

DEBRECENI EGYETEM  
**Agrártudományi Centrum**  
Mezőgazdaságtudományi Kar  
Környezetgazdálkodási és Műszaki Tanszék

**INTERDISZCIPLINÁRIS AGRÁR- ÉS TERMÉSZETTUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA**

Doktori Iskola vezető:  
Prof. Dr. Nagy János  
az MTA doktora

Témavezetők:  
**Prof. Dr. Thyll Szilárd**  
professor emeritus, a mezőgazdasági tudomány kandidátusa

**Dr. habil. Simon László**  
a mezőgazdasági tudomány kandidátusa

**DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI**

**TELEPÜLÉSI SZENNYVÍZISZAPOK TERMESZTETT NÖVÉNYEKRE ÉS  
TALAJRA GYAKOROLT HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA**

Készítette:  
**Uri Zsuzsanna Edit**  
doktorjelölt

**Debrecen**  
**2007**

## 1. A KUTATÁS ELŐZMÉNYEI, CÉLKITÚZÉSEI

A víziközmű-ellátás és -szolgáltatás kérdései hazánk Európai Unióhoz történő csatlakozása után az elmúlt években fokozottan előtérbe kerültek (GAZDAG, 2003). A szennyvízelvezetés, szennyvíztisztítás fejlett európai országokhoz viszonyított elmaradásának felszámolása környezetvédelmi szempontból is egyre sürgetőbb feladat. A Nemzeti Települési Szennyvízelvezetési és -tisztítási Megvalósítási Program előrehaladásával a települési szennyvíziszapok jelenlegi mennyisége (évi mintegy 1 millió t 25-30%-os átlagos szárazanyag-tartalommal) várhatóan több mint kétszeresére növekszik (25/2002. (II.27.) Kormányrendelet), amelynek ártalommentes elhelyezéséről, hasznosításáról feltétlenül gondoskodni kell (THYLL, 1998). Az Európai Unióban régóta és egyre nagyobb mennyiségben használnak fel szennyvíziszapot a mezőgazdaságban talajjavítás és tápanyag utánpótlás céljából. Hazánkban az EU-direktívákkal megegyezően a mezőgazdasági elhelyezésben és hasznosításban rejlő lehetőségeket kell előtérbe helyezni (JUHÁSZ, 2000).

A szennyvíziszapok mezőgazdasági elhelyezésének alapvető feltétele azok kezelése. A megfelelően kezelt szennyvíziszap növeli a talaj termékenységét, serkenti a növények növekedését és fejlődését. A szennyvíziszap trágyázó hatása a benne lévő természetes eredetű szerves anyagok és növényi tápanyagok (főleg nitrogén, foszfor és mikroelemek), valamint a víztartalma révén érvényesül, amelyet számos korábbi vizsgálat bizonyított (SZLÁVIK et al., 1984; SOLERROVIRA et al., 1996; SIMON és SZENTE, 2000; EPSTEIN, 2002; HAIDEKKER, 2002; VERMES, 2003).

A szennyvíziszap trágyaként történő alkalmazása azonban a többi trágyaféleségnél nagyobb kockázatot jelenthet a benne előforduló fertőző, káros és toxikus anyagok következtében, utóbbiak közül egyes szerves szennyezőanyagok, valamint a nehézfémek veszélyesek. A hazai települési szennyvíziszapok viszonylag kis nehézfém-koncentrációja (HAIDEKKER, 2002) ellenére, az iszapok nehézfém-tartalma jelenti a mezőgazdasági felhasználás egyik legfontosabb korlátozó tényezőjét (TAMÁS, 1995; SOLERROVIRA et al., 1996; SIMON et al., 2000; EPSTEIN, 2002; VERMES, 2003; AMIR et al., 2005).

A szennyvíziszapok szakszerűtlen kijuttatása megnövelheti a talaj nehézfém-tartalmát. A nehézfémek felvehetővé válhatnak a termesztett növények számára, bekerülhetnek azok vegetatív és generatív szerveibe és a talaj–növény rendszeren keresztül a táplálékláncba (KÁDÁR, 1995, 1999, SILVEIRA et al., 2003). A szennyvíziszapok termőföldön történő elhelyezése során tehát figyelemmel kell lenni arra, hogy humuszképző hatásuk és tápanyagértékük hasznosítása mellett elkerüljük, vagy minimálisra csökkentjük a talajra, a

felszíni és felszín alatti vizekre, valamint a növényekre, az állatokra és az emberek egészségére gyakorolt káros hatást. Mindez csak abban az esetben lehetséges, ha a kezelt talajokban végbemenő kémiai és biológiai folyamatokat ismerjük és céljainknak megfelelően irányítani tudjuk.

A szennyvíziszap–talaj–növény kapcsolatának vizsgálatára irányuló kutatások a Nyíregyházi Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Főiskolai Karán több évre nyúlnak vissza. Kutatómunkám során a vizsgálandó szennyvíziszapok kiválasztásánál alapvetően az motivált, hogy három különböző módon előkezelt települési szennyvíziszap hatását vizsgáljam és hasonlítsam össze. A szennyvíztisztító telepeken keletkező iszapot sokféleképpen kezelik a jó hatásfokú és eredményes végső elhelyezés, illetve hasznosítás előkészítése érdekében. A három kiválasztott előkezelés, a nyíregyházi rothasztás után történő komposztálás, a debreceni anaerob módon történő rothasztás és víztelenítés, valamint a miskolci granulálás és ásványi anyagokkal való keverés a települési szennyvíziszapok kezelésének három olyan módját jelenti, amelyek valamelyikének gyakorlati alkalmazása széles körben várható. A szennyvíziszapok kiválasztásánál továbbá szempont volt, hogy három olyan nagyváros szennyvíziszapját hasonlítsam össze, amelynek eredete heterogén összetételű és nagyobb mennyiségű fémszennyeződést feltételez.

Célkitűzésem arra irányult, hogy összehasonlítsam a többszöri, kis dózisokban alkalmazott szennyvíziszap terhelések takarmánynövényekre és talajra gyakorolt hatását a két részletben alkalmazott, nagyobb dózisú terhelések hatásával, illetve utóhatásával.

Kutatásaim során a fentiek figyelembevételével az alábbi célkitűzéseket fogalmaztam meg:

1. A kísérleti talaj és az alkalmazott települési szennyvíziszapok kémiai vizsgálata:

A tenyészedényes kísérletekhez használt alaptalaj, valamint a nyíregyházi földmedencében rothasztott, búzaszalmával komposztált szennyvíziszap, a debreceni anaerob módon rothasztott, majd víztelenített szennyvíziszap, és a miskolci riolittufa örleménnyel és karbidmésszel érlelt, granulált szennyvíziszap „összes” nehézfém-tartalmának (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb és Zn) meghatározása.

