtelepedő növényfajok (különös tekintettel a nádra) lehetséges fitoremediációs szerepének feltárását tűztük ki.

A fő konklúziók megállapításához a kutatás előtt az alábbi részecélkitűzéseket fogalmaztuk meg:

- Felderíteni a mintavételi területek legfőbb fiziko-kémiai adottságait, mint például a talajtextúra, pH és vezetőképesség, amelyek befolyásolhatják a mintavételi területek szennyezőkkel szembeni érzékenységét, a kémiai szennyezők közegben történő transzmisszióját, illetve azok növények általi felvételét.

- ICP-OES analitikai módszerrel meghatározni a mintavételi területek vizében, talajában és üledékében található potenciális kémiai szennyezők (P, Fe, Al, B, Mn, Zn, Cu, Ni, Cr, Pb, Cd) koncentrációját. A Küköckmece-lagúna és litorális zónájának esetében igazolni az egyes elemek antropogén eredetét.

- ICP-OES technikával detektálni az adott kémiai szennyezők koncentrációit a növényekben. A kémiai szennyezők növények általi felvételét, és azok transzlokációját vizsgálva megadni, hogy melyik növényfaj gyökérakkumuláló, és melyik halmoz fel nagy koncentrációkat, ezekből az elemekből a hajtásban. Növényfajokat javasolni fitoextrakciós vagy fitostabilizációs alkalmazásra.

- A kunszentmártoni bőrgyár szennyvíz ülepítő tórendszerén megtelepedő növényzet hosszú távú monitorozása a terület természetes regenerálódásának és krómmal szennyezett területek fitoremediációjában történő potenciális alkalmazhatóságának céljából.

- Részletesen felmérni a nád biomasszáját mindkét mintavételi területen és meghatározni a kémiai szennyezők egy négyzetméternyi nád biomasszában felhalmozódott mennyiségét. Összefüggéseket feltárni a nád biomasszája és az üledék/talaj paraméterei között.

- Ökotoxikológiai tesztekkel felmérni a mintavételi területek jelenlegi környezetkárosító kockázatát.

2. Anyag és módszer

2.1. *Mintavételi területek bemutatása*

A kunszentmártoni területen a három mintavételi pontot a hármas és kettes töegységeken (KM.2 és KM.3), illetve egy háttér területen jelöltük ki (KM.1 kontroll). A kunszentmártoni terület növényzetének hosszú távú monitorozása lehetővé tette, hogy 11 év vegetáció elemzésének eredményeit ismertessem a dolgozatban, a 2012-ben gyűjtött minták vizsgálatai pedig részletes elemzésre kerültek. A Kükükcsece-lagúna környékén a mintavételi pontokat a területhasználati szempontból érdekes, karakterisztikus helyeken jelöltük ki, mivel célkitűzéseink között szerepelt a lehetséges nehézfém források felderítése. Összesen hét mintavételi pontot határoztunk meg, ebből öt közvetlenül a Kükükcsece-lagúna területére esett (KC.1-KC.5), kettő pedig a Szalidere-csatorna mentén található (SD.1-SD.2). Ezeket a mintákat 2011 őszén és 2012 nyarán gyűjtöttük.

2.2. *Vizsgálati módszerek*

A mintavétel mindkét területen a vegetáció felmérésével kezdődött. Összeírtuk a fajlistát, amit később felhasználtunk a fajok növénycsaládokba történő besorolásánál illetve a Simon-féle természetvédelmi érték kategóriák alapján történő elemzésnél.

A nád esetében részletes biomassa felmérés történt, amire a kvadrát módszert alkalmaztuk. Vizsgáltuk a nád egyedeinek magasságát, levélszámát, tömegét, víztartalmát, az állományok sűrűségét és végül meghatároztuk az egységnyi területen található biomassa mennyiségét. Az üledék- és talajminták szemcseméret szerinti besorolását hidrométer módszerrel végeztük. A víz, üledék és talajminták vezetőképességét és pH-ját terepi illetve laboratóriumi műszerekkel mértük. A laboratóriumban sor került a növényminták frakcionálására illetve szárítására, amit azok homogenizálása követett. Az így kapott mintákat analitikai tisztaságú salétromsav hozzáadásával roncsoltuk BERGHOF-MWS4 zárt roncsolóban, majd a kémiai szennyezők koncentrációit (P, B, Fe, Al, Mn, Cu, Ni, Cr, Pb) ICP-OES berendezéssel mértük. A Kükükcsece-lagúnából vett vízmintákat nem roncsoltuk és a fent említett elemeken kívül a kadmiumot (Cd) is mértük. A kapott eredményekből kiszámoltuk

minden egyes elemre a nád bioakkumulációs faktorát (BAF) és transzlokációs faktorát (TF). A vizsgált paraméterek komplex elemzéséből (statisztika: ANOVA, Kruskal-Wallis próba, Games-Howel próba; Mann-Whitney próba, Spearman-korreláció) tudtunk következtetni növényfajok fitoremediációs szerepére (Field, 2009). *Sinapis alba* csíranövény teszttel vizsgáltuk a víz, üledék és talajminták esetleges toxikus hatását.

