



UNIVERSITAS SCIENTIARUM SZEGEDIENSIS
SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM



ELKH | Eötvös Loránd
Kutatói Hálózat

**A *Micrococcus luteus* extracelluláris szervesanyagának
alkalmazása használt kenőolajjal szennyezett talajok
ex situ bioremediációjának fokozására**

BODOR ATTILA

Ph.D. értekezés tézisei

Témavezetők:

Dr. Perei Katalin
Egyetemi adjunktus

Dr. Rákhely Gábor
Tanszékvezető, egyetemi docens

Biológia Doktori Iskola

Szegedi Tudományegyetem
Természettudományi és Informatikai Kar
Biotechnológiai Tanszék

Szegedi Biológiai Kutatóközpont
Biofizikai Intézet

2021

BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

A fokozott ipari és mezőgazdasági használat, a véletlen balesetek és az emberi gondatlanság során bekövetkező olajszenyezések a mai napig a legfőbb környezetvédelmi problémák közé tartoznak, hiszen a kőolajszármazékok súlyos kockázatot jelentenek mind a természetes életközösségekre, mind pedig az emberi egészségre nézve. Különösen igaz ez a változatos szerkezetű szénhidrogének, illetve adalékanyagok keverékéből álló kenőolajokra, amelyekben az üzemidő előrehaladtával feldúsulnak különféle égéstermékek, poliaromás vegyületek és nehézfémek. Vizes rendszerekben vagy a talajba szivároghva (és ott a talajszemcsékhez kötődve) ezek a komponensek hosszan tartó, továbbá nehezen kezelhető, perzisztens szennyezéseket okozhatnak, amelyek komoly kihívást jelentenek mind a környezet, mind pedig a benne élő organizmusok számára. A szennyezések közvetlen közelében mégis megjelen(het)nek az adott szennyezőanyag jelenlétéhez alkalmazkodó és/vagy azt lebontani képes mikrobafajok, amelyek fontos szerepet játszhatnak a közeg biológiai kármentesítésében.

A kedvezőtlen körülmények gyakran drasztikusan csökkentik a mikroorganizmusok aktivitását (beleértve a xenobiotikumok lebontására potenciálisan alkalmas törzsekét is), így a sejtek beléphetnek egy élő, de nem szaporodóképes (viable but non-culturable, VBNC) állapotba, ami csak tovább nehezíti a kenőolajjal szennyezett területek biológiai kármentesítését. Az újraéledést elősegítő faktorok (Resuscitation promoting factor, Rpf) segítségével ez az átmenet azonban visszafordítható és a VBNC sejtek újraaktivizálhatók. Mindemellett az Rpf mesterséges adagolása a közeg őshonos mikroorganizmusainak, valamint az inokulumpént alkalmazott törzseknek a biodegradációs hatékonyságát is növelheti egyes szennyezőanyagok esetén. Nem meglepő hát, hogy folyamatosan bővül azon tanulmányok köre, amelyek az Rpf fehérje környezeti potenciálját kutatják a fenntartható és minél kíméletesebb környezeti kármentesítések fejlesztése érdekében.

A dolgozatomban a *Micrococcus luteus* Rpf-tartalmú, extracelluláris szervesanyagának (EOM) környezeti alkalmazhatóságát jártam körül, amelyhez egy városi vasúti területről származó, használt kenőolajjal szennyezett talaj kármentesítése során vizsgáltam az EOM-kezelés hatékonyságát a hagyományos bioremediációs eljárásokkal szemben.

ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

A kísérletek összeállításához használt (nem szennyezett és HKO-szennyezett) talajminták a Szeged közelében elhelyezkedő és a MÁV Zrt. tulajdonában álló Szeged-Rendező pályaudvarról származtak.