A vizsgált nehézfémek jellemző kémiai formáinak elemzése a kísérleti talajban és a különböző módon előkezelt települési szennyvíziszapokban: a kezeletlen talaj és az alkalmazott települési szennyvíziszapok potenciálisan „felvehető” és „kicserélhető” (potenciálisan kimosódó) elemtartalmának vizsgálata, valamint az iszapokban lévő nehézfémek kötési formáinak háromlépcsős frakcionált fémkivonási módszerrel való elemzése.

2. Nehézfémek vizsgálata a talaj–növény rendszerben szennyvíziszap alkalmazások esetén:  
Egy iszapterheléses tenyészedényes kísérletsorozat beállítása 2001-2003 között a Nyíregyházi Főiskola Táj- és Környezetgazdálkodási Tanszékének növénynevelő fényszobájában.  
Az alkalmazott települési szennyvíziszapok talaj elemösszetételére gyakorolt hatásainak elemzése: a kezelt talaj nehézfém-tartalmában mutatkozó különbségek vizsgálata, a nehézfém-tartalom változásának nyomon követése a kísérletsorozat időtartama alatt, a kezelt talaj „felvehető” elemtartalmának elemzése.  
A különbözőképpen előkezelt települési szennyvíziszapokkal kezelt talajon nevelt jelzőnövények (sorrendben: rozs, szudánifű, őszi káposztarepce, takarmányborsó) nehézfém-akkumulációjának vizsgálata, valamint a talaj „felvehető” elemtartalma és a növényi nehézfém-felvétel közötti kapcsolat értékelése.
3. A takarmánynövények szárazanyag-hozamának tanulmányozása szennyvíziszap alkalmazások esetén.
4. A települési szennyvíziszapok talajbiológiai hatásának tanulmányozása a takarmányborsó jelzőnövényes kísérletben: a talaj-mikroorganizmusok számának alakulására (összes baktérium- és mikroszkopikus gombaszám meghatározása), valamint néhány, a szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználása szempontjából fontos enzim aktivitására (foszfátáz-, ureáz-, dehidrogenáz- és cellulázaktivitás mérése).

## 2. A KUTATÁS MÓDSZEREI

### 2.1. Vizsgálati anyag

A tenyészedényes kísérletekhez használt kezeletlen alaptalaj a Nyíregyházi Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Főiskolai Karának bemutatókertjéből (Nyíregyháza, Rákóczi út 69.), a felső 30 cm-es rétegből származott. A Ramann-féle rozsdabarna erdőtalaj legfontosabb jellemzői az alábbiak voltak: pH (H<sub>2</sub>O) 7,66; pH (KCl) 7,48; leiszapolható rész 24,9%; humusztartalom 1,3%; összes karbonáttartalom CaCO<sub>3</sub> 5,9%; összes vízdoldható só-tartalom 0,03%; felvehető tápanyagtartalom: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1396±20 mg/kg, K<sub>2</sub>O 725,11±55 mg/kg, Mg 295,2±32 mg/kg, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 46,17±2 mg/kg.

Munkám során Magyarország három megyei jogú városának (Nyíregyháza, Debrecen, Miskolc) települési szennyvíztisztítási és iszapkezelési technológiáit, valamint a

különbözőképpen kezelt települési szennyvíziszapjait tanulmányoztam. A vizsgálatokhoz az iszapokból térbeli átlagmintát vettem, azaz egy hely különböző pontjaiban, közel azonos időpontokban vett részmintáit kevertem össze. A nyíregyházi földmedencében rothasztott szennyvíziszapot búzaszalmával komposztálták, mely komposzt alapjellemezői a következők voltak: pH (H<sub>2</sub>O) 6,35; összes vízdoldható sótartalom 3,21%; összes szervesanyag-tartalom 21,9%; összes (Kjeldahl) N 0,99±0,05 mg/kg; összes P 6827±225 mg/kg; összes K 2707±15 mg/kg. A debreceni iszapot anaerob módon rothasztották, majd víztelenítették, paraméterei az alábbiak szerint alakultak: pH (H<sub>2</sub>O) 6,51; összes vízdoldható sótartalom 7,40%; összes szervesanyag-tartalom 55,23%; összes (Kjeldahl) N 3,68±0,3 mg/kg; összes P 20400±265 mg/kg; összes K 1833±38 mg/kg. A miskolci granulált iszapot riolittufa őrléménnyel és karbidmészsel keverték és érlelték, mely tápanyagkeverék legfontosabb jellemzői az alábbiak voltak: pH (H<sub>2</sub>O) 12,52; összes vízdoldható sótartalom 2,80%; összes szervesanyag-tartalom 9,12%; összes (Kjeldahl) N 0,34±0,02 mg/kg; összes P 1307±175 mg/kg; összes K 1427±110 mg/kg.

## 2.2. Tenyészedényes kísérletsorozat beállítása

Tenyészedényes kísérletsorozatot állítottam be Ramann-féle rozsdabarna erdőtalajon. Az iszapterheléses kísérleteket a Nyíregyházi Főiskola Táj- és Környezetgazdálkodási Tanszékének növénynevelő fényszobájában végeztem 2001-2003 között. A tesztnövényeket kezeletlen talajon (kontroll), illetve talaj–iszap keverékeken neveltem. A kísérletsorozat kezdetén a keverékekben a nyíregyházi, a debreceni és a miskolci iszap tömegszázalékos aránya kezelésenként 2,5%, illetve 10% (m/m) volt, amely szabadföldi körülmények között 75, illetve 300 t/ha/sz.a. iszapadagoknak felel meg. A kísérlet folytatásaként az iszapok kis dózisát a kísérletsorozat végéig folyamatosan 2,5%-kal emeltem (amely évi 75 t/ha iszapfelhasználást jelent szabadföldi körülmények között), míg a nagy dózis esetében a második kísérletben az arányt 5%-kal (150 t/ha/sz.a./év) növeltem, majd a későbbi kísérletek során iszapokat nem juttattam ki, csupán utóhatásukat vizsgáltam. Az első évben tesztnövényként rozst (*Secale cereale* L. cv. Kisvárdai legelő) neveltem. A növényeket kétszer mintáztam meg, először a rozs őszi legeltetését modellezve 40 naposan, majd a betakarításkor 65 naposan. Az inkubáció után (mely műanyag zsákokban szobahőmérsékleten tárolva történt közel 3 hónapig) a kísérlet folytatásaként a talaj–iszap keverékekben az iszapok tömegszázalékos arányát kezelésenként a kis dózis esetén 2,5%-ról 5%-ra, a nagy dózisonál 10%-ról 15%-ra emeltem, majd szudánifű (*Sorghum bicolor* (L.) Moench x *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf. cv. Gardavan) tesztnövényt vettem. A 65 napig tartó

növénynevelést követően, a talaj inkubációja után a keverékekben az iszapok arányát a kis dózis esetén 5%-ról 7,5%-ra emeltem, míg a nagy dózisonál a korábbi 15%-os arányt nem változtattam meg. Ekkor tesztnövényként takarmányrepcét (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera* Metzg. Ap. Sinsk. cv. Emerald) alkalmaztam, melyet 65 napig neveltem. A kísérletsorozat utolsó évében az iszapok kis dózist 10%-ra emeltem, míg a nagy dózis 15%-os arányát megtartottam, majd takarmányborsót (*Pisum sativum* L. (partim) cv. IP 5) vetettem, melyet virágzás előtt 60 nappal takarítottam be. A betakarításkor a tesztnövények gyökerét és hajtását minden esetben megmintáztam. A kísérletek során az iszapok bekeverését követően a növények vetése előtt, valamint a betakarításuk után talajmintákat is vettem. A kezeléseket, illetve az alkalmazott települési szennyvíziszapok tömegszázalékos arányait az 1. táblázat ismerteti.