3. Új tudományos eredmények

3.1 A krómmal nagymértékben szennyezett, változékony környezeti paraméterekkel rendelkező területek in-situ fitoremediációjára (zöld borítás) leginkább a fészekvirágzatúak (Asteraceae), pázsitfűvek (Poaceae), libatopfélék (Chenopodiaceae), keserűfűfélék (Polygonaceae), ajakosok (Lamiaceae) és ernyősök (Apiaceae) növénycsaládokba tartozó fajok lehetnek alkalmasak.

- A bőrgyár ülepítő tőrendszerének üledéke tömör, mégis jelentős detritusz tartalmú, jelenleg savas-gyengén savas, kis sótartalmú üledék, aminek króm koncentrációja a 18000 mg kg^{-1} értéket is eléri. A terület növényzetének faji diverzitása nagy, tizenegy mintavételi év alatt 97 növényfajt írtunk le, amelyeket 33 növénycsaládba lehetett sorolni. A legtöbb növény kis mennyiségű krómot vett fel, illetve transzlokált a hajtásba, így azok az elkerülés stratégiáját választva képesek voltak az üledék stabilizálására. A jelentős zöld borítás a defláció megakadályozásában is fontos szerepet játszott az évek alatt.

3.2 A krómmal szennyezett területek természetes regenerálódásában fontos szerepe van a vízborításnak, mivel az, pozitívan hat a növénytársulás természetes összetételére.

- A 2004-ben kialakult vízborítás tartósságával az ülepítő tőrendszeren a gyomfajok száma 2006-ban a korábbi 25 fajról négyre csökkent. 2004-ben a kísérő fajok száma már meghaladta a gyomfajok számát és a kettő közötti különbség a vízborítás tartósságával párhuzamosan nőtt. A vizes élőhely jellegű időszakokban a társulást 50-67 %-ban alkották természetes fajok, amíg ez az érték száraz időszakokban 20-39 % volt.

3.3 A nád (*Phragmites australis*) alkalmas a krómmal (Cr) extrém mértékben szennyezett területek in-situ fitostabilizációjára.

- A növény nem az elkerülés stratégiáját használja, hanem a krómot nagy mennyiségben akkumulálja gyökerében, de annak hajtásba történő transzlokációja ICP-OES méréseink által bizonyítottan elhanyagolható.

- A króm eloszlása a különböző frakciókban abszolút konzekvens mintázatot mutatott: gyökér ($227\text{--}1325\text{ mg kg}^{-1}$) > rizóma ($22\text{--}28\text{ mg kg}^{-1}$) > levél ($2,00\text{--}4,06\text{ mg kg}^{-1}$) > szár ($1,45\text{--}1,50\text{ mg kg}^{-1}$). A króm a kúccskececei minták esetében is a gyökérben halmozódott fel, a különbség a gyökér és többi frakció között szignifikáns volt.

3.4. A nád alkalmazható a lagúnák litorális zónáját veszélyeztető kémiai szennyezők fitostabilizációjára és biomonitorozására.

- Az elemek korrelációját vizsgálva megállapítottuk, hogy nád elemfelvétele a nagy sótartalmú talajokból nem szelektív módon történik, ami lehetővé teszi, hogy a legtöbb kémiai szennyezőt, különösen a (Fe, Al, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Pb) akkumulálja a gyökérben.

3.5. A nád javasolható a bór (B) folyamatos fitoextrakciójára. Különösen olyan területek lehetnek érintettek, ahol a magas bórtartalom más nehézfémek jelenlétével is párosul.

- A bór és a vezetőképesség között párhuzamot véltünk felfedezni, ami igazolja, hogy a bór sók formájában van jelen a KC.-lagúna területén. A víz nagy bór koncentrációjával ($703\text{--}1050\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$) szemben a talaj (33 mg kg^{-1}) és üledék (28 mg kg^{-1}) koncentrációi elhanyagolhatóak voltak, viszont a nád hajtásában (87 mg kg^{-1} levél; 92 mg kg^{-1} gyökér; 49 mg kg^{-1} rizóma) jelentős bór koncentrációkat detektáltunk. A legtöbb esetben teljesült a transzlokációs faktor (TF) >1 . Az említett értékek a világ legnagyobb bórban lévő talaj közelében megtelepedett nád állományokban mért koncentrációk több mint kétszerese. Az őszi időszakban szignifikánsan több bór halmozódott fel a nád hajtásában, így párhuzamot lehet vonni a folyamatos akkumuláció és szenescencia között.