A kísérleteim során a talajminták több fizikai és kémiai jellemzőjét is meghatároztam: A talajnedvességet gravimetriás módon számszerűsítettem, a fizikai talajféleséget pedig az Arany-féle kötöttségi index (K_A) alapján állapítottam meg. A talaj pH-ját a talaj és a desztillált víz 1:2,5 arányú szuszpenziójából, míg az elektromos vezetőképességet (electric conductivity, EC) a vízzel teljesen telített talajpépből mértem. Ez utóbbi víztartalma adta a talaj telítési százalékát (saturation percentage, SP). A minta összes oldható sótartalma pedig kiszámolható az EC és SP ismeretében. A talaj maximális víztartó képességét (water holding capacity, WHC) a vízzel telített talajoszlop tömegének változásai alapján határoztam meg. A talaj szervesanyag-tartalmára a különböző hőmérsékleteken megállapított izzításos tömegveszteségekből (loss on ignition, LOI) következtettem. A minták szén- és nitrogéntartalmát egy elemanalizátor segítségével, a hozzáférhető (ortofoszfátokból származó) foszfortartalmat pedig kolorimetriásan mértem meg.

A friss és a szennyezett talajokból extrahált, használt kenőolajok kémiai tulajdonságait Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópiával (FTIR) elemeztem.

A *M. luteus* IAM 1489 baktériumtörzs extracelluláris szervesanyagának előállításához sterilre szűrtem az általam módosított összetételű, laktáttartalmú minimál tápoldatban (LMM) szaporított sejteket tartalmazó kultúra felülúszóját. Az Rpf fehérje jelenlétét 12% (m v⁻¹) akrilamid-tartalmú denaturáló gélelektroforézissel, muralitikus aktivitását a *M. luteus* sejtfalkivonatát tartalmazó zimogén gélen és szuszpenzióban is igazoltam, míg a fehérjetartalmat a Bradford-féle módszerrel állapítottam.

A *Rhodococcus qingshengii* KAG C és *R. erythropolis* PR4 baktériumtörzsek kenőolajbontó képességét minimál tápoldatban (MM) összeállított mintákban teszteltem, ahol a friss kenőolaj szolgált kizárólagos szén- és energiaforrásként. Az inkubáció végén a mintákban megmaradt kenőolajat a folyadék/folyadék extrakciót követően gravimetriás módon mértem vissza.

A használt kenőolajjal szennyezett terület bioremediációs lehetőségeit két léptékben, *ex situ* talajmikrokozmosz és talajmezokozmosz kísérletek segítségével modelleztem:

A talajmikrokozmosz kísérleti rendszerek összeállításával a nedvességtartalom, a minimál tápoldattal bevitt szervesen nutriensek, továbbá a bioaugmentáció során alkalmazott inokulum méretének a HKO-biodegradációra gyakorolt hatásait kívántam tanulmányozni. A kísérletek összeállításához a HKO-szennyezett kompozit talajt lezárható, 65 mL térfogatú hypovial üvegbe mértem úgy, hogy a talaj száraztömege 3 g legyen. A minták nedvességtartalmát – a kezelés típusától függően – desztillált vízzel vagy MM-tápoldattal 30% (m m^{-1}) talajnedvességre egészítettem ki. A HKO-szennyezett talajok bioaugmentációjához kisebb inokulum méret esetén kb. 10^7 CFU g^{-1} sejtmennyiségben, míg a nagyobb inokulum méret esetében kb. 10^9 - 10^{10} CFU g^{-1} sejtmennyiségben alkalmaztam a *R. qingsenghii* KAG C vagy a *R. erythropolis* PR4 törzset. Minden mintát sötétben és 28 °C hőmérsékleten inkubáltam 40 napig.