1. táblázat: A tenyészedényes iszapterheléses kísérletsorozat kezelése  
(Nyíregyháza, 2001-2003)

Kezelések	Szennyvíziszapok aránya (m/m%)			
	1. kísérlet rozs jelzőnövényvel	2. kísérlet szudánifű jelzőnövényvel	3. kísérlet őszi káposztarepce jelzőnövényvel	4. kísérlet takarmányborsó jelzőnövényvel
Kontroll	0	0	0	0
Nyíregyházi sz.i. kis dózis	2,5	5	7,5	10
Nyíregyházi sz.i. nagy dózis	10	15	15	15
Debreceni sz.i. kis dózis	2,5	5	7,5	10
Debreceni sz.i. nagy dózis	10	15	15	15
Miskolci sz.i. kis dózis	2,5	5	7,5	10
Miskolci sz.i. nagy dózis	10	15	15	15

Rövidítés: sz.i. = szennyvíziszap

### 2.3. Elemextrakció, elemanalízis

Az „összes” elem koncentrációjának meghatározását megelőzően a vizsgált talaj- és szennyvíziszap mintákat KOVÁCS et al. (2000) módszerét követve a MSZ 21470-50:1998 szabványban leírtakat is figyelembe véve cc. HNO<sub>3</sub> és cc. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> elegyével roncsoltuk el. A Lakanen-Erviö kivonatot (LAKANEN és ERVIÖ, 1971) a biológiailag potenciálisan „felvehető” elemtartalom becsléséhez az MSZ 21470-50:1998 szabvány előírásainak megfelelően készítettük el. A „kicsérélhető” (potenciálisan kimosódó) nehézfém-tartalom kivonása CaCl<sub>2</sub>-oldattal HOUBA et al. (1986) módszere alapján történt. Háromlépcsős frakcionált fémkivonási módszerrel (szekvens extrakciós vizsgálattal) is megállapítottuk a különbözőképpen kezelt települési szennyvíziszapok jellemző nehézfém-kötésformáit. A szekvens extrakciót

PETRUZZELLI et al. (1994) szerint – különböző erősségű kivonószerekkel történő egymást követő kivonat készítésével és elemzésével – végeztük. A vizsgálat során az iszapok oldható nehézfém-frakcióját desztillált vizes extrakcióval, majd kicserélhető frakcióját  $\text{KNO}_3$ -os kivonással, és végül a szerves komplexben kötött és karbonát formában található frakcióját  $\text{CaCl}_2$ -os EDTA-oldattal végzett kivonással határoztuk meg. A porított növényi anyagot cc.  $\text{HNO}_3$  és cc.  $\text{H}_2\text{O}_2$  (3:1 v/v, 3 M-os  $\text{HNO}_3$  végkoncentráció) elegyével roncsoltuk el KOVÁCS et al. (1996) módszere szerint az „összes” elemtartalom meghatározását megelőzően.

A roncsolatok, valamint az extraktumok elemanalízisét induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrometria (ICP-OES) technika alkalmazásával végeztük el.

#### **2.4. A szennyvíziszapok talajmikrobiológiai hatásainak vizsgálata**

A negyedik kísérletben az alkalmazott szennyvíziszapok talajmikrobiológiai hatásait is tanulmányoztam. E tenyészedényes kísérletben a kezeletlen talajon (kontroll 0%), valamint a nyíregyházi, debreceni és a miskolci szennyvíziszapokat kezelésenként 10, illetve 15% (m/m) -ban tartalmazó talajkultúrákban takarmányborsó jelzőnövényt neveltem. A talajbiológiai mérésekhez három alkalommal vettem talajmintákat; (1) az elővetemény, azaz a takarmányrepce lekerülésekor, (2) a szennyvíziszapok újabb kijuttatását követő második héten a takarmányborsó vetésével egy időben, (3) valamint a takarmányborsó „betakarításakor” 60 napig tartó növénynevelést követően.

A talajmintákból lemezöntéses módszerrel meghatároztuk az összes baktérium és a mikroszkopikus gombák számát (SZEKI, 1979). A baktériumok tenyésztését húsleves-agaron végeztük, míg a mikroszkopikus gombák esetében pepton-glükóz-agar táptalajt használtunk. Az agarlemezekeken leolvasott telepszámokból a hígítás és a talajminták nedvességtartalmának ismeretében a mikroorganizmusok számát 1 gramm száraz talajra vonatkoztattuk.

A foszfatázaktivitást a talaj eredeti pH-ján KRÁMER és ERDEI (1959) szerint a dinátrium-fenil-foszfátból felszabaduló fenol ( $\text{P}_2\text{O}_5$  mg/100g/24h), az ureáz aktivitását Kuprevics és Scserbakova szerint kidolgozott és Kempers által módosított (cit. in FILEP, 1988) módszerrel a karbamidból felszabaduló ammónia ( $\text{NH}_4^+$  mg/100g/24h) mennyiségének spektrofotometriás mérése alapján végeztük. A dehidrogenáz aktivitását MERSI és SCHINNER (1991) szerint a maradék jodo-nitro-tetrazolium-formazán spektrofotometriás mérésével határoztuk meg. Az adatokat az INTF  $\mu\text{g}$ -jában fejeztük ki 1 g száraz talajra és a 2 órás inkubációs időre vonatkoztatva. A cellulázaktivitás mérése MERSI és SCHINNER (1996) által leírt módszerrel történt. A celluláz enzim hatására hidrolizálódó cellulóz végtermékeként keletkező glükózt  $\mu\text{g}$  glükóz egyenérték/g száraz talaj/24 h alakban számoltuk ki.

## 2.5. Statisztikai értékelés

A mérési adatok és kísérleti eredmények feldolgozásához, rendszerezéséhez és a korrelációszámításhoz a Microsoft Excel programot használtam. A tenyészedényes kísérletek eredményeinek statisztikai elemzését SPSS 12.0.1 programmal, varianciaanalízist alkalmazva, a Tukey-féle b-teszt alapján végeztem el.