3.6. A Kűcűkcekmece lagűna nagy sűtartalma nincs negatűv hatással a nűd nehűzfűm felvűtelűre (relatűv koncentracűűk, bioakkumulacűűs faktor, transzlokacűűs faktor), viszont a nűvekedűsűre, egyedszűmra, levűlszűmra, vűztartalmra űs ez űltal, az űlloműnyok szűraz biomasszűjűra igen.

- A kevűsbű sűs (KM.2-3., KM.1 kontroll, SD.1) űs sűs (KC.3-KC.5) terűleteken megűjelent űlloműnyok esetűben a kűvetkező kűlűnbűsűgeket űllapűtűttuk meg: űlloműny denzitűsa (kevűsbű sűs 72-135 egyed m^{-2} , sűs 18-33 egyed m^{-2}); egyedek magassűga (kevűsbű sűs 2,18-3,89 m, sűs 1,68-1,96 m); levűlszűm (kevűsbű ingadozűt: 9-13 egyed $^{-1}$) nedves tűmeg (kevűsbű sűs 2,57-8,39 kg m^{-2} , sűs 0,89-1,70 kg m^{-2}); vűztartalom (kevűsbű sűs 37-57 %, sűs 12-46 %). A szűraz biomassza szűműtűsűnűl az elűzűűekben bemutatűt eredműnyek kűzűttű kűlűnbűsűgek tűbbsűzűűsen űsszeadűdnak (kevűsbű sűs 1,69-4,65 kg m^{-2} , sűs 0,48-0,88 kg m^{-2}).

3.7. A kűzeg nagy sűtartalma csűkkenti a foszfor (P), nűkkel (Ni) űs krűm (Cr) transzlokacűűjűt a kűcűkcekmecei nűd űlloműnyok egyedeiben.

- Az eredműnyeket a vezetűkűpessűg űs transzlokacűűs faktorok (TF) kűzűttű korrelacűűs vűzsgűlatokra űlpozűzuk.

3.8. Az ICP-OES berendezűssel műrt relatűv koncentracűűk műrűseit űs a bioakkumulacűűs űlletűve transzlokacűűs faktorok szűműtűsűit figűyelembe vűve a kűvetkező nűvűnyeket űrdemes a tovűbbűiokban űs vűzsgűlnű fűtoremediacűűs szempontbűl.

- Keskenűlevelű gyűkűny (*Typha angustifolia*: Fe, Al, Zn űs Cr fűtostabilizacűűja); lűrom (*Rumex sp.* - Mn fűtostabilizacűűja, Zn, Pb fűtoextrakcűűja); laboda fajok (*Atriplex sp.* - Zn fűtoextrakcűűja űs a legtűbb vűzsgűlt kűműiai szennűezű fűtostabilizacűűja, biomonitorozűsa); fehűr libatop (*Chenopodium album* - Zn fűtoextrakcűűja); sűntűk (*Echinocistys lobata*- Cu fűtostabilizacűűja); kamilla (*Matricaria chamomilla* - Pb fűtostabilizacűűja); űszűrűzsa fajok (*Aster sp.* - B, Zn, Ni fűtoextrakcűűja); sűs (*Carex sp.* - Mn, Ni, Cu fűtostabilizacűűja, Zn fűtoextrakcűűja); szűttűyű (*Juncus sp.* - Fe, Al, Mn, Zn, Ni szennűezés biomonitorozűsűra űlkalmas lagűnűk lűtorűlis zűnűjűban); szűrűke tamariska (*Tamarix ramosissima* - Zn

fitoextrakciója); kanadai betyárkóró (*Conyza canadensis* - Fe, Al, Mn, Zn, B fitoextrakciója és biomonitorozása); tócsagaz (*Zanichellia palustris* - Zn, Mn nagymértékű felvétele, biomonitorozása).

3.9. A Kücükcekece-lagúna litorális zónája csekély mértékben szennyezett, a víz P, Fe, Mn, Cu és Ni több ponton mért nagy koncentrációja figyelmeztet, hogy a kémiai szennyezők hosszú távon komoly következményeket okozhatnak. A szennyező anyagok eloszlása szoros kapcsolatban áll a földhasználat típusával és ez a növénymintákból mért koncentrációkkal is nyomon követhető.

- A litorális zóna talaja nagy homoktartalmú, ezáltal kis víztartó kapacitású sós talaj, amin keresztül a potenciális kémiai szennyező anyagok könnyen bemosódhatnak a lagúna vizébe. A víz szervesetlen foszfor és össz-nitrogén tartalma nagy és ez a talaj és üledék minták esetében is igaz. Legnagyobb koncentrációkat a KC.3-5. mintavételi pontoknál mértük, ami a mezőgazdasági és kommunális szennyezésre utal.