A HKO-szennyezett talaj különféle bioremediációs stratégiáinak megvalósíthatóságát mezokozmosz rendszerekben kívántam tanulmányozni – különös tekintettel a hagyományos, illetve az EOM hozzáadásával kivitelezett biostimulációra és bioaugmentációra. A kísérletek összeállításakor a 10 kg száraztömegű, HKO-szennyezett talajt műanyag edényekbe mértem (térfogat: 13 L, magasság: 27 cm, szélesség: 32 cm, mélység: 27 cm), a nedvességtartalmat pedig 30% (m m^{-1})-ra állítottam be. Tápanyag-pótlás hiányában az NA jelű mezokozmosz a szennyezett talaj természetes HKO-biodegradációs képességét képviselte, így ezt a rendszert tekintettem kontrollnak. Valamennyi másik bioremediációs kezelésnél C/N/P=500/10/1 arányt állítottam be vízoldható szervesen nitrogén-, foszfor- és káliumforrást (NPK) adagolva a rendszerhez. A BS+EOM és BAS+EOM jelölésű mezokozmoszok ezen felül 10% (m m^{-1}) mennyiségben tartalmazták a *M. luteus* extracelluláris szervesanyagát annak érdekében, hogy ezzel is stimuláljam és/vagy újraaktíváljam az endogén mikrobiális közösség potenciálisan szennyezőanyag-bontó törzseit, valamint javítsam a leoltott törzsek biodegradációs teljesítményét. Az augmentálandó talajokba mindkét *Rhodococcus* törzset – a *R. qingsenghii* KAG C-t és a *R. erythropolis* PR4-et is – egyaránt 2×10^7 CFU g^{-1} sejtmennyiséggel juttattam be, így az alkalmazott inokulum mérete minden egyes leoltott mezokozmoszban összesen 4×10^7 CFU g^{-1} volt. Az összeállított edényeket szobahőmérsékleten (20-25 °C) inkubáltam 60 napig.

A talajmintákkal végzett biodegradációs kísérletek során a minták összes kőolaj eredetű szénhidrogén (TPH)-tartalmát szilárd/folyadék extrakciót követően egy küvettás TPH-mérővel vizsgáltam. A mikrobiális respirációt gázkromatográffal követtem nyomon. A tenyészthető aerob, heterotróf baktériumok (AHB) sejtszámának megállapításához lemezeléses

sejtszámlálást alkalmaztam. A talajok kataláz (CAT) aktivitását titrimetriásan, a dehidrogenáz (DH) aktivitást pedig egy kolorimetriás módszer segítségével határoztam meg.

A 16S rDNS amplikon szekvenálás segítségével átfogóbb képet kaphattam arról, hogy a különböző bioremediációs kezelések milyen hatással voltak a HKO-szennyezett talaj mikrobiális közösségének összetételére. Ehhez első lépésként kivontam a talajminták teljes mikrobiális DNS-mennyiségét a QIAGEN DNeasy® PowerSoil® Kit (QIAGEN, Hilden, Germany) segítségével. Ezután a 16S rRNS gén V3-V4 régióinak felsokszorozásával kapott amplikonok szekvenálása Illumina MiSeq platformon (Illumina, San Diego, USA) történt. A szekvenálásból nyert adatok végül a Qiime 2 (Quantitative Insights into Microbial Ecology 2) rendszerében lettek kiértékelve. Szintén a Qiime 2 segítségével számítottam ki a mikrobiális közösségeken belüli diverzitás értékeket (alfa-diverzitás), valamint így végeztem el a főkoordináta analízist (PCoA) is, hogy a mikrobiális közösségek közötti diverzitásbeli különbségeket (béta diverzitás) szemléltetni tudjam.

A fitotoxikológiai tesztek a 60 napos mezokozmosz léptékű kísérletek kezdetén és végén is elvégeztem, hogy felmérhessem a különféle kezelések hatását a HKO-szennyezett talaj állapotára. A kontroll kísérletként a nem szennyezett talajt használtam, a teszt organizmus pedig minden esetben az indiai mustár (*Brassica juncea* L. Czern. Var. 'Negro Caballo') volt. A Petri-csészékbe mért talajokban csírázó magok csírázási arányából és a csíranövények relatív gyökérhosszából a következő képlet segítségével számítottam ki a csírázási indexeket (IG%): $IG\% = [(csírázási\ \%) \cdot (gyökérhossz\ \%)] / 100$. A *Brassica* csíranövények gyökércsúcsi osztódószövetében (merisztémájában) található sejtek vitalitását, valamint membránintegritását fluoreszcens mikroszkópiával vizsgáltam.