## 3. AZ ÉRTEKEZÉS FŐBB MEGÁLLAPÍTÁSAI

### 3.1. A kísérleti talaj és az alkalmazott települési szennyvíziszapok nehézfém-tartalma, valamint a nehézfémek jellemző kémiai formái

A tenyészedényes kísérletekben felhasznált talaj alapjellemezői megfelelnek a vonatkozó 50/2001. (IV. 3.) Kormányrendelet kritériumainak és a toxikus elemek koncentrációja (Cd–0,99; Cr–15,6; Cu–15,1; Ni–8,77; Pb–43,6; Zn–71,3 mg/kg sz.a.) sem haladja meg az előírt határértékeket, tehát a talaj vizsgált paraméterei a szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználása szempontjából kedvezők. A kijuttatott települési szennyvíziszapok „összes”, cc. HNO<sub>3</sub>+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> eleggyel kivont fémmennyiségeit a 2. táblázat tartalmazza.

*2. táblázat: A tenyészedényes kísérletekben alkalmazott települési szennyvíziszapok „összes” nehézfém-tartalma (mg/kg sz.a.) (2001), és a szennyvíziszapokban megengedett toxikus elemek határértékei*

Elemek (mg/kg sz.a.)	Nyíregyházi szennyvíziszap*	Debreceni szennyvíziszap*	Miskolci szennyvíziszap*	Határérték**
Cd	2,54	2,42	1,29	10
Cr	29,3	166	14,7	1000
Cu	92,2	319	41,1	1000
Ni	11,8	22,3	3,38	200
Pb	93,1	84,4	25,5	750
Zn	792	1091	222	2500

\* Az adatok 3 ismétlés átlagai.

\*\*A szennyvíziszapokban megengedett mérgező elemek határértékei mezőgazdasági felhasználás esetén (50/2001. (IV. 3.) Kormányrendelet 5. melléklete)

Megállapítottam, hogy az általam tanulmányozott különbözőképpen előkezelt települési szennyvíziszapok viszonylag szennyezetlenek nehézfémekkel, a vizsgált toxikus elemek közül legnagyobb mennyiségben cinket tartalmaznak. A három iszap nehézfém-tartalmát összevetve a debreceni iszap átlagosnál nagyobb króm- és réztartalma is szembetűnő (2. táblázat).



Ezt követően meghatároztam a talaj és a szennyvíziszapok „felvehető”, Lakanen-Erviő módszerrel oldható és „kicserélhető”,  $\text{CaCl}_2$ -dal oldható nehézfém-tartalmát. A kezeletlen talaj különféle kivonatokban mért nehézfém-tartalmát vizsgálva megállapítottam, hogy a Lakanen-Erviő módszerrel oldható elemtartalom Cd-Cu-Pb-Zn-Ni-Cr sorrendben 47,5-42,3-29,6-28,6-18,8-1,73 %-a volt a cc.  $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$  oldható „összes” nehézfém-tartalomnak. A kísérletsorozat kezdetén az iszapok kijuttatása előtt a talaj Cd- és Cu-tartalmának tehát jelentős része a növények által könnyen felvehető formában volt jelen. A vizsgált nehézfémek közül a Cr talajbani megkötődése volt a legkifejezettebb. A talajban mért „kicserélhető” (potenciálisan kimosódó) nehézfém-készletet vizsgálva a Cd, Cu és Ni alig volt kimutatható, illetve a Cr, Pb és Zn a kimutatási határ alatt volt.

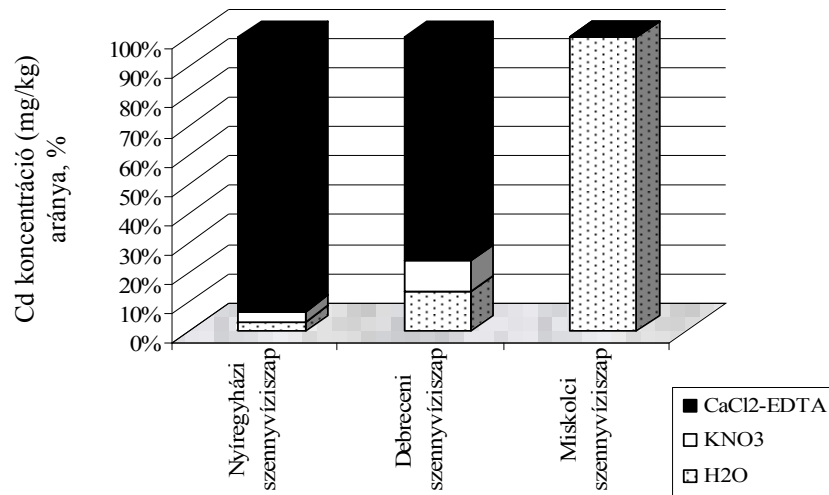
A nyíregyházi szennyvíziszap komposzt esetében a nehézfémek Lakanen-Erviő kivonási módszer szerint meghatározott „felvehető” mennyiségét az iszap „összes” elemtartalmához viszonyítva a következő sorrendet kaptam: Zn (63%) > Cd (58%) > Cu (55%) > Pb (31%) > Ni (23%) > Cr (5%). A debreceni anaerob rothasztott szennyvíziszapnál ez a sorrend az alábbiak szerint alakult: Zn (52%) > Cd (48%) > Ni (33%) > Pb (23%) > Cu (20%) > Cr (2,5%). A miskolci tápanyagkeverék toxikus elemeinek az iszap mérhető összetartalmából a növények számára felvehető mennyiség aránya az alábbi csökkenő sorrendet adta: Cu (47%) > Zn (36%) = Cd (36%) > Ni (31%) > Cr (8%) > Pb (6%). A vizsgált szennyvíziszapok összes Zn-, Cd- és Cu-tartalmának tehát jelentős része a növények által könnyen felvehető formában volt jelen, és ez a hányad a nyíregyházi komposzt esetében volt a legnagyobb.

Az iszapok  $\text{CaCl}_2$ -dal oldható „kicserélhető” nehézfém-tartalmát elemezve az „összes” elemtartalomhoz képest igen kis értékeket mértünk, illetve több esetben a mért érték a kimutatási határ alatt maradt.

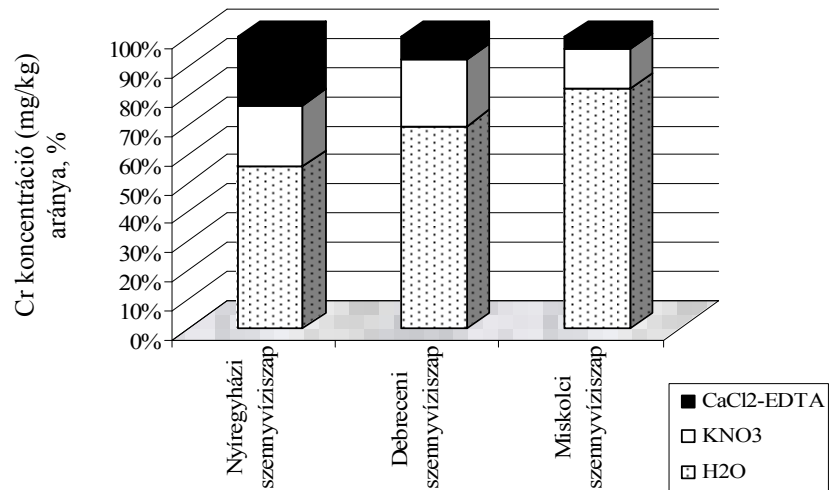
A kísérletekben alkalmazott települési szennyvíziszapokban lévő nehézfémek kötési formáit háromlépcsős frakcionált fémkivonási módszerrel is megvizsgáltam. A szekvens extrakciós vizsgálat relatív százalékban kifejezett eredményeit (az „összes elemtartalmat 100 %-nak tekintve) az 1-6. ábrákon szemléltetem.

