



SZENT ISTVÁN EGYETEM  
KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

# **Tápelemek és toxikus elemek kationjainak megkötődése talajon**

Doktori értekezés tézisei

RÉTHÁTI GABRIELLA  
Gödöllő  
2018

**A doktori iskola**

**megnevezése:** Szent István Egyetem Környezettudományi Doktori Iskola

**tudományága:** Környezettudomány

**vezetője:** Csákiné Dr. Michéli Erika

egyetemi tanár

SZIE, Mezőgazdaság-, és Környezettudományi Kar,

Környezettudományi Intézet

**Témavezető:** Dr. Füleky György †

professzor emeritus

SZIE, Mezőgazdaság-, és Környezettudományi Kar,

Környezettudományi Intézet

---

Az iskolavezető jóváhagyása

---

A témavezető jóváhagyása

## **Tartalomjegyzék**

A munka előzményei, a kitűzött célok .....	4
Anyag és Módszer .....	5
Eredmények és értékelésük .....	7
Új tudományos eredmények .....	17
Következtetések, javaslatok.....	18
Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk .....	19
Felhasznált irodalom .....	24

## A munka előzményei, a kitűzött célok

A talajok szerepe az elemek vegyületek visszatartásban, nagy jelentőséggel bír, mind a potenciálisan toxikus (esszenciális mikroelemek) tápelemek mind a toxikus elemek szemszögéből, hiszen szabályozzák azok mobilitását felvehetőségét a talajban. Ez a talaj egyik legfontosabb ökoszisztéma szolgáltatása (Alloway, 2013).

Az esszenciális mikroelem kationok (pl. Cu, Zn) és toxikus elemek (pl. Cd, Pb) szorpciós viselkedése a talajban igen eltérő, sokat vizsgált jelenség. Élettani szempontból igen különbözőek, így talaj béli viselkedésük ismerete elengedhetetlen. A fenti elemek mobilitásának megismerésére irányuló vizsgálatok valós környezeti körülmények között pénzügyi illetve környezetvédelmi szempontból etikai kérdéseket vethet fel így eddigi ismereteink ezzel kapcsolatban leginkább környezeti szennyezések/katasztrófák illetve laboratóriumi kísérletek tapasztalatain alapulnak.

A fent említett kationok talajban történő megkötődése jelentősen befolyásolható a talaj szerves anyag tartalmával. A talaj szerves anyag tartalmának visszapótlására, kondíciójának javítására alkalmazott bioszenek (pirolizált magas szervesanyag tartalmú biomassza) napjainkban a kutatás középpontjába kerültek. Hosszú távú kísérleti adatok (~100év) életidejüket, hatékonyságukat illetően még nem állnak a tudomány szolgálataiban, így az ide vonatkozó tudományos kutatások történelmileg dokumentált erdőtüzek helyszínének vizsgálataiból származnak.

Az elemek terjedését leíró leggyakrabban használatos modellek a valós környezeti körülményektől igen távol álló peremfeltételekre építenek, így létjogosultságuk a tudományos irodalomban sokszor vitatott. Felvetődik azonban a kérdés, hogy ragaszkodunk –e a peremfeltételek teljesüléséhez, vagy terjedésük modellezésekor megelégszünk azokkal a sokszor empirikus modellekkel, amelyekről évtizedek óta számos tudományos vizsgálódás során bebizonyosodott, hogy megfelelő, valóságához közeli képet adnak adott anyag szorpciós viselkedésével kapcsolatban, egy olyan bonyolult, többfázisú rendszerben - mint például a talaj.

*Vizsgálódásaim során célul tűztem ki, hogy*

- minél több esetben megvizsgáljam elsősorban esszenciális mikroelemek (*Cu Zn Co*) illetve toxikus elemek (*Cd, Pb*) kationjainak szorpciós viselkedését különböző talajokban, továbbá összefüggéseket találjak a talaj tulajdonságaira (*pH, előzetes terhelés*) jelentős hatással bíró adalékanyagok (*biodízel melléktermék glicerin, faszén, csontszén*) jelenléte és a tapasztalható szorpciós tulajdonságok megváltozása között.
- Vizsgálni kívánom a tudományos irodalomban leggyakrabban használt modellek/izotermák (megoszlási hányados, Freundlich izoterma, Langmuir izoterma, Sips izoterma) illeszkedését, alkalmazhatóságát a fenti szorpciós folyamatok esetében.

## Anyag és Módszer

Vizsgálataimhoz modelltalajként minden esetben  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} < 7$  talajokat alkalmaztam, melyeknek nem volt kimutatható  $\text{CaCO}_3$  tartalma. A következőkben felsorolt, különböző területekről származó *barna erdőtalajok* 0-20 cm-es rétegeit használtam:

**Trizs:** Erdő vegetáció alatt különböző időpontokban (80, 35 és 25 éve) felhagyott faszénégető boksák feltalaja. A terület a rendelkezésre álló adatok alapján bolygatatlan a faszénégetés felhagyása óta. (továbbiakban kontrol, 80-, 35-és 25 éves talaj-faszén rendszer/tfr.)

**Gödöllő-Szárítópuszta:** Az egyetem tangazdaságának területéről. Akácös vegetáció alól.

**Putnok:** A gyűjtés földrajzi koordinátáiról nincsenek adatok.

A talajok fizikai és kémiai paramétereit meghatároztam

A talajmintákhoz adagolt adalékanyagok a talajinkubáció során:

**biodízel gyártás melléktermékeként képződött glicerin:** Az anyag technológia háttéréről nincsenek adatok. A melléktermék glicerin lényegi összetétele ismert (83% glicerin,  $\text{pH} \sim 10$ ).

**szilárd pirolízis végtermékeket** - faszén és csontszén mely az EU FP7 REFERTIL 289785 projekt keretén belül került előállításra. Lényegi összetétele ismert.

A **talajinkubációs** során különböző anyagokkal ismert koncentrációban adalékolt (  $\text{HCl}$  és  $\text{Zn}^{2+}$   $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$  formájában; frissen pirolizált szerves anyag: faszén és csontszén; glicerin melléktermék), laboratóriumi vizsgálatra előkészített (2mm) modelltalajokat alkalmaztam. A keverékeket a szabadföldi vízkapacitás értékre beállított nedvességtartalomnál,  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  hőmérsékleten érleltem. Az inkubációs idő eltelte után a talajokat szárítottam, szitáltam (2 mm). Az egyes kísérletekben beállított kezelések a *1. táblázatban* láthatók.

**1. táblázat:** Az inkubációval beállított kezelések

<b>pH változás és előzetes terhelés hatása a talaj cinkmegkötő képességére</b>										
<i>Talaj:</i> Putnok; <i>Adalékanyag:</i> HCl (pH); $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ (0;500; 2500 mgZn/kg); <i>Inkubációs idő:</i> 2 hét										
pH4/0Zn	pH4/500Zn	pH4/2500Zn	pH5/0Zn	pH5/500Zn	pH5/2500Zn	pH6/0Zn	pH6/500Zn	pH6/2500Zn		
<b>Fa- és csontszén rövid távú hatása a talaj Cu és Zn megkötő képességére</b>										
<i>Talaj:</i> Gödöllő-Szárítópuszta; <i>Adalékanyag:</i> fa- és csontszén (1; 2,5; 5; 10%); <i>Inkubációs idő:</i> 4 hét										
kontrol	faszén	F1%	F2,5%	F5%	F10%	csontszén	Cs1%	Cs2,5%	Cs5%	Cs10%
<b>Glicerin melléktermék hatása a talaj Zn megkötő képességére</b>										
<i>Talaj:</i> Gödöllő-Szárítópuszta; <i>Adalékanyag:</i> glicerin melléktermék (1%); glicerin vegyszer a.r.(1%); $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ (500mgZn/kg); <i>Inkubációs idő:</i> 4 hét; 8 hét*										
kontrol	gly	glyZn4	gly4Zn4*	Zn4	gly <sub>vsz</sub>					

Az **adszorpciós kísérleteket** minden esetben batch technikával hajtottam végre (2 g talaj : 20 ml rázóoldat, 24 óra rázatás). A kiindulási oldatok (rázóoldatok) készítéséhez minden esetben az adott kation ( $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ) nitráttal alkotott sóját használtam 0-1000  $\text{mg}/\text{dm}^3$  koncentráció tartományban.

A megkötött mennyiséget ( $q$ ) a rázóoldat ( $c_r$ ) és az egyensúlyi oldat ( $c_e$ ) koncentrációjának ismeretében, állandó adszorbens tömeg – oldat arányt ( $1\text{g}:10\text{cm}^3$ ) alkalmazva, a következő összefüggés alapján számoltam ki:

$$q = \frac{V}{m} (c_r - c_e)$$

Az egyensúlyi oldatok koncentrációját Perkin Elmer 303 AA típusú atomabszorpciós spektrofotométerrel illetve Shimadzu ICPE-9000 típusú ICP-OES műszerrel határoztam meg. A kísérleti pontokra Freundlich-, Langmuir- és Sips- izotermát illesztettem.

A szorpciós kísérletek során az oldat kémhatásában illetve savanyúságában előálló változásokat potenciometriкусan, illetve az egyensúlyi oldatok NaOH-oldattal történő titrálásával követtem.

**Deszorpciós** folyamatokat vizsgáló **kísérleteim**hez az adszorpciós kísérletnél kapott szilárd fázist használtam. A szilárd fázist 20 cm<sup>3</sup> háttéroldattal (0,01M NaNO<sub>3</sub>) 24 órán keresztül 22±1°C hőmérsékleten rázattam, majd centrifugálás és szűrés után az oldatfázisból mértem a vizsgált kation koncentrációját. Ezt a deszorpciós lépést max. 6 alkalommal ismételtam egy minta esetén. A deszorpciós kísérletnél kapott eredményekre Langmuir-izoterma függvényét illesztettem.