AZ EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

A kutatásaim során talajmikrokozmosz kísérletekben modelleztem egy vasúti területről származó HKO-szennyezett talaj *ex situ* bioremediációs lehetőségeit, majd az így kapott információk alapján léptéknövelt rendszerekben (talajmezokozmoszokban) vizsgáltam a *M. luteus* extracelluláris szervesanyagának környezeti hasznosíthatóságát. A kísérletek során nyomon követtem a TPH-tartalom, valamint a mikrobiális aktivitás, biomassza és közösségösszetétel alakulását a különféle bioremediációs kezeléseknél alávetett talajokban. A talajjavítást követően pedig fitotoxikológiai tesztekkel következtettem a talajminőségben bekövetkezett változásokra.

A kutatómunkám főbb eredményeit a következő pontokban összegzem:

1. A HKO-szennyezett terület közelében mintázott, nem szennyezett kontroll talaj legtöbb tulajdonsága (pl. semleges pH, SOM- és karbonáttartalom) kedvezőnek bizonyult a bioremediáció szempontjából, habár az agyagossága a felvehető vízmennyiséget csökkentheti, míg az enyhe szalinitás egyes sóérzékeny fajokat gátolhat. A HKO-szennyezett kompozit talaj C/N aránya a kenőolajok biodegradációjához megfelelő értékhez közeli, a hozzáférhető P-tartalom azonban rendkívül alacsony volt. A nagy TPH-tartalom ellenére a szennyezett és a kontroll talaj AHB-sejtszámai nagyjából megegyeztek, ezenfelül a talajból visszaextrahált HKO FTIR spektrumán is egyértelműen megjelentek olyan elnyelési sávok, amelyek a szennyezés helyszínén természetesen lejátszódó, mikrobiális olajbontásra utaltak. Mindezek alátámasztották, hogy a talaj mikrobiális aktivitása a megfelelő stimulánsokkal (pl. víz, NPK, EOM) fokozható, így pedig alkalmas a bioremediáció kivitelezésére.
2. A talajmikrokozmosz kísérletek alapján minden kezelés (vízhozzáadás, biostimuláció és bioaugmentáció) serkentette a mikrobiális aktivitást és az olajbontást, ezek mértéke azonban kezelésenként eltérőnek bizonyult. A TPH-biokonverzió a biostimulált és bioaugmentált talajokban volt a leghatékonyabb.
3. A bioaugmentáció során mind a kisebb (10^7 CFU g⁻¹), mind a nagyobb inokulum méret (10^9 - 10^{10} CFU g⁻¹) alkalmazásakor idővel drasztikus csökkenést figyeltem meg a telepképző sejtszámokban, amelyet a leoltott sejtek stresszfaktorokkal (pl. biológiailag könnyen lebontható olajfrakciók megfoghatósága, a toxikus bomlástermékek

feldúsulása, stb.) kiváltott VBNC-állapotba kerülésével vagy elpusztulásával hoztam összefüggésbe. Az alkalmazott inokulum mérete a TPH-biokonverziót is befolyásolta. Az alacsonyabb sejtszámban *R. qingshengii* KAG C baktériumtörzssel leoltott talajokból mért TPH-biokonverzió volt szignifikánsan magasabb a biostimulált talaj értékénél, míg a *R. erythropolis* PR4 törzsből készített, kisebb méretű inokulum már jóval hatékonyabbnak bizonyult mindkettőnél. A nagyobb inokulum alkalmazása ezzel szemben a *R. qingshengii* KAG C biokonverziós hatékonyságát jelentősen javította, míg a *R. erythropolis* PR4 törzs teljesítménye nem változott szignifikánsan a kis méretű inokulum alkalmazásához képest. A fentiek alapján elmondható, hogy a bioaugmentáció sikere egyaránt múlhat az alkalmazni kívánt baktériumtörzsen és annak mennyiségén is, hiszen az inokulum méret növelésével nem minden esetben sikerült hatékonyabb szennyezőanyaglebontást elérnem. Éppen ezért az alacsonyabb sejtszámú bioaugmentáció esetében jóval célravezetőbb és költséghatékonyabb a HKO-szennyezett talaj kezeléséhez.