- Részletes elemanalízissel és az elemek egymással való korreláltatásával egyértelművé vált, hogy a Mn, Zn és Pb antropogén eredetűek. Ólomból egyértelműen a KC.1 és SD.2 (fontos közlekedési útvonalak) mintavételi pontoknál mértük a nagyobb koncentrációkat mind a talaj-, üledék- és növényminták esetében. A nád gyökerének Zn koncentrációja a korábban más szerzők által leírt értékek több százszorosát is eléri. A szennyező anyagok forrásaiként egyértelműen az ipari, közlekedési és mezőgazdasági tevékenységet, de leginkább a kommunális szennyvizet tudjuk megnevezni.

PHYTOREMEDIATION AND ECOTOXICOLOGICAL INVESTIGATIONS ON HUNGARIAN AND TURKISH POLLUTED AREAS

1. Introduction

The purpose of this research was to explore the phytoremediation potential of various plant species growing on a Hungarian and a Turkish polluted areas. Special attention was paid to the stands of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. (common reed). Phytoremediation is a cost effective environmental clean-up strategy in which capable plant species are employed to remove toxic contaminants or reduce the dangers caused by their harmful impacts (Baker és Brooks, 1989; Brooks, 1998; Simon, 2005; Bíró *et al.*, 2007; Lakatos *et al.*, 2008). The phytoremediation projects are still in R&D phase both in Hungary and Turkey, therefore the exploration of new ways of possible applications is very important (Bíró *et al.*, 2007).

The main (sub-) goals of our study were the followings:

- Evaluate the present environmental condition and pollution level of the sampling sites.
- Investigate the major physico-chemical parameters of the sites (pH, EC, texture and concentrations of pollutants). Discover relations among the measured parameters.
- Measure the elemental concentrations (P, Fe, Al, B, Mn, Zn, Cu, Ni, Cr, Pb, Cd) of soil, sediment, water and plant samples by ICP-OES technique. Prove the anthropogenic origin of the mentioned elements in the littoral zone of the lagoon.
- Classify the investigated plant species by root- and shoot accumulation.
- Long term biomonitoring of the plant cover that have been colonizing the research area in Kunszentmárton, Hungary. Appoint plant families that can be potentially appointed for the phytoremediation of chromium polluted areas.

- Investigate the toxic effect of soil-, sediment- and water samples by using *Sinapis alba* root elongation test.
- Study the potential role of the littoral *P. australis* stands in the phytoremediation and bioremediation of inorganic pollutants in favour of the protection of the lagoon.

2. Materials and methods

2.1. Sampling areas

The secondary sedimentation pond system of the former leather factory (Pannónia Rt.) located near the Hungarian town Kunszentmárton was the first research area. It is an excellent reference area for phytoremediation studies, since it has been highly contaminated by chromium. The second sampling area was the Küçükçekmece Lagoon, which is the second largest lagoon of Istanbul, Turkey, and located between Küçükçekmece and Avcılar districts on the European side of the city. Three sampling sites have been selected in Kunszentmárton, two on the contaminated ponds (KM.2, KM.3) and one control site (KM.1 control) located nearby the sedimentation ponds. Long term monitoring of the plant cover including eleven sampling years has been carried out on these sites, and data of the sediment and plant samples collected in 2012 are presented in details. Seven sampling locations were selected altogether at various distances from Marmara Sea; five sites at the littoral region of KC. (KC.1-5) and two sites at Sazlıdere Stream (SD.1-2). Sampling sites of Küçükçekmece Lagoon were appointed by considering the land use type, thus littoral zone of the lagoon was studied close to traffic routes (KC.1 and SD.2), industrial (KC.3) agricultural (KC.4) and domestic (KC.5) areas, respectively.

2.2. Methods

The pH, EC and elemental concentrations of water, sediment and littoral soil samples (depth of 0-10 cm and 10-20 cm) were measured in both sampling years (2011 autumn- 2012 summer) In addition, elements in all organs of *P. australis* (rhizome, root, stem, leaf, panicle) were studied separately and their distributions are presented in this dissertation. We applied several statistical analyses to discover correlations, differences and linkages among the investigated parameters.

Scientific protocols were consequently applied for all sample types in both areas. Species lists have been described and species were classified by using the Simon-Nature Conservational Values (TVK). The random quadrat method provided the grounds for the biomass studies of *P. australis* (height-, leaf number-, weight-, water content of individuals; density of the stands, dry biomass m⁻²). Hydrometer method was applied to investigate the texture of the soil and sediment samples. The electrolytic conductivity (EC) and pH of the samples were measured with portable and laboratory devices. Extra pure nitric-acid was added to all samples (except water) which were processed through wet digestion in BERGHOF MWS-4 closed microwave oven. The elemental composition of the samples was measured by ICP-OES instrument. Bioaccumulation factors (BAF) and translocation factors (TF) were calculated for each element. The phytoremediation potential of the investigated plant species was evaluated by using a multidisciplinary mind-set. *Sinapis alba* germination tests were set up in order to evaluate the toxic effect of water samples, soil-and sediment extracts.