Az **forróvízes extrakció** során a minták 30 grammnyi mennyiségéből **HWP** módszerrel (Füleky és Czinkota, 1993) 10 x 100 cm<sup>3</sup> frakciót gyűjtöttem. A frakciók kation koncentrációját Perkin Elmer 303 AA típusú atomabszorpciós spektrofotométerrel határoztam meg. A forróvízes extrakció során mértem az eltelt időt. A kísérleti pontokra elsőrendű kinetikai görbét illeszteni.

$$y = A_d(1 - e^{-k_d t})$$

*y = deszorbeálódott Zn mennyiség (mg/kg)*  
*A<sub>d</sub> = maximálisan extrahálható Zn mennyisége (mg/kg)*  
*k<sub>d</sub> = sebességi állandó (1/s)*  
*t = idő (s)*

Az extrakció leírására elsőrendű kinetikai egyenletet módosított formáját is alkalmaztam, melyben az idő tényezőt az ismert állandó átfolyási sebességgel szorozva az extraktum térfogatát használtam, mint kinetikai paramétert ( $h = v \cdot t$ ) (Czinkota, 1994). Ebben az esetben az egyenlet a következő formában írható fel:

$$y = A_d(1 - e^{-k_d h})$$

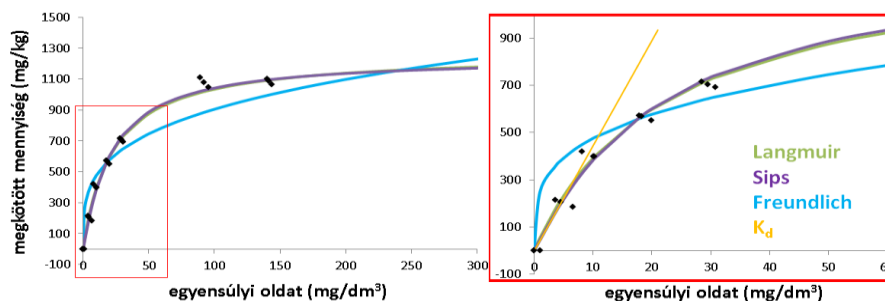
*y = deszorbeálódott Zn mennyiség (mg/kg)*  
*A<sub>d</sub> = maximálisan deszorbeálódó Zn mennyisége (mg/kg)*  
*k<sub>d</sub> = kinetikai állandó (1/cm<sup>3</sup>)*  
*h = az átfolyt folyadék mennyisége (cm<sup>3</sup>)*

Talajvizsgálatokat illetve a kísérleteket minden esetben minimum 3 ismétlésben állítottam be. Az izoterma illetve a kinetikai görbék illesztését a legkisebb négyzetek módszerével végeztem. Következtetéseimet illesztés és az izoterma paramétereinek **statisztikai értékelése** után (a mért és a modell által számolt értékek reziduumaik vizsgálata, LSD<sub>5%</sub> illetve Tukey-féle páros teszt), illetve a függvények illesztésekor előálló konfidencia intervallumok figyelembevételével, a megfelelő szignifikancia szinten (p<0,05) vontam le.

Lineáris összefüggés esetén Pearson-féle korrelációs vizsgálatot végeztem, melynek során t-próba alkalmazásával p<0,05 szinten bizonyítható, hogy a korrelációs együttható (R) értéke elég messze van-e a 0-tól.

## Eredmények és értékelésük

A leggyakrabban alkalmazott modellek talajon történő megkötődés leírására a megoszlási hányados ( $K_d$ ), a Freundlich- és a Langmuir- izoterma (1. ábra). Mindhárom modell jól alkalmazható, azonban következtetések levonásakor figyelemmel kell lenni a modell mögött álló fizikai és kémiai folyamatokra.



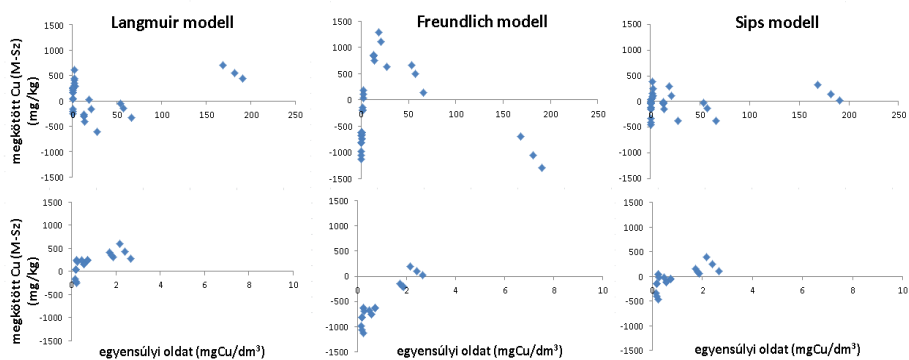
1. ábra A Henry ( $K_d$ ), Freundlich-, Langmuir- és a Sips- izoterma illeszkedése a kísérleti pontokra kis és nagy egyensúlyi koncentrációknál barna erdőtalaj esetében. (Zn megkötődés kontrol - Trizs)

A megoszlási hányados ( $K_d$ ) értékek irányadóak lehetnek a talaj vagy adszorbens adszorptívumra vonatkozó affinitásával kapcsolatban. Kompetitív adszorpció esetén megkönnyíti a megkötődési sorrend felállítását a szorpciós folyamat egy adott pontján, elkerülve az illesztésből adódó esetleges hibákat. A talaj-faszén rendszerek 5 elemes kompetitív szorpciójával kapcsolatban a következő sorrend állítható fel a megoszlási hányadosok alapján:  $Pb \gg Cu \gg Cd \geq Zn \geq Co$ .

A megoszlási hányados értékek lehetőséget adnak korreláció vizsgálatra, melynek segítségével összefüggés mutatható ki egy talaj adott elemre vonatkozó szorpciós képessége és valamely tulajdonsága között. Szoros összefüggést ( $R^2 > 0,88$ ) sikerült kimutatni a szorpciós kísérlet során az egyensúlyi rendszerben előálló pH és a megoszlási hányados logaritmusai között. Ezen összefüggések alkalmazhatóságát azonban fenntartással kell kezelni, mert a logaritmus transzformáció jelentős torzítást idéz elő a mért értékekben, ezáltal alkalmazása téves következtetések levonásához vezethet. Nem ad kellő információt a talaj - adott adszorptívumra vonatkozó - telített vagy telítetlenségével kapcsolatban. Ahhoz, hogy ezzel kapcsolatban következtetést tudjunk levonni, egy adszorpciós sor felvételére van szükség, ha pedig erre lehetőségünk nyílik, az **adszorpciós izotermák** alkalmazásával pontosabb és hasznosabb következtetések levonására nyílik lehetőségünk.

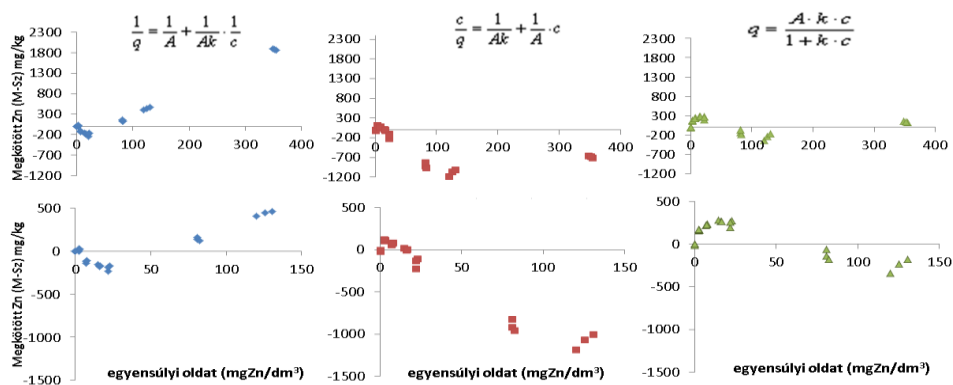
Az izoterma modellek illeszkedését illetően informatív érték az  $R^2$ , ami a függvény egészét jellemzi, nem mutat rá a függvény sajátosságaira a kiterjedt koncentráció tartomány egyes szakaszain. A talajok retenciós tulajdonságait viszont kellően széles, a természetes rendszereket meghaladó tartományban is ajánlott vizsgálni.

Az alkalmazott modellek reziduum vizsgálata alapján (2. ábra) megállapítható, hogy az általam alkalmazott adszorptívumok esetében, a szorpciós vizsgálat teljes koncentrációtartományában, a Freundlich- izoterma nem mutatott jobb illeszkedést, mint a Langmuir- izoterma. Minden esetben a telítési görbe középső szakaszán volt tapasztalható a legkisebb különbség a mért és a modell által számolt értékek között, azonban míg kis koncentráció tartományokban a Freundlich- izoterma fölbecsüli, addig a Langmuir- izoterma alábecsüli az adszorptívum kapacitását. Az iménti megállapítás nagy valószínűséggel akkor is fennáll, ha nem hagyjuk figyelmen kívül a Gauss féle hibaterjedést, mely a megkötött mennyiség számításánál áll elő.



2. ábra: 25 éves talaj-faszén rendszer esetében tapasztalt különbségek a mért (M) és a modell által számolt (Sz) megkötött Cu mennyiségek (mg/kg) között, az egyensúlyi Cu koncentráció (mg/dm<sup>3</sup>) függvényében.

Kísérleti adataimra legjobb illeszkedést a Sips- (Langmuir-Freundlich-) izoterma mutatta. Kis koncentráció tartományban a Freundlich- izotermához áll közelebb, lefutásában a kötőhelyek közötti heterogenitás jobban érzékelhető. Azonban a nagyobb energiájú kötőhelyek telítődése után, a kötőhelyek energetikailag közelebb állnak egymáshoz, így a függvény a Langmuir- izotermához hasonlóan elér egy telítési értéket, ami jó közelítéssel megegyezik a kísérlet során maximálisan megkötött mennyiséggel ( $q_{max}$ ). Kevés kivételtől eltekintve a Sips-izoterma mutatta a legjobb  $R^2$  értékeket, illetve a legkisebb reziduum értékeket a szorpciós folyamat kiterjedt koncentráció tartományában. A Sips- modell jobb illeszkedéséből következik, hogy a szorpciós folyamat során alkalmazásával jobban becsülhető az adszorbens pufferkapacitása, ami egy jól illeszkedő modell informatív paramétere. Megjegyzendő azonban, hogy az egy paraméterrel kevesebbet tartalmazó – egyszerűbben kezelhető – Langmuir-izoterma, illeszkedését illetően kevésbé marad el a Sips izotermától, így alkalmazása kellő körültekintéssel, hasznos alapot szolgál a különböző adszorbensek szorpciós viselkedésének összehasonlításához.