4. A léptéknövelés nem volt jelentős hatással a HKO-biodegradáció hatékonyságára, így a mikro- és mezokozmosz kísérletek eredményeinek felhasználásával nagy biztonsággal megjósolható egy terepi léptékű kármentesítés sikere.
5. Az általam módosított LMM-ben szaporított *M. luteus* sejtek által termelt Rpf fehérje rendelkezett muralitikus aktivitással, így a költségesebb tápkomponensek lecserélése révén előállított EOM hatékonyan és egyben gazdaságosabban alkalmazható akár (fél)terepi körülmények között is. A HKO-biokonverzió, a mikrobiális aktivitás, valamint a sejtszámok tekintetében is szignifikánsan magasabb értékeket mértem az EOM hozzáadásával összeállított talajmezokozmoszokban, mint az EOM-et nem tartalmazó, megfelelő kontroll rendszerekben. Az EOM-adagolás tehát nem csak az endogén mikrobióta TPH-biodegradációját stimulálta, de hosszabb távon fokozta a korábban Rpf segítségével izolált baktériumtörzsekből (*R. qingshengii* KAG C és *R. erythropolis* PR4) álló inokulum biokonverziós hatékonyságát is.
6. Az EOM-kezelés hatására a HKO-szennyezett talajok mikrobiális közösségén belül megemelkedett az egyedi szénhidrogénbontó nemzetségek előfordulási gyakorisága, mint például a *Pseudomonas*, *Comamonas*, *Stenotrophomonas* és *Gordonia*, amelyek a fokozott aktivitásukkal hozzájárulhattak az EOM hozzáadásával összeállított mezokozmoszok hatékonyabb TPH-lebontásához.
7. A bioremediációt követő fitotoxikológiai kísérleteimmel kimutattam, hogy a TPH-tartalom csökkenésének ellenére az indiai mustár csírázási indexe minden kezelt talajban

csökkent (véltetően a HKO-biodegradáció közti- és melléktermékeinek hatására), a mégis kicsírázó magokból fejlődő növények azonban jóval életképesebbnek mutatkoztak. A látszólag ellentmondásos eredmények alapján egyértelműen megállapítható, hogy a növényekben kiváltott ökotoxikológiai válaszok jóval bonyolultabbak annál, mint hogy azokat pusztán a csírázás vagy a gyökérnövekedés gátlásával jellemezni lehessen. A TPH-tartalom csökkenése ugyanis nem feltétlenül mutat közvetlen összefüggést a talaj toxicitásának mérséklődésével.

A kutatásaim során elért eredményekből kitűnik, hogy az EOM környezetvédelmi alkalmazása kiemelkedő fontossággal bírhat az olyan komplex és a jelenleg rendelkezésre álló módszerekkel csak nehezen (és teljes mértékben nem is) semlegesíthető szennyezőanyagok okozta károkkal szemben, mint amilyenek a HKO-ok.

TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

MTMT azonosító: 10053060

Összesített impakt faktor: IF=45,178

Az értekezés alapját képező közlemények

- **Attila Bodor**, Naila Bounedjoun, Gábor Feigl, Ágnes Duzs, Krisztián Laczi, Árpád Szilágyi, Gábor Rákhely, Katalin Perei (2021) Exploitation of extracellular organic matter from *Micrococcus luteus* to enhance *ex situ* bioremediation of soils polluted with used lubricants.
Journal of Hazardous Materials, 417:125996. **IF: 10,588**
- **Attila Bodor**, Péter Petrovszki, Ágnes Erdeiné Kis, György Erik Vincze, Krisztián Laczi, Naila Bounedjoun, Árpád Szilágyi, Balázs Szalontai, Gábor Feigl, Kornél L. Kovács, Gábor Rákhely, Katalin Perei (2020) Intensification of *ex situ* bioremediation of soils polluted with used lubricant oils: A comparison of biostimulation and bioaugmentation with a special focus on the type and size of the inoculum.
International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(11), 4106. **IF: 3,39**