A vizsgálat alapján megállapítottam, hogy az alkalmazott szennyvíziszapok a nehézfémeket más-más kémiai kötési formában tartalmazták. A nyíregyházi szennyvíziszap komposztban a Cr az első, a Cd, Cu, Pb és Zn a harmadik kioldási frakcióban volt kiugróan magas, a Ni viszont a három kioldási frakcióban egyenlő részarányban volt kimutatható. A debreceni anaerob rothasztott szennyvíziszapban a Cr, Cu és Ni az első, a Cd, Pb és Zn a harmadik kioldási frakcióban volt nagy koncentrációban mérhető, mely utóbbi a szerves komplex és karbonátos formák jelenlétére utal. A miskolci tápanyagkeverékben a vizsgált

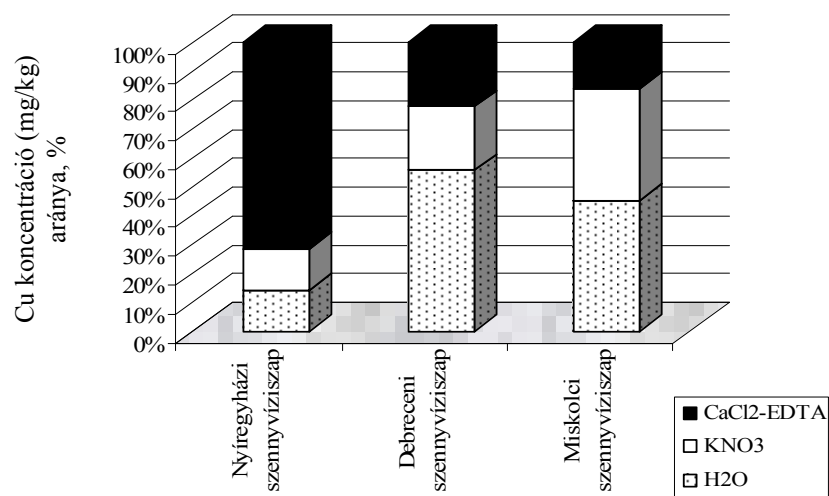
toxikus elemek legnagyobb mennyiségben az első kioldási frakcióban, a desztillált vizes kivonatban voltak jelen.



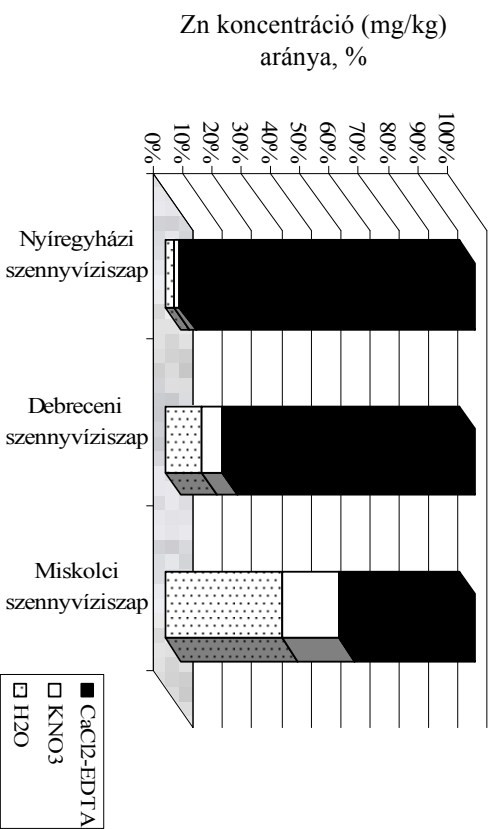
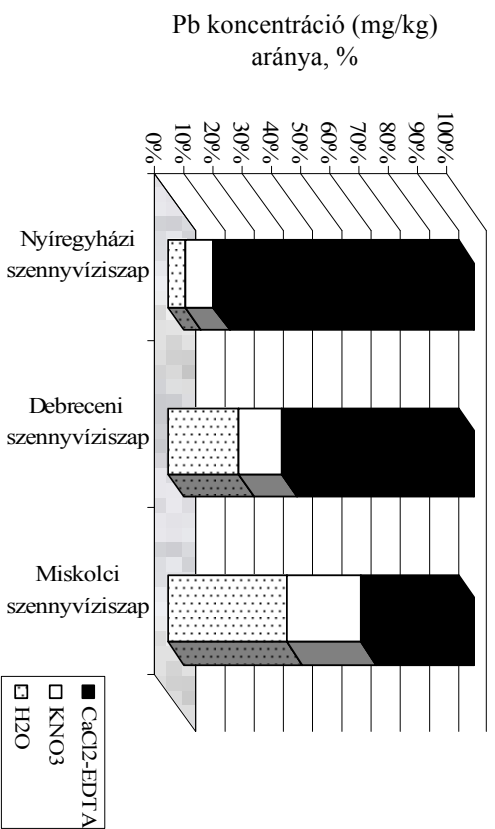
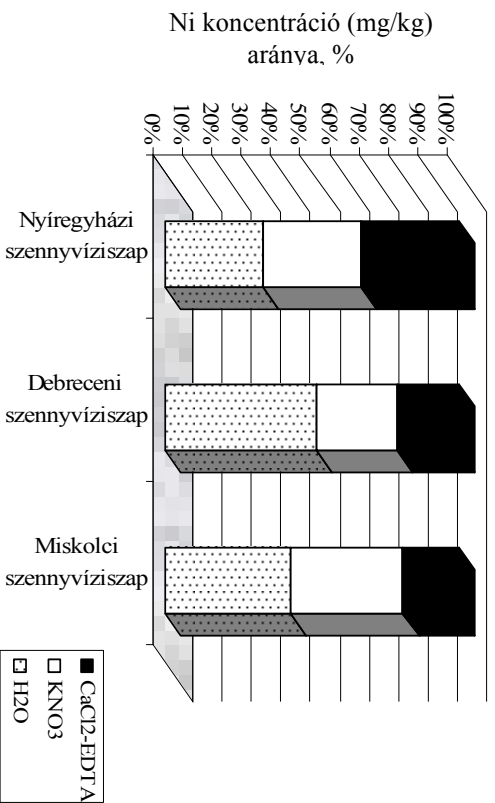
1. ábra: Cd-megoszlás szekvens extrakciós frakciókban