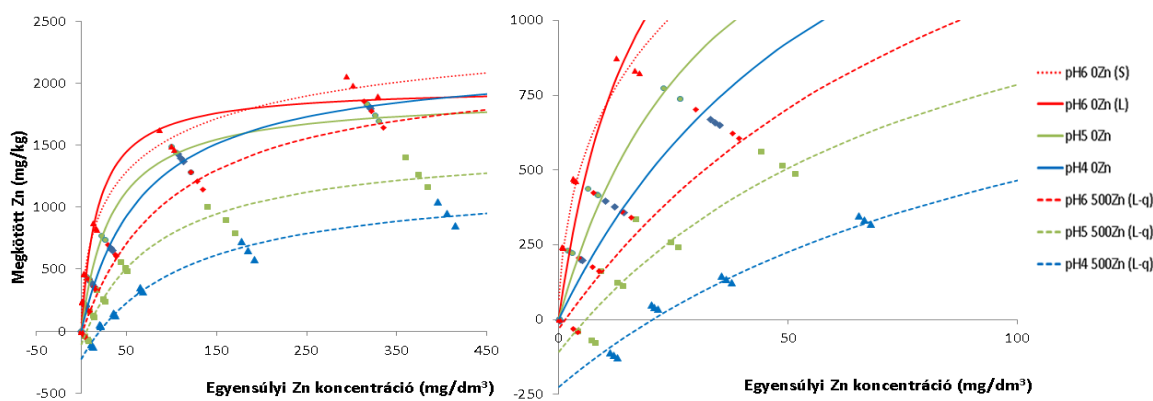
3. ábra: A 35 éves talaj-faszén rendszer esetén tapasztalt reziduumok (a mért „M” és a linearizált illetve nem linearizált Langmuir-modellek által számolt „Sz” megkötött Zn mennyiségek közötti különbségek) az egyensúlyi Zn koncentrációjának függvényében.

A tudományos irodalom által előszeretettel alkalmazott **linearizált Langmuir izoterma** különböző alakjainak vizsgálata alapján (3. ábra) megállapítható, hogy a nem linearizált forma torzítása rendszerint kisebb. A lineáris illesztésből nyert függvény paraméterei esetenként jelentősen fölbecsülik az adszorbens szorpciós kapacitását, továbbá egymástól is különböznek. A jelenség annál kifejezettebb, minél nagyobb szorpciós kapacitással állunk szemben (pl. magas szervesanyag tartalmú talajok). Ez valós környezeti probléma esetén nagy kockázatot jelent.



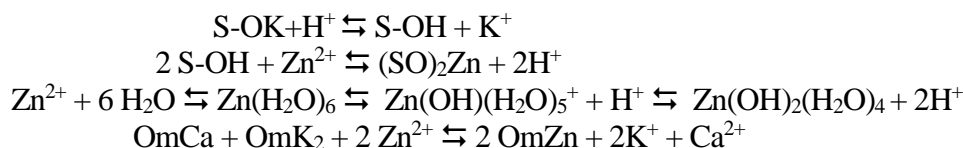
A talajok szorpciós tulajdonsága számos külső körülmény által befolyásolt. A **pH** mesterséges befolyásolása (pH6→pH5 illetve pH6→pH4) és **előzetes** (500 illetve 2500 mg/kg Zn) **terhelés hatásait** tanulmányozva (4. ábra) megállapítható, hogy egy modell barna erdőtalajon:

- a talaj kémhatásában előidézett változás illetve a talaj előzetes terhelése hatással van annak további szorpciós sajátságaira,
- a folyamat a vizsgált koncentrációtartományban Langmuir- és Sips- izoterma segítségével jól leírható ( $R^2 > 0,9342$ ).
- Az illesztett izotermák paraméterei alapján megállapítható, hogy a vizsgált barna erdőtalaj (Putnok-Magyarország) Zn megkötő képességét nem befolyásolta jelentősen a pH mesterséges csökkentése pH6-ról pH4 értékre, jelezvén, hogy a talaj ilyen mértékű savanyodást képes hatékonyan pufferelni.
- A talaj pH-jának csökkenése csak a talaj pufferkapacitásában nyilvánul meg, csökkentette azt.
- Az előzetes Zn terhelés hatása a talaj szorpciós képességére kifejezettebb, mint a pH változtatás hatása. Ha a talaj pH-ját direkt nem módosítjuk nem tapasztalható jelentős csökkenés a szorpciós kapacitást illetően, és előzetes mérsékelt terhelésen túl (500 mg/kg) ugyan annyi Zn-et képes megkötni, mint a terheletlen kontrol. Ez feltételezhetően annak köszönhető, hogy az érlelési idő alatt a Zn bediffundál a talajszemcsék/asszociátumok belső pórusaiba, lehetőséget adva további kationok megkötésére. A talaj adszorpciós kapacitását (~2000 mg/kg) meghaladó terhelést (2500 mg/kg) a talaj már nem képes a fenti módon pufferelni, további Zn megkötés az érlelési idő elteltével nem tapasztalható, a Zn deszorpciója kerül előtérbe.
- A talajról forró vízzel extrahálható cink mennyisége jelentős lehet, elérheti akár a megkötött mennyiség 50%-át is. Abban az esetben, ha a terhelés nagyobb, mint a talaj maximális megkötő képessége, az adszorpciós maximum feletti rész igen könnyen mobilizálódik.

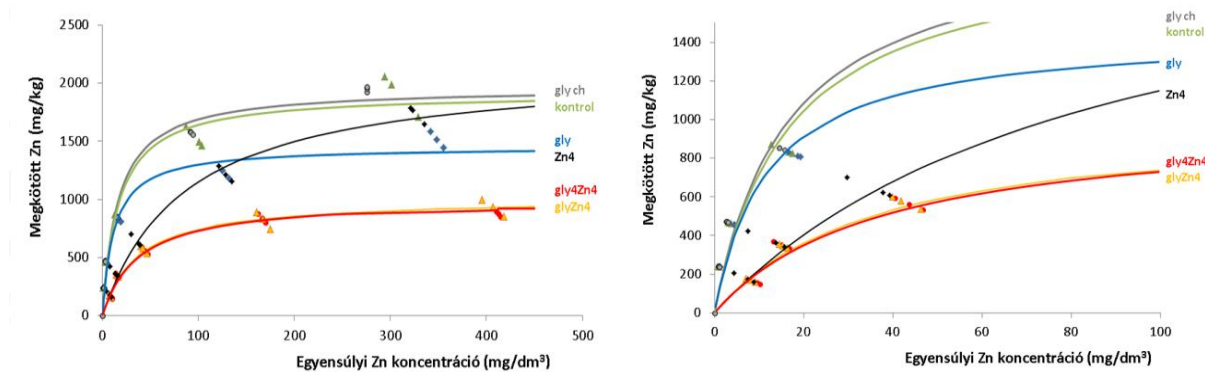


4. ábra pH és előzetes terhelés hatása a talaj Zn megkötő képességére

A vizsgálat körülményei között feltételezhetően a következő folyamatok játszódhatnak le a talaj szeretlen (S) illetve szerves makromolekula (Om) szorpció szempontjából aktív felületén:



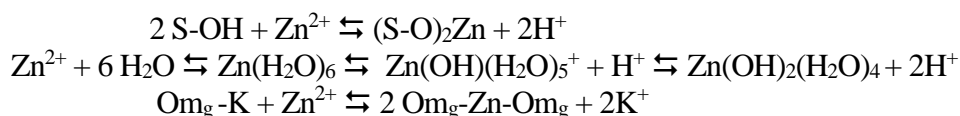
A **glicerín** a biodízel gyártás során képződő értékes makro- és mikroelemeket tartalmazó **melléktermék**, ami miatt alkalmas lehet talajerő visszapótlásra. Vízmegkötő képessége miatt előnyösen befolyásolja a talaj vízáteresztő és vízvisszatartó képességét (Czinkota, 2007). Könnyen mozgósítható szénforrás a talaj mikrobiális élőlényei számára, így talajba juttatva hosszú távon növelheti a szervesanyag tartalmat. Talajhoz adagolva (1%, 4/8 hetes érlelés) lúgos kémhatása (pH~10) és makro mikroelemtartalma miatt befolyásolja annak szorpciós tulajdonságait (5. ábra).



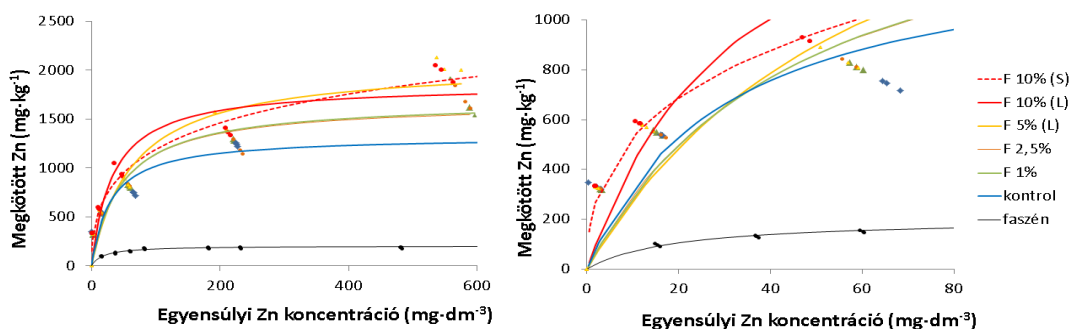
**5. ábra** Glicerín melléktermék hatása egy barna erdőtalaj (Gödöllő-Szárítópuszta) Zn megkötő képességére Langmuir- (L) izoterma modellt alkalmazva

- A glicerín melléktermék kismértékben csökkentette a talaj cink megkötő képességét. A talaj cinkre vonatkoztatott affinitásában tapasztalható kismértékű csökkenés magyarázható a melléktermék jelentős kation tartalmával. A melléktermék kation tartalma kompetícióban van a megkötődés során a cinkkel, illetve a Zn ionok és a melléktermékben jelenlévő anionok között kialakult komplexek, leányékolva a Zn pozitív töltését, csökkenti annak megkötődését.
- Az előzetes Zn terhelés hatása a talaj Zn megkötő képességre sokkal kifejezettebb volt, mint a melléktermék glicerín hatása.
- A glicerín melléktermék hatással volt a talaj vízáteresztő képességére, csökkentette azt.
- Az előzetesen Zn-el terhelt minták forró vízzel extrahálható Zn mennyiségét nem befolyásolta jelentősen a glicerín melléktermékkel történő érlelés, továbbá kijelenthetjük, hogy a forró vízzel extrahálható Zn mennyiség (<40 mg/kg) töredéke volt az előzetes terhelésnek (500 mg/kg).
- A melléktermék glicerín lúgos kémhatása nem okoz jelentős változást a talaj pH-jában 1%-os bekeverési aránynál, pozitív hatással volt azonban a talaj pH pufferoló képességére. Ezek alapján megállapítható, hogy kedvezően hathat savanyú talajokra.
- További vizsgálatok eredményeitől függően (pl. szántóföldi), kis mennyiségben alkalmazva (maximum 1%), jó talajjavító anyagnak bizonyulhat jelentős makro és mikroelem, továbbá szervesanyag tartalmának köszönhetően.