Az értekezés alapjául nem szolgáló, de hozzá szorosan kapcsolódó közlemények

- **Attila Bodor**, Naila Bounedjoun, György Erik Vincze, Ágnes Erdeiné Kis, Krisztián Laczi, Gábor Bende, Árpád Szilágyi, Tamás Kovács, Katalin Perei, Gábor Rákhely (2020) Challenges of unculturable bacteria: environmental perspectives.
Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 19(1), 1-22. **IF: 8,044**
- Krisztián Laczi, Ágnes Erdeiné Kis, Árpád Szilágyi, Naila Bounedjoun, **Attila Bodor**, György Erik Vincze, Tamás Kovács, Gábor Rákhely, Katalin Perei (2020) New frontiers of anaerobic hydrocarbon biodegradation in the multi-omics era.
Frontiers in Microbiology, 11, 2886. **IF: 5,64**
- **Attila Bodor**, Sándor Mészáros, Péter Petrovszki, György Erik Vincze, Naila Bounedjoun, Krisztián Laczi, Gábor Rákhely, Katalin Perei (2020) Isolation of hydrocarbonoclastic bacteria from oily wastes and their pilot application for water and soil decontamination.
GEOSCIENCES AND ENGINEERING: A PUBLICATION OF THE UNIVERSITY OF MISKOLC, 8(12), 275-285.
- Laczi Krisztián, Kis Ágnes, **Bodor Attila**, Rákhely Gábor, Perei Katalin (2013) „Olajfaló” baktériumokkal a szénhidrogén szennyeződések elleni harcban.
Zöld Újság XI. évfolyam 3. szám (2013)

Az értekezés témáját bemutató konferencia előadások

- **Bodor Attila**, Vincze György Erik, Feigl Gábor, Naila Bounedjoun, Laczi Krisztián, Rákhely Gábor, Perei Katalin (2020) Használt kenőolajjal szennyezett talajok bioremediációjának serkentése a *Micrococcus luteus* extracelluláris szervesanyagának felhasználásával.

A Magyar Mikrobiológiai Társaság 2020. évi Nagygyűlése és a XIV. Fermentációs Kollokvium, október 14-16., Kecskemét, Magyarország

- **Attila Bodor**, György Erik Vincze, Péter Petrovszki, Gábor Feigl, Naila Bounedjoun, Krisztián Laczi, Árpád Szilágyi, Gábor Rákhely, Katalin Perei (2020) Extracellular organic matter from *Micrococcus luteus* enhances the bioconversion of used lubricants in polluted soil.

10th International Conference on Environmental Pollution and Remediation, August 19-21, Prague, Czech Republic (Virtual Conference)

- Naila Bounedjoun, **Attila Bodor**, György Erik Vincze, Krisztián Laczi, Ágnes Erdeiné Kis, Gábor Rákhely, Katalin Perei (2019) Exploitation of extracellular organic matter from *Micrococcus luteus* soil and water decontamination.

II. Sustainable Raw Materials – International Project Week and Scientific Conference, May 6-10, Szeged, Magyarország

- **Bodor Attila**, Petrovszki Péter, Naila Bounedjoun, Erdeiné Kis Ágnes, Laczi Krisztián, Rákhely Gábor, Perei Katalin (2018) Használt vasúti motorolajjal szennyezett talajok biológiai kármentesítése a felszín alatti víztestek védelme érdekében.

I. RING – Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodás Tudományos Konferencia, november 7-9., Pécs, Magyarország

- **Bodor Attila**, Petrovszki Péter, Naila Bounedjoun, Erdeiné Kis Ágnes, Laczi Krisztián, Rákhely Gábor, Perei Katalin (2018) Az alkalmazott inokulum mennyiségének hatása egy használt motorolajjal szennyezett talaj *ex situ* kármentesítésére.

A Magyar Mikrobiológiai Társaság 2018. évi Nagygyűlése és a XIII. Fermentációs Kollokvium, október 17-19., Eger, Magyarország

- Gábor Rákhely, **Attila Bodor**, Botond Hegedűs, Ágnes Kis, Krisztián Laczi, Gergely Maróti, Katalin Perei (2016) How to eat toxic compounds? Metabolic insights into microbial degradation of xenobiotics.

Straub-napok, május 25-26, Szeged, Magyarország

- Kis Ágnes, Laczi Krisztián, **Bodor Attila**, Rákhely Gábor, Perei Katalin (2015) Bioremediációs eljárások alkalmazása hidrofób szennyező anyagok lebontására.