2. ábra: Cr-megoszlás szekvens extrakciós frakciókban



3. ábra: Cu-megoszlás szekvens extrakciós frakciókban



### **3.2. Nehézfémek a talaj–növény rendszerben szennyvíziszap alkalmazások esetén**

#### **3.2.1. A különböző módon előkezelt települési szennyvíziszapok hatása a talaj elemösszetételére és „felvehető” elemtartalmára**

A települési szennyvíziszapoknak a talaj elemösszetételére gyakorolt hatását tenyészedényes kísérletekben vizsgálva megállapítottam, hogy mindhárom iszap valamennyi dózisban elsősorban a talaj Cu- és Zn-tartalmát emelte meg a kontrollhoz képest (3. táblázat). A legnagyobb mértékű nehézfém-felhalmozódást a debreceni iszap nagy dózisai esetén mutattam ki. Az iszap nagyobb Cr-tartalmából adódóan a kezelt talajban többszörös Cr-mennyiségeket is mértem.

Az iszapokkal kezelt talaj nehézfém-tartalmát a szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználása esetén talajokban megengedett mérgező elem mennyiségekkel összevetve megállapítható, hogy a szudánifű és a takarmányrepce jelzőnövényes kísérletekben a Zn-tartalom határérték feletti dúsulása jelentkezett a nyíregyházi és a debreceni iszap nagy dózisai hatására. A takarmányborsó jelzőnövényes kísérletben a debreceni iszap nagy dózisának utóhatásaként a Zn-tartalom szintén a megengedett mennyiség (200 mg/kg sz.a.) fölé növekedett (3. táblázat). A határértéket meghaladó Zn-felhalmozódás a megfelelő dóziskalibrálás fontosságára hívja fel a figyelmet.

A szennyvíziszapokkal kezelt talaj „összes” toxikus elemtartalmának időbeni változását értékelve megállapítható, hogy a nyíregyházi komposztált szennyvíziszap és a miskolci tápanyagkeverék többszöri, kis adagokban kijuttatott kezelése hatására a Pb és Zn nagymértékű dúsulása következett be. A debreceni rothasztott szennyvíziszap kis adagja a Cr, Cu, Pb és Zn felhalmozódását idézte elő a vizsgált időszakban (2001-2003 között). A kísérletsorozat első felében két részletben kijuttatott nagy adagú kezelések mindhárom iszap esetében csupán a Pb koncentrációjának szignifikáns növekedését eredményezték a kísérletsorozat végére. Az eltelt időszak alatt minden bizonnyal a talaj pufferhatása érvényesült, melynek során a nehézfémek a talajkolloidokhoz kötődtek.

Az alkalmazott iszapoknak a talaj „felvehető” elemtartalmára gyakorolt hatását vizsgáló munkám során megállapítottam, hogy a talajmintákban az „összes” és „felvehető” mennyiségek aránya elemenként eltérő volt. A kezelések hatására a kontrollhoz képest az iszapokkal kevert talaj Cr-tartalmának Lakanen-Erviö extrakcióval oldatba vihető hányada alacsony maradt, míg a Cu-, Zn- és Cd „felvehető” hányada megemelkedett a kísérletsorozat kezdetén és végén egyaránt. Mindez előrevetítette ezen elemek jelzőnövényekben való megjelenését.

3. táblázat: A különbözőképpen kezelt települési szennyvíziszapok hatása a talaj Cu- és Zn-tartalmára (tenyészedényes kísérletek, Nyíregyháza, 2001-2003)

Kezelések		Elemek (mg/kg sz.a.)			
		Rozs	Szudánifű	Őszi káposzta-repce	Takarmányborsó
		Cu			
Kontroll	vetés előtt	16,4 <sup>a</sup>	20,5 <sup>a</sup>	19,2 <sup>a</sup>	15,1 <sup>a</sup>
	betakarítás után	17,3 <sup>ab</sup>	18,9 <sup>a</sup>	19,3 <sup>a</sup>	14,0 <sup>a</sup>
Nyíregyházi kis dózis	vetés előtt	17,8 <sup>ab</sup>	24,0 <sup>a</sup>	24,1 <sup>c</sup>	23,7 <sup>cd</sup>
	betakarítás után	19,3 <sup>bc</sup>	22,9 <sup>a</sup>	25,5 <sup>c</sup>	23,8 <sup>cd</sup>
Nyíregyházi nagy dózis	vetés előtt	24,0 <sup>d</sup>	31,9 <sup>b</sup>	31,5 <sup>d</sup>	25,7 <sup>d</sup>
	betakarítás után	26,0 <sup>d</sup>	31,1 <sup>b</sup>	31,1 <sup>d</sup>	27,3 <sup>d</sup>
Debreceni kis dózis	vetés előtt	23,7 <sup>d</sup>	33,7 <sup>b</sup>	39,6 <sup>e</sup>	44,7 <sup>e</sup>
	betakarítás után	23,7 <sup>d</sup>	32,7 <sup>b</sup>	40,3 <sup>e</sup>	42,2 <sup>e</sup>
Debreceni nagy dózis	vetés előtt	44,6 <sup>e</sup>	62,8 <sup>c</sup>	67,3 <sup>f</sup>	59,1 <sup>f</sup>
	betakarítás után	51,8 <sup>f</sup>	61,4 <sup>c</sup>	64,7 <sup>f</sup>	58,3 <sup>f</sup>
Miskolci kis dózis	vetés előtt	17,5 <sup>ab</sup>	21,1 <sup>a</sup>	20,7 <sup>ab</sup>	15,8 <sup>a</sup>
	betakarítás után	18,0 <sup>ab</sup>	21,0 <sup>a</sup>	20,6 <sup>ab</sup>	16,8 <sup>ab</sup>
Miskolci nagy dózis	vetés előtt	20,7 <sup>c</sup>	23,1 <sup>a</sup>	23,5 <sup>bc</sup>	17,7 <sup>ab</sup>
	betakarítás után	21,2 <sup>c</sup>	24,0 <sup>a</sup>	22,6 <sup>bc</sup>	20,0 <sup>bc</sup>
		Zn			
Kontroll	vetés előtt	68,2 <sup>a</sup>	87,7 <sup>a</sup>	90,1 <sup>a</sup>	107 <sup>c</sup>
	betakarítás után	69,3 <sup>a</sup>	82,4 <sup>a</sup>	88,0 <sup>a</sup>	86,1 <sup>ab</sup>
Nyíregyházi kis dózis	vetés előtt	85,8 <sup>b</sup>	129 <sup>c</sup>	148 <sup>d</sup>	173 <sup>f</sup>
	betakarítás után	88,2 <sup>b</sup>	123 <sup>bc</sup>	162 <sup>de</sup>	140 <sup>d</sup>
Nyíregyházi nagy dózis	vetés előtt	143 <sup>c</sup>	202 <sup>d</sup>	222 <sup>f</sup>	189 <sup>h</sup>
	betakarítás után	156 <sup>d</sup>	194 <sup>d</sup>	216 <sup>f</sup>	156 <sup>e</sup>
Debreceni kis dózis	vetés előtt	97,3 <sup>b</sup>	138 <sup>c</sup>	177 <sup>e</sup>	182 <sup>gh</sup>
	betakarítás után	96,3 <sup>b</sup>	135 <sup>c</sup>	175 <sup>e</sup>	160 <sup>ef</sup>
Debreceni nagy dózis	vetés előtt	161 <sup>d</sup>	225 <sup>e</sup>	270 <sup>h</sup>	207 <sup>i</sup>
	betakarítás után	174 <sup>e</sup>	218 <sup>e</sup>	251 <sup>g</sup>	161 <sup>ef</sup>
Miskolci kis dózis	vetés előtt	67,9 <sup>a</sup>	91,3 <sup>a</sup>	95,5 <sup>ab</sup>	100 <sup>bc</sup>
	betakarítás után	65,9 <sup>a</sup>	86,7 <sup>a</sup>	102 <sup>ab</sup>	82,3 <sup>a</sup>
Miskolci nagy dózis	vetés előtt	86,0 <sup>b</sup>	109 <sup>b</sup>	122 <sup>c</sup>	106 <sup>c</sup>
	betakarítás után	87,7 <sup>b</sup>	112 <sup>b</sup>	111 <sup>bc</sup>	88,4 <sup>ab</sup>