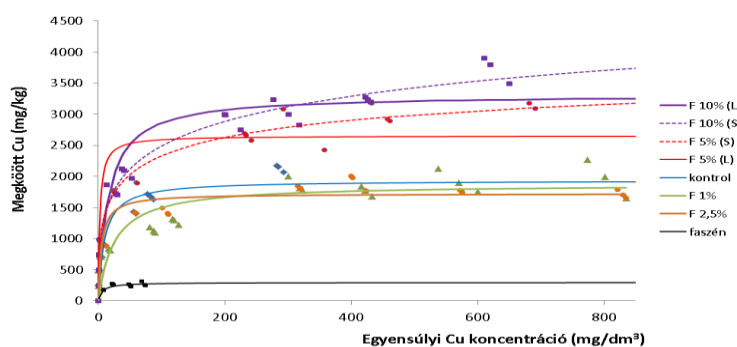
A jelentős kation ( $K_g^+$ ,  $Ca_g^{2+}$ ,  $Na_g^+$ ,  $Mg_g^{2+}$ ) és szerves makromolekula ( $Om_g^-$ ) tartalmú glicerín melléktermékkel érlelt talajminta (S-OH) cink szorpciós kísérlete során tapasztalt jelenségek háttérében a következő folyamatok állhatnak:



Frissen előállított, 1; 2,5; 5; 10% -ban talajhoz kevert (4 hét inkubálás) **faszén** (6 és 7. ábra) és **csontszén** (8. és 9. ábra) talaj Zn és Cu szorpciós tulajdonságaira gyakorolt **hatásainak** vizsgálatakor a következő eredményekre jutottam:



6. ábra Faszén hatása a talaj (Gödöllő-Szárítópuszta) Zn megkötésére Langmuir- (L) és Sips- (S) izoterma modell alkalmazva

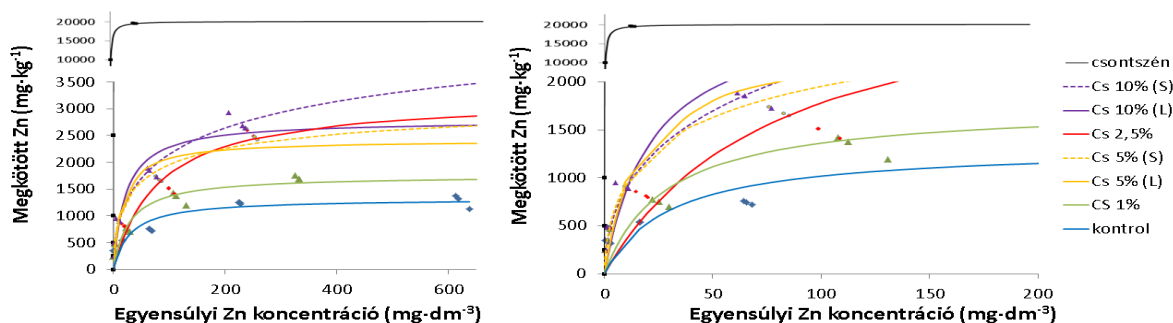
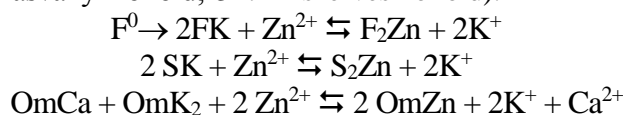


7. ábra Faszén hatása a talaj (Gödöllő-Szárítópuszta) Cu megkötésére Langmuir- (L) és Sips- (S) izoterma modell alkalmazva

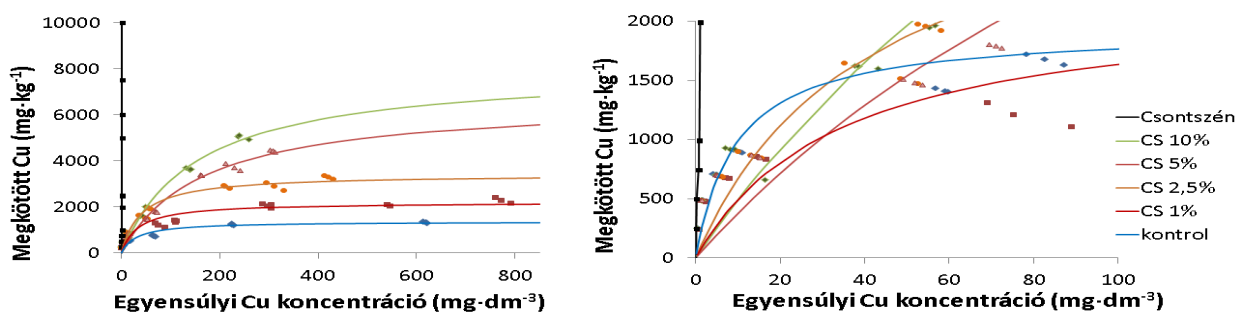
- A jelenség leírására alkalmazott izotermamodellek (Freundlich, Langmuir, Sips) együttesen tették lehetővé a jelenség értelmezését.
- Minden esetben több Cu kötődött meg a mintákon, mint Zn. A réz az egyik legjobban kötődő „nehézfém” a talajban (Chen et al. 1992, Stevenson, 1982), stabil komplexeket képez a talaj szerves/humusz anyagaival (Schnitzer 1969, Harter 1979) továbbá ásványi összetevőivel is (vermikulit) (Covelo et al. 2007).
- A faszén 1%-ban és 2,5% -ban történő alkalmazása – talajjal történő érlelés hatására - nem vagy csak kismértékben növelte a talaj Cu és Zn visszatartását, az 5% és 10% -os kezelések azonban szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) megnövelte azt. Zn megkötődésnél nem volt kimutatható különbség az 5 és 10% dózis hatásai között, míg Cu esetében ez is bizonyítható volt.

A fentiek magyarázatát a frissen előállított és a talajban átalakult faszén kémiai szerkezetében kereshetjük. A faszén kémiai szerkezetét illetően a pirolízis körülményeinek az alkalmazott nyersanyagoknak jelentős befolyás tulajdonítható. A frissen előállított faszén fajlagos felülete igen számottevő, azonban a kationmegkötő képesség esetén nagyobb jelentősége van a specifikus kötőhelyek mennyiségének, mint a felület nagyságának (Leyva-Ramos et al, 2002). Erre jó példa az aktív szén esete, melyeket a pirolizált, „elszenesedett” szerves anyag aktiválásával, felületének oxidálásával állítanak elő (Ioannidou és Zabaniotou, 2007; Xiao és Thomas, 2004). Talajban ezt a felületi oxidációt a mikrobák végzik, melynek eredményeként növekszik a specifikus kötőhelyek száma, így a szén adszorpciós kapacitása (Lehman 2009, Ladigina 2013).

A faszénnel ( $F^0/F^*$ ) adalékolt talajok kation megkötése mögött a következő feltételezett ioncsere folyamatok állhatnak ( $S^-$  - ásványi kolloid;  $Om^{2-}$  - szerves kolloid):



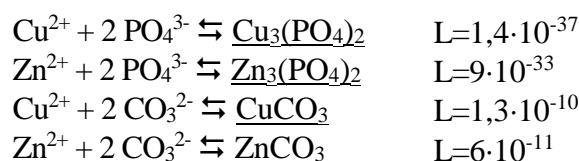
8. ábra: Csontszén hatása a talaj (Gödöllő-Szárítópuszta) Zn megkötésére Langmuir- (L) és Sips- (S) izoterma modellt alkalmazva



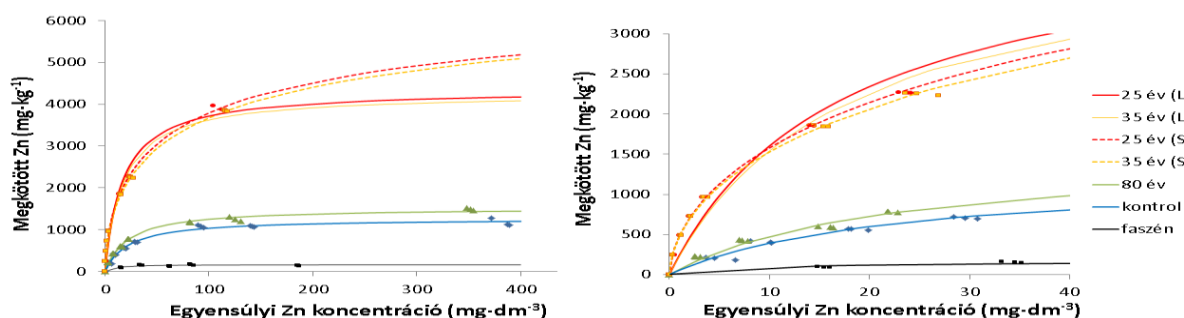
9. ábra Csontszén hatása a talaj (Gödöllő-Szárítópuszta) Cu megkötésére Langmuir- (L) izoterma modellt alkalmazva

- A csontszén által megkötött Cu és Zn mennyiségek ( $>10\ 000\ \text{mg/kg}$ ) nagyságrendekkel nagyobbak a faszén által megkötött mennyiségeknél ( $200\text{-}300\ \text{mg/kg}$ ). A kialakult kötés a csontszén esetében - annak magas foszfát és karbonát tartalmának köszönhetően - nagy valószínűséggel belső szférás, specifikus kötés. Erre figyelemmel kell lenni, ha tápelemekről van szó (pl. esszenciális mikroelemek), mivel ezek a kationok nehezebben kerülnek oldatba, mintha kicserélhető formában csupán elektrosztatikus erőkkel kötődnének.
- A 2,5% csontszén tartalmú talaj kétszer több cinket és rézet köt meg, mint a kontrol savanyú barna erdőtalaj. 10%-os bekeverési aránynál a Zn megkötés nem változik jelentősen, a Cu megkötés háromszorosa a kontrol talajénak.
- Feltűnő jelenség, hogy a csontszén tartalmú talajminták (még Cs10% minta is) adszorpciós izotermáinak meredeksége és telítési értéke jelentősen elmarad a tiszta csontszénhez képest. Ennek oka, hogy a talajban eredetileg jelen lévő kationok telítik a csontszén kation megkötésre képes felületét.