3. Novel scientific results

3.1 Species which belong to the following plant families can be potentially applied in the in-situ phytostabilization (green cover) of heavily chromium contaminated areas: Asteraceae, Poaceae, Chenopodiaceae, Polygonaceae, Lamiaceae, Apiaceae.

- The sediments of the sampling sites of Kunszentmárton are aggregated, however contained high amount of detritus. The pH was found slightly acidic and based on the EC values these can be described as non-salty sediments. The chromium concentrations of many of these samples raised above 10000 mg kg⁻¹ with a maximum value 18000 mg kg⁻¹. The diverse species composition referred to the adaptation strategies of the described species. Altogether 97 plant species were identified during the eleven years of sampling, which refer to the presence of 33 plant families. Most of the plants accumulated and translocated low amount of chromium, thus they were able to stabilize the sediment by using the strategy of exclusion.

3.2 Water abundance is beneficial for the natural recovery and composition of the plant associations growing on chromium contaminated areas.

- The plant association was mainly composed by natural species during the wet periods (50-67 %), but their presences were considerably dropped in the drought years (20-39 %).

3.3 *P. australis* is highly applicable in the in-situ phytostabilization of areas with heavy pollution of chromium.

- The highest chromium concentrations were detected in the organs of *P. australis*. The distribution of chromium among the plant parts were consequent: root (227-1325 mg kg⁻¹) > rhizome (22-29 mg kg⁻¹) > leaf (2.00-4.06 mg kg⁻¹) > stem (1.45-1.50 mg kg⁻¹). Since neither the studied plants, nor the *Sinapis alba* test plants did not show toxic symptoms, it can be concluded, that the strongly toxic Cr⁶⁺ form has been reduced to the non-toxic Cr³⁺ form.

3.4. The *P. australis* stands of Kükücekmece Lagoon area were able to take up and accumulate the heavy metals in high

concentrations, thus our results clearly revealed the importance of the extensive littoral reed stands in the phytofiltration and bioretention of inorganic pollutants.

- Under saline conditions, the uptake of elements (Fe, Al, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Pb) by root, seems to be less selective (several positive versus the only one negative correlation) compare with the translocation within the above ground organs.

3.5. Based on our results *P. australis* can be suggested for the phytoextraction of boron (B) in areas where salinity is associated with high heavy metal concentrations.

- There was a correlation found between the electrolytic conductivity values (EC) and boron concentrations (B) of the soil samples, which reveals, that boron appears in a form of boron salts in the soil of Küçükçekmece Lagoon area. Considerable amount of boron have been found in the organs of *P. australis* (87 mg kg⁻¹ leaf; 92 mg kg⁻¹ root; 49 mg kg⁻¹ rhizome). The translocation factor of boron generally raised above the value of one. As a consequence of the senescence of the stands, boron concentrations of the leaf were found significantly higher in autumn in comparison with the data obtained during the summer.

3.6. The high salinity level of Küçükçekmece Lagoon area did not inhibit the heavy metal uptake (relative concentrations of the elements, bioaccumulation factor, translocation factor) of *P.australis*, but effected its biomass (growth, leaf number, height, water content, density of the stands and dry biomass) in comparison to the control stands.

- The following differences appeared among the stands growing on non-saline (KM.2-3; KM.1 kontroll; SD.1) and saline (KC.3-KC.5) sites: stands density (non-saline 72-135 individuum m⁻², saline 18-33 individuum m⁻²); height (non-saline 2.18-3.89 m, saline 1,68-1,96 m); leaf number (no significant difference among the stands: 9-13 individuum⁻¹) fresh weight (non-saline 2.57-8.39 kg m⁻², saline 0.89-1.70 kg m⁻²); water content (non-saline 37-57 %, saline 12-46 %); dry biomass (non-saline 1.69-4.65 kg m⁻² , saline 0.48-0.88 kg m⁻²).

3.7. The translocation (TF) of phosphorus (P), nickel (Ni) and chromium (Cr) in the organs of *P. australis* is restricted by the high electrolytic conductivity (EC) of the soil.

3.8. Based on our study we can recommend several plant species for various phytoremediation strategies: *Typha angustifolia* (phytostabilization of Fe, Al, Zn and Cr); *Rumex sp.* (phytostabilization of Mn and phytoextraction of Zn and Pb); *Atriplex sp.* (phytoextraction of Zn, phytostabilization of most of the observed elements); *Chenopodium album* (phytoextraction of Zn); *Echinocystis lobata* (phytostabilization of Cu); *Matricaria chamomilla* (phytostabilization of Pb); *Aster sp.* (phytoextraction of B, Zn, Ni); *Carex sp.* (phytostabilization of Mn, Ni and Cu); *Juncus sp.* (biomonitoring of Fe, Al, Mn, Zn and Ni); *Tamarix ramosissima* (phytoextraction of Zn); *Conyza canadensis* (phytoextraction and biomonitoring of Fe, Al, Mn, Zn, B); *Zanichellia palustris* (considerable uptake and biomonitoring of Zn and Mn).