Az adatok 4 ismétlés átlagai. Tukey-féle b-teszt. Az oszlopok adatain belül P=0,05 szinten statisztikailag szignifikáns a különbség, amennyiben azok különböző betűindexet kaptak.

kis dózis: rozs=2,5%, szudánifű=5%, takarmányrepce=7,5%, takarmányborsó=10%

nagy dózis: rozs=10%, szudánifű=15%, takarmányrepce=15%, takarmányborsó=15%

### 3.2.2. Települési szennyvíziszapok hatása a jelzőnövények nehézfém-akkumulációjára, valamint a talaj „felvehető” elemtartalma és a növényi nehézfém-felvétel közötti kapcsolat értékelése

A növények nehézfém-tartalmának elemzésével megállapítottam, hogy a toxikus elemek elsősorban a jelzőnövények gyökerében akkumulálódtak, a Cu és Zn kivételével nem helyeződtek át a föld feletti biomasszába. A hajtásokban mért Cu- és Zn-tartalom

takarmányozási szempontból meg sem közelíti a kritikus értéket (Cu esetében az 50, Zn-nél a 300 mg/kg sz.a.-t), a jelzett dúsulás tehát inkább előnyösnek minősíthető (4. táblázat).

4. táblázat: Különbözőképpen kezelt települési szennyvíziszapok hatása a takarmánynövények Cu és Zn akkumulációjára (tenyészedényes kísérletek, Nyíregyháza, 2001-2003)

Kezelések	Elemek (µg/kg sz.a.)				
	Rozs		Szudánifű	Őszi káposztarepce	Takarmányborsó
	40 napos	65 napos			
Cu					
gyökérszet					
Kontroll		20,0 <sup>a</sup>	11,6 <sup>a</sup>	25,9 <sup>a</sup>	27,3 <sup>a</sup>
Nyíregyházi kis dózis		25,2 <sup>abc</sup>	13,8 <sup>ab</sup>	38,0 <sup>a</sup>	35,8 <sup>ab</sup>
Nyíregyházi nagy dózis		30,5 <sup>bc</sup>	24,5 <sup>c</sup>	29,9 <sup>a</sup>	37,7 <sup>ab</sup>
Debreceni kis dózis		33,2 <sup>cd</sup>	18,9 <sup>bc</sup>	38,6 <sup>a</sup>	69,4 <sup>c</sup>
Debreceni nagy dózis		47,2 <sup>e</sup>	19,1 <sup>bc</sup>	35,0 <sup>a</sup>	46,0 <sup>b</sup>
Miskolci kis dózis		22,5 <sup>ab</sup>	13,2 <sup>ab</sup>	35,3 <sup>a</sup>	35,1 <sup>ab</sup>
Miskolci nagy dózis		41,2 <sup>de</sup>	15,2 <sup>ab</sup>	30,7 <sup>a</sup>	30,2 <sup>a</sup>
hajtás					
Kontroll	13,5 <sup>ab</sup>	11,2 <sup>a</sup>	4,26 <sup>a</sup>	3,26 <sup>a</sup>	4,17 <sup>a</sup>
Nyíregyházi kis dózis	13,2 <sup>a</sup>	12,6 <sup>ab</sup>	8,14 <sup>b</sup>	3,73 <sup>ab</sup>	5,25 <sup>abc</sup>
Nyíregyházi nagy dózis	13,3 <sup>a</sup>	13,6 <sup>ab</sup>	8,87 <sup>b</sup>	4,05 <sup>ab</sup>	4,74 <sup>ab</sup>
Debreceni kis dózis	13,3 <sup>a</sup>	12,4 <sup>a</sup>	10,2 <sup>b</sup>	4,99 <sup>b</sup>	6,50 <sup>c</sup>
Debreceni nagy dózis	15,3 <sup>b</sup>	14,9 <sup>bc</sup>	12,6 <sup>b</sup>	6,63 <sup>c</sup>	8,14 <sup>d</sup>
Miskolci kis dózis	14,2 <sup>ab</sup>	11,4 <sup>a</sup>	8,61 <sup>b</sup>	3,32 <sup>a</sup>	5,54 <sup>abc</sup>
Miskolci nagy dózis	14,2 <sup>ab</sup>	15,9 <sup>c</sup>	10,0 <sup>b</sup>	4,34 <sup>ab</sup>	6,21 <sup>bc</sup>
Zn					
gyökérszet					
Kontroll		400 <sup>a</sup>	62,3 <sup>a</sup>	90,5 <sup>a</sup>	153 <sup>ab</sup>
Nyíregyházi kis dózis		620 <sup>a</sup>	80,7 <sup>ab</sup>	156 <sup>a</sup>	193 <sup>b</sup>
Nyíregyházi nagy dózis		540 <sup>a</sup>	113 <sup>b</sup>	153 <sup>a</sup>	156 <sup>ab</sup>
Debreceni kis dózis		550 <sup>a</sup>	89,1 <sup>ab</sup>	134 <sup>a</sup>	220 <sup>b</sup>
Debreceni nagy dózis		451 <sup>a</sup>	114 <sup>b</sup>	122 <sup>a</sup>	202 <sup>b</sup>
Miskolci kis dózis		303 <sup>a</sup>	56,1 <sup>a</sup>	139 <sup>a</sup>	101 <sup>a</sup>
Miskolci nagy dózis		477 <sup>a</sup>	72,0 <sup>ab</sup>	95,4 <sup>a</sup>	108 <sup>a</sup>
hajtás					
Kontroll	80,7 <sup>b</sup>	107 <sup>bc</sup>	40,9 <sup>a</sup>	30,2 <sup>a</sup>	24,0 <sup>a</sup>
Nyíregyházi kis dózis	88,6 <sup>b</sup>	87,8 <sup>abc</sup>	60,1 <sup>ab</sup>	42,4 <sup>ab</sup>	43,2 <sup>c</sup>
Nyíregyházi nagy dózis	88,3 <sup>b</sup>	123 <sup>c</sup>	93,7 <sup>bc</sup>	54,9 <sup>bc</sup>	44,3 <sup>c</sup>
Debreceni kis dózis	85,0 <sup>b</sup>	72,1 <sup>ab</sup>	78,9 <sup>abc</sup>	58,7 <sup>c</sup>	50,6 <sup>c</sup>
Debreceni nagy dózis	85,9 <sup>b</sup>	87,0 <sup>abc</sup>	110 <sup>c</sup>	83,4 <sup>d</sup>	63,8 <sup>d</sup>
Miskolci kis dózis	62,1 <sup>ab</sup>	58,3 <sup>a</sup>	57,4 <sup>ab</sup>	28,0 <sup>a</sup>	33,9 <sup>b</sup>
Miskolci nagy dózis	53,6 <sup>a</sup>	80,2 <sup>ab</sup>	60,7 <sup>ab</sup>	37,9 <sup>a</sup>	43,9 <sup>c</sup>