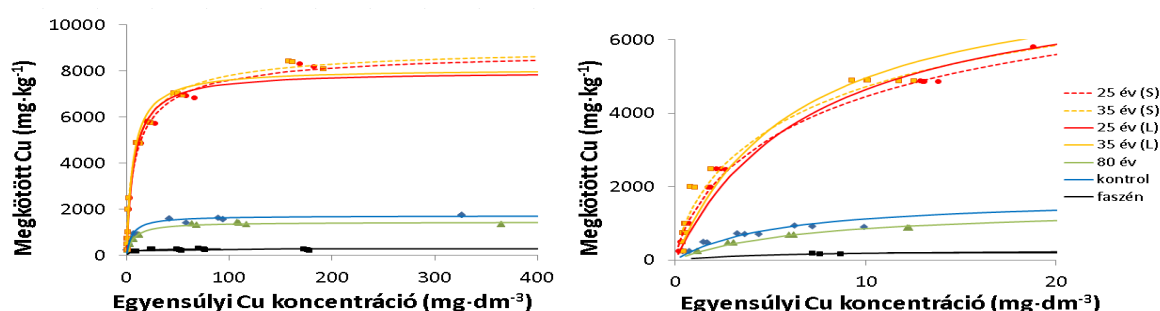
A csontszénnel adalékolt talajok kationmegkötése mögött az ioncsere folyamatok mellett a csontszénben jelenlévő foszfátok, karbonátok miatt a következő feltételezett csapadékképződési folyamatok állhatnak:



A valaha volt (25/35/80 évvel ezelőtt) faszénégetés, igazoltan bolygatatlan helyszínéről (Trizs) származó **talaj-faszén rendszerek** Zn (10. ábra) és Cu (11. ábra) szorpciós viselkedésével kapcsolatos eredményeim a következők:



10. ábra Faszén hosszú távú hatása egy barna erdőtalaj (Trizs) Zn megkötő képességére Langmuir- (L) és Sips- (S) izoterma modellt alkalmazva



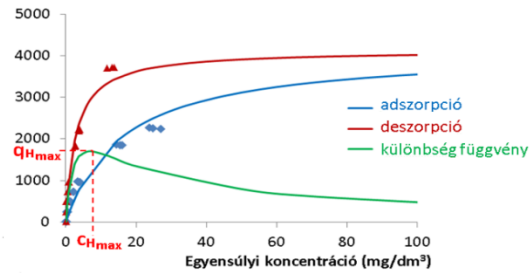
11. ábra Faszén hosszú távú hatása egy barna erdőtalaj (Trizs) Cu megkötő képességére Langmuir- (L) és Sips- (S) izoterma modellt alkalmazva

- A faszén hosszú távú jelenléte a talajban (25 év, 35 év) jelentősen megnövelte annak Cu (négyeszeres) és Zn (háromszorosára) megkötő képességét.
- Az alkalmazott szorpciós modellek paraméterei ( $A_L$ ,  $A_S$  és  $k_F$ ) alapján megállapítható, hogy a talajokon több Cu kötődött meg, mint Zn, továbbá a Zn és Cu megkötődés közötti különbség annál nagyobb, minél nagyobb a talaj eloxidálható szervesanyag tartalma (Karathanasis, 1999; Arias et al. 2006, Covelo et al., 2007, Sipos et al., 2008).
- 80 év elteltével a talaj szerves anyag tartalmában, Cu és Zn szorpciós kapacitásában már nem mutatkozik jelentős különbség a kontrollhoz képest. Szignifikánsan kevesebb azonban a deszorbeálódó kation (elsősorban Cu) mennyisége. A jelenség valószínűleg a fejlettebb szerves anyagnak köszönhető (kisebb E4/E6 érték, magasabb HI és OI). A 80 éves tfr. –ben lévő szerves anyag feltehetően fejlettebb struktúrájának köszönhetően komplexek, kelátkötések kialakulása révén erősebb kötést biztosít a Cu számára, mint a kisebb molekulaméretű, kevésbé kiterjedt struktúrával rendelkező szerves molekulák a kontrol talajban.
- A különböző korú tfr.-ek adszorpciós kapacitásai és kora közötti korreláció szoros összefüggést tükröz ( $R^2 > 0,9599$ ;  $p < 0,05$ ), az összefüggés alapján számított kimerülési idő kevesebb, mint 100 év. Vagyis a pirolizált szerves anyag nem feltétlenül alkalmas a  $CO_2$  talajban történő raktározására több száz éven keresztül (Knicker, 2011).
- A faszén pozitív hatása a talaj szerkezetére, kémia fizikai tulajdonságaira 80 év elteltével is kimutatható.
- A faszén, ebből eredően a különböző növényi eredetű pirolizált szerves anyagok/bioszenek rövid illetve hosszú távon alkalmasak a talaj Cu és Zn megkötő képességét megnövelni, így ezen szempontok alapján jól hasznosíthatók a mezőgazdaságban.

$$f(x) = q_{desz} - q_{adsz} = \frac{A_{max} \cdot c \cdot (k_d - k_a)}{(c \cdot k_d + 1) \cdot (c \cdot k_a + 1)}$$

$$\lim f'(x) = \frac{A_{max} \cdot (k_a - k_d) \cdot (c^2 \cdot k_d \cdot k_a - 1)}{(c \cdot k_d + 1)^2 \cdot (c \cdot k_a + 1)^2} = 0$$

$$c_{H_{max}} = \frac{1}{\sqrt{k_a \cdot k_d}}$$

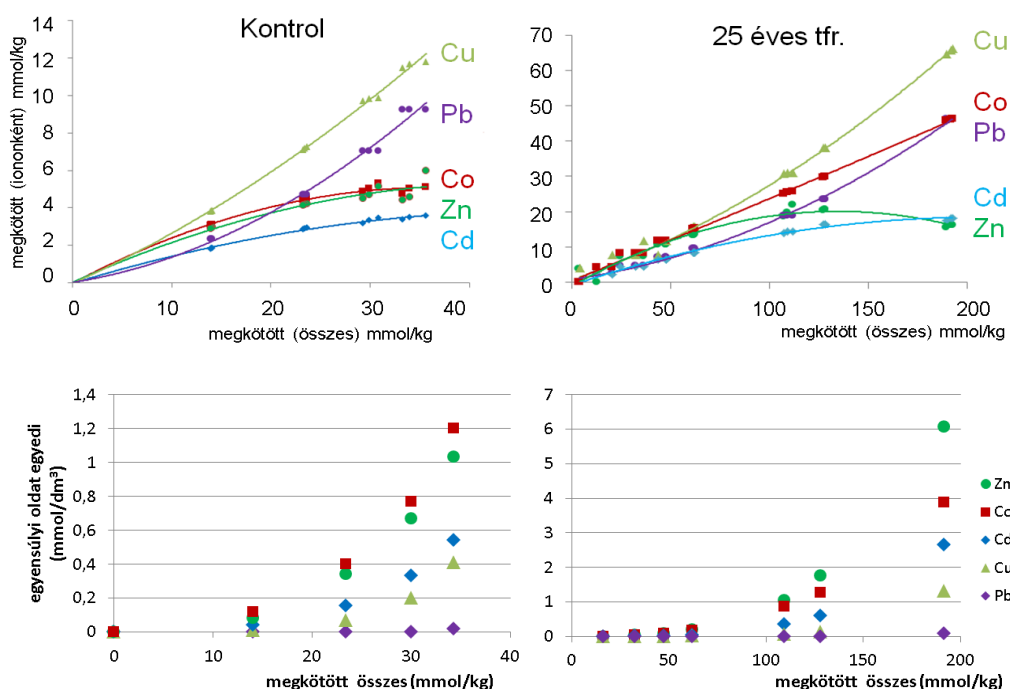


12. ábra „Pseudo hiszterézis” és a jellemzésére szolgáló paraméterek

- Az „adszorpciós” és „deszorpciós” folyamatok között megmutatkozó „pseudo hiszterézis” jelensége jól látható és értékelhető közös „ $A_L$ ” értékkel történő illesztést követően (12. ábra). Az „adszorpciós” és „deszorpciós” görbe különbség függvényeinek határértékei segítségével jellemezhető a hiszterézis távolság. A 25 és 35 éves tfr. esetében a Cu megkötéshez tartozó maximális hiszterézis távolság ( $q_{H_{max}}$ ) kétszerese tapasztalható a Zn-nél számíthatóhoz képest. A maximális hiszterézis távolsághoz tartozó egyensúlyi koncentrációk ( $c_{H_{max}}$ ) Cu esetében kisebbek. A fentiek mind alátámasztják azt, hogy a talaj szerves anyagának nagyobb az affinitása a Cu-hez mint a cinkhez.

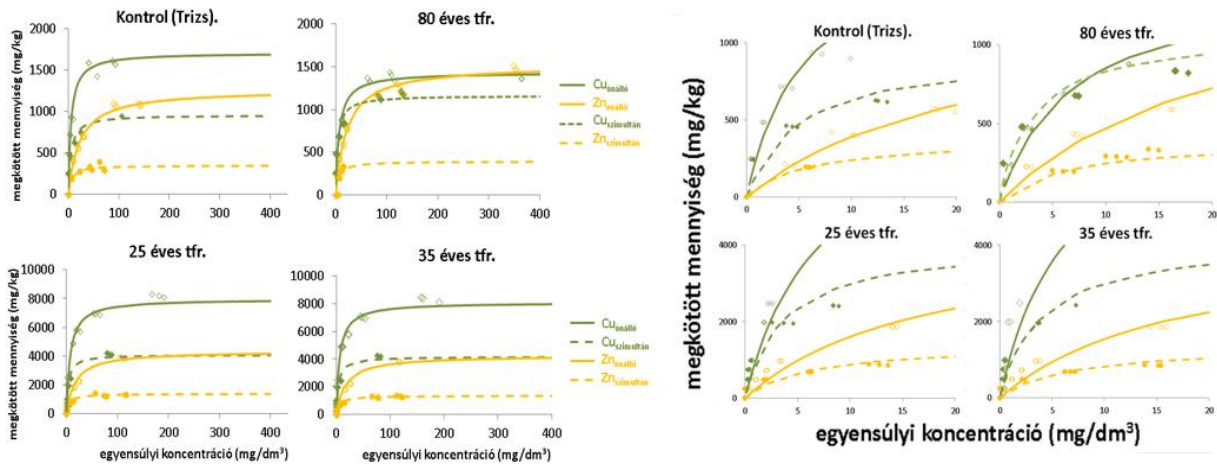
A különböző korú talaj-faszén rendszereken (25, 35 és 80 éves) végzett **ötelemes (Co<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>) kompetitív megkötődés** vizsgálatából levont következtetésem (13. ábra):