3.9. K           Lagoon is slightly polluted by heavy metals but their accumulation in the sediment reveals the existence of continuous inputs. Anthropogenic origin of Mn, Zn, Cu and Pb was proven by statistical analyses, however high concentration of the most of the other elements in the organs of *P. australis* suggesting their anthropogenic origin too. The massive increase of Zn within few years reveals the trend that urban lagoons are still posed to continuous inputs of heavy metals. High P concentrations of the samples appoint linkages between heavy metals and domestic wastewater discharge. Traffic and domestic activities are thought to be the major sources of inorganic chemical pollutants.

Irodalomjegyzék/References

- Baker, A. J. M., Brooks, R. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements. A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*, 1(2), 81-126.
- Baycu, G., Tolunay, D., Ozden, H., Csatári, I., Karadag, S., Agba, T., Rognes, S.E. (2014). An abandoned copper mining site in Cyprus and assessment of metal concentrations in plants and soil. *International Journal of Phytoremediation*, 17 (7), 622-631.
- Bíró, B., Pacsuta, P., Simon, L. (2007). Sensitive or tolerant adaptation of *Rhizobium* bacteria as a function of the short- or long-term loads of the zinc metal salt. *Cereal Research Communications*, 35(2), 261-264.
- Bonanno, G., Giudice, R. L. (2010). Heavy metal bioaccumulation by the organs of *Phragmites australis* (common reed) and their potential use as contamination indicators. *Ecological Indicators*, 10(3), 639-645.
- Brooks, R. R., Chambers, M. F., Nicks, L. J., Robinson, B. H. (1998). Phytomining. *Trends in Plant Science*, 3(9), 359-362.
- Field, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS*. Sage publications.
- Glasby, G. P., Szefer, P., Geldon, J., Warzocha, J. (2004). Heavy-metal pollution of sediments from Szczecin Lagoon and the Gdansk Basin, Poland. *Science of the Total Environment*, 330(1), 249-269.
- Green-Ruiz, C., Paez-Osuna, F. (2001). Heavy metal anomalies in lagoon sediments related to intensive agriculture in Altata-Ensenada del Pabellon coastal system (SE Gulf of California). *Environment International*, 26, 265-273.
- Kolay, P. K., Singh, H. (2010). Studies of lagoon ash from Sarawak to assess the impact on the environment. *Fuel*, 89(2), 346-351.

- Lakatos, Gy., Keresztúri, P., Csatári, I., Tóth, A. (2008). Theory of phytoremediation and its Hungarian practice. *Cereal Research Communications*, 36, 1339-1342.
- Maanan, M., Zourarah, B., Carruesco, C., Aajjane, A., Naud, J. (2004). The distribution of heavy metals in the Sidi Moussa lagoon sediments (Atlantic Moroccan Coast). *Journal of African Earth Sciences*, 39(3), 473-483.
- Moore, J.W., Ramamoorthy, S., (1984). Heavy metals in natural waters. *Applied Monitoring and Impact Assessment*. Springer-Verlag, New York, 58–76.
- Naár, Z., Biró, B. (2006). Species composition of indigenous Trichoderma fungi affected by Cd, Ni and Zn heavy metals in calcareous chernozem soil. *Agrokémia és Talajtan*, 55(1), 261-270.
- Rabnecz Gy., Papp B., Végváry G. (2007). Comparison of heavy metal deposition by large scale biomonitoring in Europe and tropical Africa. *Cereal Research Communications*, 35(2), 961-965.
- Shumilin, E., Paez-Osuna, F., Green-Ruiz, C., Sapozhnikov, D., Rodriguez-meza, G. D., Godínez-orta, L. (2001). Arsenic, antimony, selenium and other trace elements in sediments of the La Paz Lagoon, Peninsula of Baja California, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 42(3), 174-178.
- Simon, L., Prokisch, J., Szegvári, I. (2000). Study of the phytoextraction of chromium from contaminated soil. In: *Proc. 9. International Trace Elements Symposium, Budapest*, 239-255.
- Simon, L. (2005). Stabilization of metals in acidic mine spoil with amendments and red fescue (*Festuca rubra* L.) growth. *Environmental Geochemistry and Health*, 27(4), 289-300.



Nyilvántartási szám: DEENK/263/2015.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Csatári István
Neptun kód: N6NFGM
Doktori Iskola: Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemény(ek) hazai folyóiratban (1)

1. Czudar A., Szemerédi S., Ágoston N., **Csatári I.**: A nyírbogdányi létesített vizes élőhely felhasználása a petrokémiai eredetű szennyvizek tisztítására.
TSF Tudományos Közlemények. 7 (1), 85-89, 2007. ISSN: 1587-6179.

Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) hazai folyóiratban (1)

2. Lakatos, G., **Csatári, I.**, Igaz, T., Gyulai, I., Mészáros, I.: Studies on phytoremediation in a chromium contaminated area in Hungary.
Int. Rev. Appl. Sci. Eng. 2 (2), 111-116, 2011. ISSN: 2062-0810.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/IRASE.2.2011.2.6>

Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) külföldi folyóiratban (2)

3. Baycu, G., Tolunay, D., Ozden, H., **Csatári, I.**, Karadag, S., Agba, T., Rognes, S.E.: An Abandoned Copper Mining Site in Cyprus and Assessment of Metal Concentrations in Plants and Soil.
Int. J. Phytoremediat. 17 (7), 622-631, 2015. ISSN: 1522-6514.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/15226514.2014.922929>
IF:1.739 (2014)





DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR



4. **Csatári, I.**, Baycu, G., Makineci, E., Szabó, S., Tolunay, D., Lakatos, G.: Nitrogen and carbon concentrations in the samples of soil, sediment and *Phragmites australis* (common reed) from Küçükçekmece Lagoon area (Istanbul, Turkey).
Fresenius Environ. Bull. 24 (4), 1558-1567 -, 2015. ISSN: 1018-4619.
IF:0.378 (2014)

Magyar nyelvű konferencia közlemény(ek) (3)

5. **Csatári I.**, Keresztúri P., Tóth A., Lakatos G.: Kunszentmártoni nehézfémekkel szennyezett terület ökotoxikológiai vizsgálata és vegetációjának analízise.
In: VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Nyíregyháza, 2010. április 22-24.
Szerk.: Szabó Béla, Tóth Csilla, Bessenyei György Kiadó, Nyíregyháza, 93-98, 2010. ISBN: 9789639909571
6. Ágoston N., **Csatári I.**, Serra-Páka S., Czudar A.: Petrolkémiai eredetű szennyvizek tisztítása a nyírbogdányi szennyvíztisztító rendszerben.
Hidrol. Közöny. 88 (6), -27, 2008. ISSN: 0018-1323.
7. Kocsár I., **Csatári I.**, Lakatos G.: Vizinövények gyökerében található fémek koncentrációjának és eloszlásának térképezése bio-PIXE módszerrel.
In: IV. Kárpát-medencei Környezet Tudományi Konferencia. 254-260, ISBN: 9789630646260

Idegen nyelvű konferencia közlemény(ek) (6)

8. Czudar, A., Gyulai, I., Keresztúri, P., **Csatári, I.**, Serra-Páka, S., Lakatos, G.: Removal of organic materials and plant nutrients in a constructed wetland for petrochemical wastewater treatment.
Stud. Univ. "Vasile Goldiş" Arad, Ser. Ştiinţ. vieţii. 21 (1), 109-114 -, 2011. ISSN: 1584-2363.
9. **Csatári, I.**, Keresztúri, P., Tóth, A., Czudar, A., Lakatos, G.: Ecotoxicological investigation and analysis of vegetation of heavy metal contaminated area at Kunszentmárton.
Stud. Univ. "Vasile Goldiş" Arad, Ser. Ştiinţ. vieţii. 21 (1), 95-100, 2011. ISSN: 1584-2363.
10. Csedreki, L., **Csatári, I.**, Szabó, S.: Study of heavy metal pollution of the Upper-Tisza floodplain using XRF techniques.
Stud. Univ. "Vasile Goldiş" Ser. Ştiinţ. vieţii. 21, 101-107, 2011. ISSN: 1584-2363.



11. **Csatári, I.**, Keresztúri, P., Tóth, A., Lakatos, G.: Accumulation of heavy metals in different parts of plants species.
In: Trace elements in the food chain : vol. 3. Deficiency or excess of trace elements in the environment as a risk of health. Ed.: Szilágyi Mihály, Szentmihályi Klára, HAS, Budapest, 292-296, 2009.
12. Keresztúri, P., **Csatári, I.**, Serra-Páka, S., Lakatos, G.: Strategies of heavy metal uptake by different plant functional groups.
Cereal Res. Commun. 36 (Suppl.), 1323-1326, 2008. ISSN: 0133-3720.
13. Lakatos, G., Keresztúri, P., **Csatári, I.**, Tóth, A.: Theory of phytoremediation and its Hungarian practice.
Cereal Res. Commun. 36 (Suppl.), 1339-1342, 2008. ISSN: 0133-3720.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 2,117

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 2,117

A DEENK a Jelölt által az IDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2015.12.16.





Registry number: DEENK/263/2015.PL
Subject: Ph.D. List of Publications

Candidate: István Csatári

Neptun ID: N6NFGM

Doctoral School: Pál Juhász-Nagy Doctoral School of Biology and Environmental Sciences

List of publications related to the dissertation

Hungarian scientific article(s) in Hungarian journal(s) (1)

1. Czudar A., Szemerédi S., Ágoston N., **Csatári I.**: A nyírbogdányi létesített vizes élőhely felhasználása a petrokémiai eredetű szennyvizek tisztítására.
TSF Tudományos Közlemények. 7 (1), 85-89, 2007. ISSN: 1587-6179.