XII. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia, október 7-9., Balatonszárszó, Magyarország

- Laczi Krisztián, Kis Ágnes, **Bodor Attila**, Szilágyi Árpád, Rákhely Gábor, Perei Katalin (2015) Biotechnológiai eljárások környezeti szennyező anyagok eltávolítására.

4. Környezeti Szimpózium, október 8-9., Tata, Magyarország

- Perei Katalin, Kis Ágnes, Laczi Krisztián, **Bodor Attila**, Szilágyi Árpád, Rákhely Gábor, (2015) Környezet-biotechnológiai eljárások fejlesztése.

XII. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia, október 7-9., Balatonszárszó, Magyarország

- **Bodor Attila**, Mészáros Sándor, Kis Ágnes, Laczi Krisztián, Rákhely Gábor, Perei Katalin (2015) Szénhidrogének biodegradációjára alkalmas baktériumtörzsek izolálása és felhasználása bioremediációs eljárásokban.

Innováció a Természettudományban – Doktorandusz konferencia, szeptember 26., Szeged, Magyarország

Az értekezés témáját bemutató konferencia poszterek

- Krisztián Laczi, Jacob Manyiwa Shume, **Attila Bodor**, Naila Bounedjoun, György Erik Vincze, Katalin Perei, Tamás Kovács, Gábor Rákhely (2020) Methanogenesis coupled bioremediation of hydrocarbon contaminated soil and groundwater. 5th International Conference on Environmental Pollution, Treatment and Protection, October 18-20, Lisbon, Portugal (Virtual Conference)
- György Erik Vincze, **Attila Bodor**, Péter Petrovszki, Tibor Sipos, Naila Bounedjoun, Krisztián Laczi, Balázs Szalontai, Katalin Perei, Gábor Rákhely (2019) Quantitative and qualitative analysis of soil contaminant lubricating oils. Straub-napok, május 30-31, Szeged, Magyarország
- Tibor Sipos, **Attila Bodor**, György Erik Vincze, Gábor Feigl, Naila Bounedjoun, Gábor Rákhely, Katalin Perei (2019) Phytotoxicity of remediated soils previously contaminated with ULOs. Straub-napok, május 30-31, Szeged, Magyarország
- **Attila Bodor**, György Erik Vincze, Péter Petrovszki, Naila Bounedjoun, Krisztián Laczi, Balázs Szalontai, Gábor Rákhely, Katalin Perei (2019) Chemical analysis of soil polluting lubricant oils prior to design a soil rehabilitation procedure. 25th International Symposium on Analytical and Environmental Problems, October 7-8, Szeged, Magyarország
- **Attila Bodor**, Tibor Sipos, György Erik Vincze, Péter Petrovszki, Gábor Feigl, Naila Bounedjoun, Krisztián Laczi, Árpád Szilágyi, Gábor Rákhely, Katalin Perei (2018) Alterations in soil fertility after used lubricating oil bioremediation. 24th International Symposium on Analytical and Environmental Problems, October 8-9, Szeged, Magyarország
- Naila Bounedjoun, **Attila Bodor**, Krisztián Laczi, Ágnes Erdeiné Kis, Gábor Rákhely, Katalin Perei (2018) Assessment of potentially functional hydrocarbon-degrader bacterial communities in response to *Micrococcus luteus* extracellular organic matter using culture-dependent and culture-independent methods. 18th European Congress on Biotechnology, July 1-4, Geneva, Switzerland
- **Attila Bodor**, Péter Petrovszki, Naila Bounedjoun, Ágnes Erdeiné Kis, Krisztián Laczi, Gábor Rákhely, Katalin Perei (2018) Rehabilitation of a railway station area polluted with used lubricating oils (ULOs): a case study. 7th European Bioremediation Conference, June 25-28, Chania, Crete, Greece

- **Attila Bodor**, Péter Petrovszki, Naila Bounedjoum, Ágnes Erdeiné Kis, Krisztián Laczi, Gábor Rákhely, Katalin Perei (2017) An approach for complete environmental rehabilitation of a hungarian railway station area polluted with used lubricating oils (ULO): a case study.
5th Central European Forum for Microbiology, October 18-20, Keszthely, Magyarország