- A kísérleti pontokra a Langmuir- modell R<sup>2</sup> értéke kevéssel maradt el a Sips- izoterma modell R<sup>2</sup> értékétől.
- A Freundlich- modell az ólom megkötődését leíró kísérleti pontokra mutatta csak a legjobb illeszkedést, köszönhetően az Pb talajra vonatkoztatott nagy affinitásának.
- Az A<sub>L</sub> értékek (mmol/kg) alapján felállítható megkötődési sorrend Pb≥Cu>Zn>Co>Cd, mely a Cd helyétől eltekintve megegyezik a K<sub>d</sub> (megoszlási hányados) alapján felállított sorrenddel. A K<sub>d</sub> viszont nem számol maximális adszorpciós kapacitással!
- Egy olyan összetett rendszerben, mint a talaj, a hagyományos Langmuir- izotermához képest nem nyerünk többlet információt (sem A<sub>L</sub> sem K<sub>L</sub> értékeket illetően), ha figyelembe vesszük a kompetícióban jelenlévő ionokat is (kompetitív izoterma). További kérdésként merül fel, hogy az adszorptívum ionokon túl mely - a talajon eredetileg jelenlévő – ionokat vegyük figyelembe a modell alkalmazásakor?
- A kompetitív izoterma modell matematikailag nem kommutatív, vagyis a kapott eredmények függenek attól, hogy két egymással kompetáló ion esetében melyik szerepel az izoterma 1. és melyik a 2. helyen.
- Több egyidejűleg jelenlévő adszorptívum kation esetében a kompetíció a potenciális kötőhely telítődésével egyre intenzívebb, és nagyobb koncentráció-tartományban érezheti igazán hatását (Saha et al. 2002; Antoniadis és Tsadilas, 2007).



**13. ábra:** Az egyes elemek megkötődésének aránya az ötelemes kompetitív megkötődés különböző koncentráció tartományában, illetve az egyes állapotokhoz tartozó egyensúlyi koncentrációk - Trizs. (A pontokra illesztett görbe kizárólag a jobb láthatóságot szolgálja.)

Az egyelemes Cu és Zn megkötődés eredményeinek a kompetitív ötelemes megkötődéskor Cu-re és Zn-re kapott eredményeivel történő összehasonlításakor a következő megfigyeléseket tettem (14. ábra):



14. ábra: Cu és Zn monoelemes és 5 elemes kompetitív megkötődésének összehasonlítása különböző korú faszén-talaj rendszerekben (Cu<sub>önálló</sub> —; Cu<sub>szimultán</sub> ----; Zn<sub>önálló</sub> —; Zn<sub>szimultán</sub> ----)

- Mind a réz min a cink esetén megállapítható, hogy az izotermafüggvény illeszkedése jobb, ha egy adszorptívum van jelen az oldatban. Ez egybevág Vega et al. (2008) eredményeivel.
- A fejlett szerves anyaggal rendelkező talaj (E4/E6 alapján) mind az egyelemes mind a szimultán 5 elemes megkötődéskor közel ugyan annyi Cu-et kötött meg, bizonyítva azt, hogy a talaj a réz megkötésére specifikus kötőhelyekkel rendelkezhet (Bradl, 2004, Adriano, 2001).
- Több egyidejűleg jelenlévő adszorptívum kation esetében a kompetíció a potenciális kötőhely telítődésével egyre intenzívebb, és nagyobb koncentráció-tartományban érezheti igazán hatását (Saha et al. 2002; Antoniadis és Tsadilas, 2007).



## Új tudományos eredmények

1. Igazoltam, hogy a talajban előidézett pH változás ( $\text{pH}6 \rightarrow \text{pH}5 \rightarrow \text{pH}4$ ), illetve előzetes Zn terhelés (500 mg/kg) hasonlóan negatív hatással van a talaj további szorpciós tulajdonságaira. Míg a pH mesterséges csökkentése csak a pufferkapacitás csökkenésben manifesztálódik addig az előzetes terhelés a szorpciós kapacitást is jelentősen csökkenti.
2. Kimutattam, hogy a glicerín, mint kémiai vegyület nincs jelentős hatással a talaj Zn szorpciós képességére. A Zn megkötő képességben tapasztalt csökkenés - 1%-os glicerín melléktermékkel történő kezelésnél - a melléktermékben található egyéb ionok kompetíciója miatt áll elő.
3. Kimutattam, hogy a frissen pirolizált csontszén alkalmazása (1-10%) jelentős növekedést eredményez a talaj réz és cink szorpciós képességében, míg a frissen előállított faszénnek (1-10% bekeverésnél) nincs jelentős hatása a talaj réz és cink megkötő képességére. Ezzel szemben a talajban több tíz évig jelenlévő faszén megnöveli a talajban a réz és cink szorpciós kapacitást. A faszén szorpciós kapacitásra gyakorolt hatása az idő függvényében egy maximummal rendelkező görbével jellemezhető.
4. Megállapítottam, hogy a faszénnek, a talaj szorpciós kapacitására gyakorolt hatása az idő függvényében egy maximummal rendelkező görbével jellemezhető. A faszén életidejére szorpciós kísérleteim alapján következtettem, ami kevesebbnek adódott mint 100 év.
5. A szorpciós hiszterézis jellemzésére matematikai módszert alkalmaztam. Az „adszorpciós” és „deszorpciós” görbe különbség függvényének határértéke segítségével értékelhetővé vált a maximális hiszterézis távolság, és az ahhoz tartozó egyensúlyi adszorptívum koncentráció.
6. Megállapítottam és nagyszámú mérési eredményem alapján *bizonyítottam* (reziduumok vizsgálata), hogy talajon történő nehézfém kationok megkötődésekor, a leggyakrabban alkalmazott izotermák (megoszlási hányados, Freundlich-, Langmuir-, Sips-/Langmuir-Freundlich izotermák) közül, kiterjedt koncentráció tartományban a legjobban illeszkedést a Sips izoterma mutatja. Telítés körüli koncentrációknál a Langmuir-izoterma hasonló lefutást mutat a Sips izotermához, a Freundlich izoterma nem nyújt kellő információt a telítési kapacitással kapcsolatban. Kis koncentráció tartományban a Freundlich izoterma fölé, míg a Langmuir izoterma alul becsüli a megkötött mennyiséget.
7. Megállapítottam - szimultán és egyelemes szorpciós kísérleteim összehasonlításával – hogy olyan összetett rendszerben, mint a talaj, a hagyományos Langmuir- izotermához képest nem nyerünk többlet információt (sem  $A_L$  sem  $K_L$  értékét illetően), ha figyelembe vesszük a kompetícióban jelenlévő ionokat is (kompetitív izoterma). Eredményeim arról tanúskodnak, hogy a kompetitív izoterma modell matematikailag nem kommutatív, vagyis a kapott értékek függenek attól, hogy két egymással kompetáló ion esetében melyik szerepel az izoterma 1. és melyik a 2. helyen.

## Következtetések, javaslatok

„Nehézfémm” kationok talajon történő megkötődésének leírásakor különböző modelleket alkalmazhatunk, melyek segítségével jellemezhetjük a szorpciós folyamatokat. A leggyakrabban alkalmazott modellek (megoszlási hányados ( $K_d$ ), a Freundlich- és Langmuir-izoterma) mindegyike jól alkalmazható, azonban következtetések levonásakor minden esetben figyelemmel kell lenni a modell mögött álló fizikai és kémiai peremfeltételekre.

Olyan esetben, amikor egy szorpciós kísérlet adataira illesztett izoterma alapján minél jobb képet szeretnénk kapni az adszorbens megoszlásáról a szilárd és az azt körülvevő oldat fázis között, indokoltnak tartom a Sips- izoterma használatát. A Sips- modell jobb illeszkedéséből adódóan, jobban becsülhető az adszorbens pufferkapacitása, ami a jól illeszkedő modell informatív paramétere.

A fent említett adszorpciós izotermák linearizált formáinak torzító hatása esetenként igen jelentős lehet, így javasolom az izotermák nem linearizált formáinak használatát.

A talajok szorpciós viselkedése igen érzékenyen reagál a talajt érő külső hatásokra (pH, előzetes kation terhelés), így erre a különböző adalékanyagok/termésnövelők (bioszenek, pirolizált szerves anyag, stb.) alkalmazásakor különös figyelemmel kell lenni, mind környezetvédelmi, mind növénytaplálási szempontból.

Az esszenciális és toxikus „nehézfémmek” megkötődésekor a talaj szorpciós kapacitása és pufferkapacitása igen fontos paraméterek. Ezek ismeretében összehasonlíthatóvá válnak a talajok adott adszorptívumra vonatkozóan. A talajok szorpciós viselkedése jól jellemezhető a hiszterézist leíró függvény nevezetes pontjaival/paramétereivel. Ezek vizsgálatával megállapítható, hogy a különböző összetételű szerves adalékanyagok akár ellentétes hatást is gyakorolhatnak a kationmegkötő képességre, viszont eközben javítják a talaj számos fizikai kémia és biológiai tulajdonságát.

## Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

### 1. Tudományos folyóiratokban megjelent (közlésre elfogadott), lektorált, teljes szövegű tudományos közlemény

#### 1.1. Idegen nyelvű, impakt faktoros folyóiratban (WEB OF SCIENCE szerint):

##### 1.1.1. Hazai kiadású

Vargha, V., Rétháti, G., Heffner, T., Pogácsás, K., Korecz, L., László, Zs., Czinkota, I., Tolner, L., Kelemen, O.  
Behavior of Polyethylene Films in Soil.  
PERIODICA POLYTECHNICA-CHEMICAL ENGINEERING 60:(1) pp. 60-68. (2016)  
(IF=0,557) **(18 pont)**

#### 1.2. Idegen nyelvű, nem impakt faktoros folyóiratban

##### 1.2.1. Hazai kiadású

Labancz V., Rétháti G., Makó A., Szegi T. (2017): The examination of humic substances in soils and composts with high organic content with different methods. Review on Agriculture and Rural Development 6: 71-76. ISSN 2063-4803 **(7 pont)**

Czinkota, I., Issa, I., Rétháti, G., Kovács, B.  
Determination of the Behaviour and the Transport Parameters of Chromium in Soil-Water Systems.  
AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN 55:(1) pp. 287-294. (2006) **(7 pont)**

Lévay, N., Füleky, Gy., Rétháti, G.  
Zinc sorption of some European volcanic soils. **(7 pont)**  
BULLETIN OF THE SZENT ISTVÁN UNIVERSITY (GÖDÖLLŐ) 2006: pp. 90-96.