Foreign language scientific article(s) in Hungarian journal(s) (1)

2. Lakatos, G., **Csatári, I.**, Igaz, T., Gyulai, I., Mészáros, I.: Studies on phytoremediation in a chromium contaminated area in Hungary.
Int. Rev. Appl. Sci. Eng. 2 (2), 111-116, 2011. ISSN: 2062-0810.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/IRASE.2.2011.2.6>

Foreign language scientific article(s) in international journal(s) (2)

3. Baycu, G., Tolunay, D., Ozden, H., **Csatári, I.**, Karadag, S., Agba, T., Rognes, S.E.: An Abandoned Copper Mining Site in Cyprus and Assessment of Metal Concentrations in Plants and Soil.
Int. J. Phytoremediat. 17 (7), 622-631, 2015. ISSN: 1522-6514.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/15226514.2014.922929>
IF:1.739 (2014)





4. **Csatári, I.**, Baycu, G., Makineci, E., Szabó, S., Tolunay, D., Lakatos, G.: Nitrogen and carbon concentrations in the samples of soil, sediment and *Phragmites australis* (common reed) from Küçükçekmece Lagoon area (Istanbul, Turkey).
Fresenius Environ. Bull. 24 (4), 1558-1567 -, 2015. ISSN: 1018-4619.
IF:0.378 (2014)

Hungarian conference proceeding(s) (3)

5. **Csatári I.**, Keresztúri P., Tóth A., Lakatos G.: Kunszentmártoni nehézfémekkel szennyezett terület ökotoxikológiai vizsgálata és vegetációjának analízise.
In: VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Nyíregyháza, 2010. április 22-24.
Szerk.: Szabó Béla, Tóth Csilla, Bessenyei György Kiadó, Nyíregyháza, 93-98, 2010. ISBN: 9789639909571
6. Ágoston N., **Csatári I.**, Serra-Páka S., Czudar A.: Petrolkémiai eredetű szennyvizek tisztítása a nyírbogdányi szennyvíztisztító rendszerben.
Hidrol. Közöny. 88 (6), -27, 2008. ISSN: 0018-1323.
7. Kocsár I., **Csatári I.**, Lakatos G.: Vízinövények gyökerében található fémek koncentrációjának és eloszlásának térképezése bio-PIXE módszerrel.
In: IV. Kárpát-medencei Környezet Tudományi Konferencia. 254-260, ISBN: 9789630646260

Foreign language conference proceeding(s) (6)

8. Czudar, A., Gyulai, I., Keresztúri, P., **Csatári, I.**, Serra-Páka, S., Lakatos, G.: Removal of organic materials and plant nutrients in a constructed wetland for petrochemical wastewater treatment.
Stud. Univ. "Vasile Goldiş" Arad, Ser. Ştiinţ. vieţii. 21 (1), 109-114 -, 2011. ISSN: 1584-2363.
9. **Csatári, I.**, Keresztúri, P., Tóth, A., Czudar, A., Lakatos, G.: Ecotoxicological investigation and analysis of vegetation of heavy metal contaminated area at Kunszentmárton.
Stud. Univ. "Vasile Goldiş" Arad, Ser. Ştiinţ. vieţii. 21 (1), 95-100, 2011. ISSN: 1584-2363.
10. Csedreki, L., **Csatári, I.**, Szabó, S.: Study of heavy metal pollution of the Upper-Tisza floodplain using XRF techniques.
Stud. Univ. "Vasile Goldiş" Ser. Ştiinţ. vieţii. 21, 101-107, 2011. ISSN: 1584-2363.



11. **Csatári, I.**, Keresztúri, P., Tóth, A., Lakatos, G.: Accumulation of heavy metals in different parts of plants species.
In: Trace elements in the food chain : vol. 3. Deficiency or excess of trace elements in the environment as a risk of health. Ed.: Szilágyi Mihály, Szentmihályi Klára, HAS, Budapest, 292-296, 2009.
12. Keresztúri, P., **Csatári, I.**, Serra-Páka, S., Lakatos, G.: Strategies of heavy metal uptake by different plant functional groups..
Cereal Res. Commun. 36 (Suppl.), 1323-1326, 2008. ISSN: 0133-3720.
13. Lakatos, G., Keresztúri, P., **Csatári, I.**, Tóth, A.: Theory of phytoremediation and its Hungarian practice.
Cereal Res. Commun. 36 (Suppl.), 1339-1342, 2008. ISSN: 0133-3720.

Total IF of journals (all publications): 2,117

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 2,117

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of Web of Science, Scopus and Journal Citation Report (Impact Factor) databases.

16 December, 2015