##### 1.2.2. Külföldi kiadású

Rétháti, G., Yadav, R.N., Füleky, Gy.  
Effect of acidification and preliminary Zn load on sorption of soil.  
CARPATHIAN JOURNAL of EARTH and ENVIRONMENTAL SCIENCES (2018) 13:(1)  
pp 267-275; DOI:10.26471/cjees/2018/013/023 **(7 pont)**

Rétháti, G., Vejzer, A., Simon, B., Benjared, R., Füleky, Gy.  
Examination of zinc adsorption capacity of soils treated with different pyrolysis products. ACTA UNIVERSITATIS SAPIENTIAE AGRICULTURE AND ENVIRONMENT 6: pp. 33-38. (2014) **(7 pont)**

Rétháti, G., Pogácsás, K., Heffner, T., Simon, B., Czinkota, I., Tolner, L., Kelemen, O., Vargha, V.  
Monitoring the degradation of partly decomposable plastic foils. ACTA UNIVERSITATIS SAPIENTIAE AGRICULTURE AND ENVIRONMENT 6:(1) pp. 39-44. (2014) **(7 pont)**

### 1.3. Magyar nyelvű, nem impakt faktoros hazai folyóiratban

Gulyás, M., Fuchs, M., Rétháti, G., Holes, A., Varga, Zs., Kocsis, I., Füleky Gy. Szilárd pirolízis melléktermékekkel kezelt talaj vizsgálata tenyészedényes modellkísérletben.

AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN 63:(2) pp. 341-352. (2014) **(5 pont)**

Issa, I., Rétháti, G., Czanik, P., Czinkota, I.

Titrálasos módszer talajok redox pufferkapacitásának meghatározására.

AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN 56:(1) pp. 39-48. (2007) **(5 pont)**

Lévay, N., Füleky, Gy., Rétháti, G.

Vulkáni eredetű talajok Zn megkötő képességének vizsgálata.

ACTA AGRONOMICA ÓVÁRIENSIS 47:(1) pp. 227-238. (2005) **(5 pont)**

Füleky, Gy., Rétháti, G., Stefanovits, P.

Réz és cink adszorpció jellegzetes magyarországi talajokon.

ACTA AGRONOMICA ÓVÁRIENSIS 47:(1) pp. 217-226. (2005) **(5 pont)**

### 4. Kongresszusi kiadványokban megjelent közlemények (nyomtatott formában v. elektronikus adathordozón – kizárólag az ISBN, ISSN vagy más, hitelesített kiadványaira vonatkozóan)

4.1. Teljes szövegű közlemény, alkalmi (nem periodika jellegű) kongresszusi kiadványban, idegen nyelven, lektorált formában megjelentetve:

Sebők A, Rétháti, G., Varga D, Füleky Gy, Tolner L. Comparing study about the methods to measure the copper sorption capacity of soils. XV. Alps-Adria Scientific Workshop. Mali Lošinj, Croatia (:2016.04.25-30.) NÖVÉNYTERMELÉS / CROP PRODUCTION 65 :(Suppl.) pp. 107-110. (2016) **(5 pont)**

Tolner, L., Ziegler, I., Füleky, Gy., Gulyás, M., Rétháti, G. (2016): Stimulant and toxic effect of biomass ash dosage in pot experiment. XV. Alps-Adria Scientific Workshop Mali Losinj, Croatia (2016.04.25-30.), NÖVÉNYTERMELÉS / CROP PRODUCTION 65 Suppl. 43-46. **(5 pont)**

Czinkota, I., Kocsis, I., Rétháti, G., Vágó, I., Aleksza, L. Investigation of oxidative decomposition of different compost samples. XIV. Alps-Adria Scientific Workshop. Neum, Bosznia-Hercegovina: (2015.05.11-16.) NÖVÉNYTERMELÉS/CROP PRODUCTION 64:(Suppl.) pp. 91-94. (2015) **(5 pont)**

Rétháti, G., Benjared, R., Füleky, Gy. Zn sorption of solid pyrolysis products. 14th Alps-Adria Scientific Workshop. Neum, Bosznia-Hercegovina (2015.05.11 -16.) NÖVÉNYTERMELÉS / CROP PRODUCTION 64:(Suppl) pp. 79-82. (2015) **(5 pont)**

Rétháti, G., Labancz, V., Tolner, L., Szalai, Z., Aleksza, L. Examination of humic substances of composts and differently aged soil-charcoal systems. XIV. Alps-Adria Scientific Workshop. Neum, Bosznia-Hercegovina (2015.05.11 -16.) NÖVÉNYTERMELÉS/CROP PRODUCTION 64:(Suppl) pp. 103-106. (2015) **(5 pont)**

Gál, A., Rétháti, G., Simon, B. Effect of differently aged charcoal on soil fertility: Organic fertilizers and soil fertility NÖVÉNYTERMELÉS / CROP PRODUCTION 62:(Suppl.) pp. 265-268. (2013) **(5 pont)**

Rétháti, G., Vejzer, A., Simon, B., Vadkerti, Zs., Tolner, L. The effect of glycerol by-product on the development of maize and zinc uptake. NÖVÉNYTERMEELÉS /CROP PRODUCTION 62:(Suppl.) pp. 107-110. (2013) **(5 pont)**

Füleky, Gy., Rétháti, G. Chemical time bomb - the potential risk of heavy metal pollution in soil. In: Ákos Borbély (szerk.) Proceedings of 3rd International Joint Conference on Environmental and Light Industry Technologies. Budapest, Magyarország, 2012.11.21-22. Budapest: Óbudai Egyetem, (2013) pp. 119-126. (ISBN:978-615-5018-50-3) **(5 pont)**

Tolner, L., Rétháti, G., Kovács, A. Examination of an alternative way to prevent nitrate leaching in soil by using glycerol as a biodiesel by-product. NÖVÉNYTERMEELÉS / CROP PRODUCTION 61:(Suppl.) pp. 267-270. (2012) **(5 pont)**  
*független idéző:1*

Füleky, Gy., Rétháti, G. Accumulation of Nitrate-N and Ammonium-N in the soil a fertilization experiment. In: Lehoczky Éva (szerk.) I. Talajtani, Vízgazdálkodási és Növénytermesztési Tudományos Nap: Talaj-víz-növény kapcsolatrendszer a növénytermesztési térben. Debrecen, Magyarország, 2012.11.23 (2012) pp. 81-84. (ISBN:978-963-89041-6-4) **(5 pont)**

Rétháti, G., Issa, I., Tolner, L. Relationship between soil acidification and Zinc fertilization in a model experiment. NÖVÉNYTERMEELÉS / CROP PRODUCTION 60:(Suppl.) pp. 235-238. (2011) **(5 pont)**

Füleky, Gy., Rétháti, G., Benedek, Sz. Phosphate sorption capacity of peat material. In: Albrecht F (szerk.) Workshop Peat and Humic Substances: Current research in chemical, physical and biological characterization of peat. Zittau, Németország, 2011.09.28-30. (2011.) pp. 49-52. (ISBN:978-3-941521-01-8) **(5 pont)**

Nadi, M., Rétháti, G., Füleky, Gy. Characterization of Dissolved Organic Carbon Extracted with HWP is some typical Hungarian soils. In: Albrecht F (szerk.) Workshop Peat and Humic Substances: Current research in chemical, physical and biological characterization of peat. Zittau, Németország, 2011.09.28-30. (2011) pp. 53-56. (ISBN:978-3-941521-01-8) **(5 pont)**

4.2. Teljes szövegű közlemény, alkalmi (nem periodika jellegű) kongresszusi kiadványban, magyar nyelven, lektorált formában megjelentetve

Simon, B., Rétháti, G., Láng, V., Pintér, O., Michéli, E., Kiss, J. Féltermészetes élőhelyek talajtermékenységi paramétereinek vizsgálata a Quessa projekt keretében. In: Csicsék Gábor, Kiss Ibolya (szerk.) XI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia tanulmánykötete. Pécs, Magyarország, (2015.05.06-09.) (2015) pp. 146-151. (ISBN:978-963-642-873-0) **(3 pont)**

Simon, B., Treutz, Zs., Veréb, M., Rétháti, G., Kampfl, Gy., Szegi, T., Láng, V. A talajtermékenység, mint ökoszisztéma szolgáltatás kvantitatív vizsgálata. In: Hernádi H, Sisák I, Szabóné Kele G (szerk.) A talajok térbeli változatossága - elméleti és gyakorlati vonatkozások: Talajtani Vándorgyűlés, Keszthely. Magyarország, (2014.09.04-06.) Keszthely: (2015) pp. 327-335. (ISBN:978-963-9639-80-5) **(3 pont)**

Tolner, I. T., Gál, A., Simon, B., Tolner, L., Czinkota, I., Rétháti, G. Különböző korú talajba keveredett faszénmaradványok hatásának vizsgálata a talaj kémiai és optikai tulajdonságaira. In: Hernádi H, Sisák I, Szabóné Kele G (szerk.) A talajok térbeli változatossága - elméleti és gyakorlati vonatkozások: Talajtani Vándorgyűlés, Keszthely, Magyarország, (2014.09.04-06.) (2015) pp. 337-347. (ISBN:978-963-9639-80-5) **(3 pont)**

Rétháti, G., Pogácsás, K., Heffner, T., Simon, B., Czinkota, I., Tolner, L., Kelemen, O., Vargha, V. Környezetben részlegesen lebomló műanyag fóliák degradációjának nyomon követése. Monitoring the degradation of partly decomposable plastic foils. In: Zsigmond AR, Szigyártó IL, Szikszai A (szerk.) X. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Kolozsvár, Románia, (2014.03.27-29.) pp. 181-185. **(3 pont)**

Rétháti, G., Vejzer, A., Simon, B., Benjared, R., Füleky, Gy. Különböző pirolízis termékkel kezelt talajok cinkmegkötő képességének vizsgálata. In: Zsigmond AR, Szigyártó I.L., Szikszai, A. (szerk.) X. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Kolozsvár, Románia, (2014.03.27-29.) pp. 33-37. **(3 pont)**

Tolner, L., Czinkota, I., Vadkerti, Zs., Kovács, A., Rétháti, G. Glicerinnel történő csírázására és kezdeti növekedésére. MAGYAR EPIDEMIOLOGIA 10:(Suppl.) p. 46. 1 p. (2013) **(3 pont)**

Rétháti, G., Vejzer, A., Czinkota, I., Füleky, Gy. A kukorica növény egyedfejlődésének és nehézfém felvételének vizsgálata glicerinnel történő kezelés hatására. In: Sándor Zsolt, Szabó András (szerk.) Újabb kutatási eredmények a növénytudományokban. Debrecen, Magyarország, (2013.05.05.) (2013) pp. 41-46. (ISBN:978-615-518340-9) **(3 pont)**

Rétháti, G., Vejzer, A., Czinkota, I. Glicerinnel történő kezelés hatása a talaj Zn megkötő képességére. In: Dobos Endre, Bertóti Réka Diana, Szabóné Kele Gabriella (szerk.) Talajtan a mezőgazdaság, a vidékfejlesztés és a környezetgazdálkodás szolgálatában: Talajtani Vándorgyűlés. Miskolc, Magyarország, (2012.08.23-25.) (2013) pp. 409-418. (ISBN: 978-963-08-6322-3) **(3 pont)**

## **5. Kongresszusi kiadványokban megjelent közlemények (nyomtatott formában v. elektronikus adathordozón – nem hitelesített kiadványokra vonatkozóan)**

5.1. Teljes szövegű közlemény idegen nyelven

5.2. Teljes szövegű közlemény magyar nyelven

5.3. Egy oldalas idegen vagy magyar nyelvű összefoglaló

Czinkota, I., Rétháti, G., Tolner, L., Dálnoki, A.B., Sebők, A. Széles körben használatos adszorptívum csere izoterma levezetése és használati lehetőségei. In: MTA Analitikai és Környezeti Kémiai Tudományos Bizottság Környezeti Kémiai Munkabizottsága (szerk.) Hatodik Környezatkémiai Szimpózium. Bakonybél, Magyarország, 2017.10.12-13. p. 31. **(1 pont)**

Fekete, Gy., Rétháti, G., Kovács, A., Dálnoki, A.B., Grósz, J., Tóth, P.P.: Mikroalgák szervesanyag-tartalmának vizsgálata In: MTA Analitikai és Környezeti Kémiai Tudományos Bizottság Környezeti Kémiai Munkabizottsága (szerk.) Hatodik Környezatkémiai Szimpózium. Bakonybél, Magyarország, 2017.10.12-13. p. 15. **(1 pont)**

Rétháti, G., Czinkota, I., Sebők, A., Tolner, L., Kationok ( $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ) talajon történő szimultán megkötődésének jellemzése. In: MTA Analitikai és Környezeti Kémiai Tudományos Bizottság Környezeti Kémiai Munkabizottsága (szerk.) Ötödik Környezatkémiai Szimpózium. Tihany, Magyarország, 2016.10.06-07. p. 23. **(1 pont)**

Tolner, L., Rétháti, G., Kovács, A., Dálnoki, A. B., Fekete, Gy., Czinkota, I. Biodízelgyártás melléktermék (glicerin) hatása a talaj nitrogén formáira és az angolperje kezdeti fejlődésére. In: MTA Analitikai és Környezeti Kémiai Tudományos Bizottság Környezeti Kémiai Munkabizottsága (szerk.) Ötödik Környezatkémiai Szimpózium. Tihany, Magyarország, 2016.10.06-07. p. 21. **(1 pont)**

Rétháti, G., Varga, D., Sebők, A., Füleky, Gy., Tolner, L., Czinkota, I. Talajok rézmegkötő képességének vizsgálata oszlopkísérletek segítségével. In: Salma Imre, Zsigrainé Vasánits Anikó, Németh Zoltán (szerk.) Negyedik Környezatkémiai Szimpózium. Tata, Magyarország, 2015.10.08-09. p. 27. **(1 pont)**

Tolner, L., Rétháti, G., Füleky, Gy. Tönkretesszük-e vegyszerekkel a talajainkat? In: Salma Imre, Zsigrainé Vasánits Anikó, Németh Zoltán (szerk.) Negyedik Környezatkémiai Szimpózium. Tata, Magyarország, 2015.10.08-09. p. 27. **(1 pont)**

Rétháti, G., Czinkota, I., Tolner, L., Füleky, Gy. Különböző korú talaj-faszén rendszerek Cu és Zn megkötő képességének összehasonlítása. In: MTA Analitikai és Környezeti Kémiai Tudományos Bizottság Környezeti Kémiai Munkabizottsága (szerk.) Harmadik Környezatkémiai Szimpózium. Lajosmizse, Magyarország, 2014.10.09-10. p. 34. **(1 pont)**

Rétháti, G., Czinkota, I., Tolner, L., Füleky, Gy., Gál, A. Zn megkötődés változása talaj-bioszén rendszerben. In: MTA Analitikai és Környezeti Kémiai Tudományos Bizottság Környezeti Kémiai Munkabizottsága (szerk.) Második Környezatkémiai Szimpózium. Konferencia helye, ideje: Dobogókő, Magyarország, 2013.10.10-11. p. 34. **(1 pont)**

Gál, A., Waltner, I., Rétháti, G., Szegi, T., Simon, B. Effect of charcoal from differently aged char production sites on soil carbon and fertility. In: Senesi N (szerk.) EUROSOIL 2012 - 4th International Congress of the European Confederation of Soil Science Societies. Bari, Olaszország, 2012.06.02-06. p. 1772. **(2 pont)**

Tolner, L., Füleky, Gy., Rétháti, G., Kovács, A., Vágó, I., Szabó, A., Czinkota, I. A talaj, mint potenciálisan környezetszennyező növényi tápelemek pufferközege. In: MTA Analitikai és Környezeti Kémiai Tudományos Bizottság Környezeti Kémiai Munkabizottsága (szerk.) Első Környezatkémiai szimpózium. Mátraháza, Magyarország, 2012.10.11-12. p. 29. **(1 pont)**

Rétháti, G., Vejzer, A., Gál, A., Simon, B., Füleky, Gy. Examination of zinc adsorption capacity of soils treated with different pyrolysis products. In: ORBIT 2014 Scientific Conference: 9th Conference on Organic Resources and Biological Treatment. Konferencia helye, ideje: Gödöllő, Magyarország, 2014.06.26-28. p. 42. **(2pont)**

Czinkota, I., Keresztes, Simándi, P., Rácz, Rétháti, G., Gulyás, M., Tolner, L. Analysis of organic matter and heavy metal extraction kinetics of different pyrolyzed waste fractions. In: ORBIT 2014 Scientific Conference: 9th Conference on Organic Resources and Biological Treatment. Gödöllő, Magyarország, 2014.06.26-28. p. 43. **(2pont)**

Rétháti, G., Zságer, G., Simon, B., Füleky, Gy., Gál, A. Zn sorption behaviour of soils containing charcoal with different age. (summary) In: BCD 2013 Biochars, Composts and Digestates. Production, Characterization, Regulation, Marketing, Uses and Environmental Impact. Konferencia helye, ideje: Bari, Olaszország, 2013.10.17-20. Bari: p. 49. **(2pont)**

## Felhasznált irodalom

- Adriano, D.C. (2001): Trace elements in terrestrial environments. Biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals. Springer Science+Business Media, LLC.
- Alloway, B.J. (2013): Heavy Metals in Soils. Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. Springer Science and Business Media.
- Anoniadis, V., Tsadilas, C.D. (2007): Sorption of cadmium, nickel and zinc in mono- and multimetal systems. *Applied Geochemistry* 22: 2375-2380.
- Arias, M., Pérez-Novo, C., López, E., Soto, B. (2006): Competitive adsorption and desorption of copper and zinc in acid soils. *Geoderma* 133: 151-159.
- Bradl, H.B. (2004): Adsorption of heavy metal ions on soil and soil constituents. *J. Colloid Interf. Sci.* 277:1-18.
- Chen, C.T., Lee, D.Y., Hough, M. (1992): Competitive adsorption of Cd, Cu and Pb by acid soils. *J. Ch. Agric. Chem. Soc.* 30(1) 83-99.
- Covelo, E.F., Vega, F.A., Andrade, M.L. (2007): Simultaneous sorption and desorption of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in acid soils I. Selectivity sequences. *Journal of Hazardous Materials* 147: 852-861.
- Czinkota, I. (1994): Talajok forróvizesszűrésű extrakciója. Egyetemi doktori értekezés. SZIE
- Czinkota, I. (2007): Glicerinnel kiegészített talajhasznosítás. Szent István Egyetem, Talajtani és Agrokémiai Tanszék, Gödöllő.
- Harter, R.D. (1979): Adsorption of copper and lead by Ap and B2 horizons of several Northeastern United States soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 670-683.
- Ioannidou, O., Zabaniotou, A. (2007): Agricultural residues as precursors for activated carbon production—A review *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11: 1966–2005.
- Karathanasis, A.D. (1999): Subsurface migration of copper and zinc mediated by soil colloids. *Soil Science Society of America Journal* 63: 830-838.
- Knicker, H. (2011) Pyrogenic organic matter in soil: Its origin and occurrence, its chemistry and survival in soil environments. *Quaternary International* 243: 251-263.
- Ladygina, N., Rineau, F. (2013): *Biochar and Soil Biota*. CRC Press. Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Lehmann, J., Joseph, S. (ed.): (2009): *Biochar for Environmental Management*. Science and Technology. Earthscan, London.
- Leyva-Ramos, R., Bernal-Jacome, L.A., Mendoza-Barron, J., Fuentes-Rubio, L., Guerrero-Coronado, R.M. (2002): Adsorption of Zn (II) from an aqueous solution onto activated carbon. *Journal of Hazardous Material B90*, 27-38.
- Saha, U.K.; Taniguchi, S., Sakurai, K. (2002): Simultaneous adsorption of cadmium, zinc, and lead by hydroxyaluminium- and hydroxyaluminosilicate-montmorillonite complexes. *Soil Science Society of America Journal*, 66:117-128.
- Schnitzler, M. 1969. Reactions between fulvic acid, a soil humic compound and inorganic soil constituents. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33: 75-81.
- Sipos, P., Németh, T., Kovács-Kis, V., Mohai, I. (2008): Sorption of copper, zinc and lead on soil mineral phase. *Chemosphere* 73:461-469.
- Stevenson, F.J. (1982): *Humus chemistry*, New York: John Wiley & Sons
- Xiao B., Thomas, K. M. (2004): Competitive Adsorption of Aqueous Metal Ions on an Oxidized Nanoporous Activated Carbon. *Langmuir*, 20: 4566-4578
- Vega, F.A., Covelo, E.F., Andrade, M.L. (2008): A versatile parameter for comparing the capacities of soils for sorption and retention of heavy metals dumped individually or together: Results for cadmium, copper and lead in twenty soil horizons. *Journal of Colloid and Interface Science* 327: 275-286.