Az adatok 4 ismétlés átlagai. Tukey-féle b-teszt. Az oszlopok adatain belül P=0,05 szinten statisztikailag szignifikáns a különbség, amennyiben azok különböző betűindexet kaptak.

kis dózis: rozs=2,5%, szudánifű=5%, takarmányrepce=7,5%, takarmányborsó=10%

nagy dózis: rozs=10%, szudánifű=15%, takarmányrepce=15%, takarmányborsó=15%

A debreceni iszap átlagosnál nagyobb Cr-tartalma és a talajban való megjelenése ellenére a teszt növények kevés Cr-ot vettek fel, és a növényen belüli transzlokációjuk is csekély mértékű volt. A kezelt talajon nevelt jelzőnövények elemösszetétele alapján megállapítható, hogy az alkalmazott iszapok – a vizsgált mikroelemeket véve alapul – állati fogyasztásra alkalmas termékeket eredményeztek.

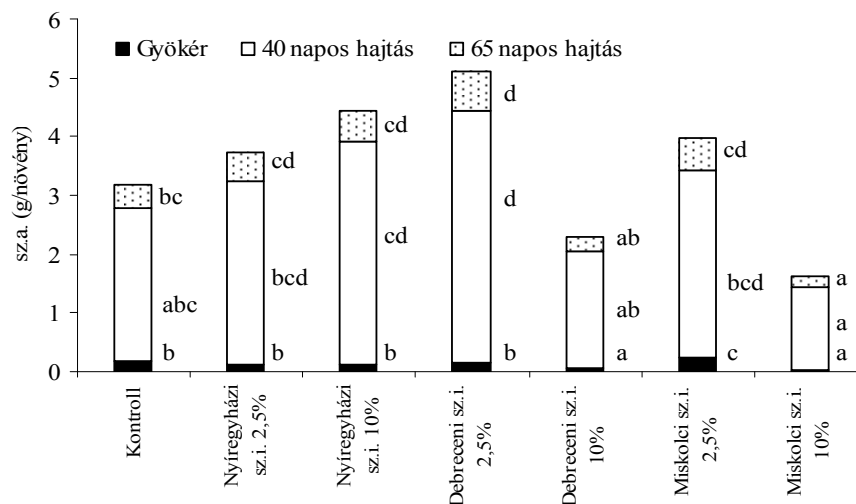
A talaj NH<sub>4</sub>-acetát+EDTA kioldással meghatározott „felvehető” elem mennyisége és a növényi elemfelvétel között nincs egyértelmű összefüggés, elemenként és növényenként változik. Kivételt csupán a Cu képez, amelynél a Pearson-féle korrelációs együtthatók alapján a szennyvíziszapokkal kezelt talaj Lakanen-Erviő extrakcióval oldatba vihető réztartalma és a növényi rézfelvétel között a legtöbb esetben szoros, pozitív korrelációt mutattam ki ( $r_{Cu}=0,84-0,99$ ).

### 3.3. A takarmánynövények szárazanyag-hozama szennyvíziszapokkal kezelt talajokon

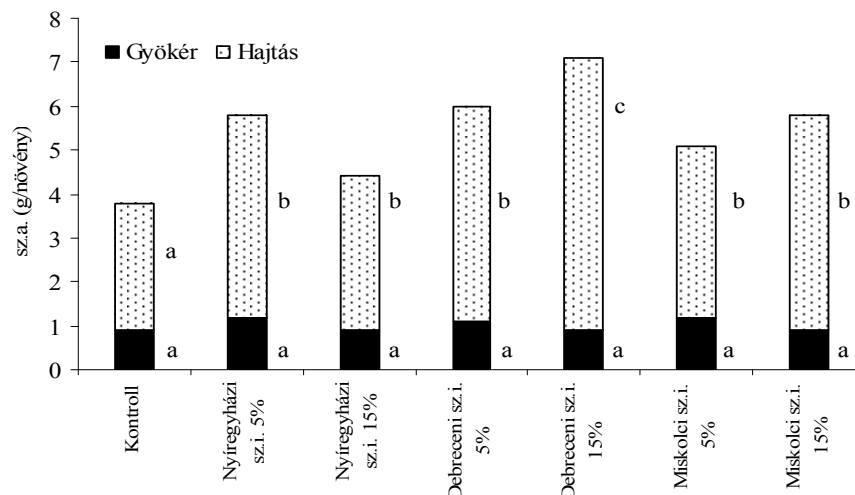
Mindhárom iszapkezelési eljárással előállított szennyvíziszap kis dózisa serkentette a jelzőnövények szárazanyag-hozamát. A fokozatosan, kis adagokban alkalmazott debreceni anaerob rothasztott és víztelenített iszap igen pozitívan hatott a biomassza-termelésre, mely szárazanyag-termelékenység az iszap nagyobb mennyiségű nitrogéntartalmával magyarázható. A nagy adagú debreceni szennyvíziszap viszont a rozs és a takarmányborsó, a nagy adagú miskolci iszap pedig a rozs szárazanyag-előállítására depresszív hatású volt. E negatív hatást feltehetőleg a növényekben mért magas Zn-tartalom okozhatta.

A jelzőnövények különböző szennyvíziszap kezelésekre kialakult szárazanyag-hozamát a 7. ábra mutatja be.

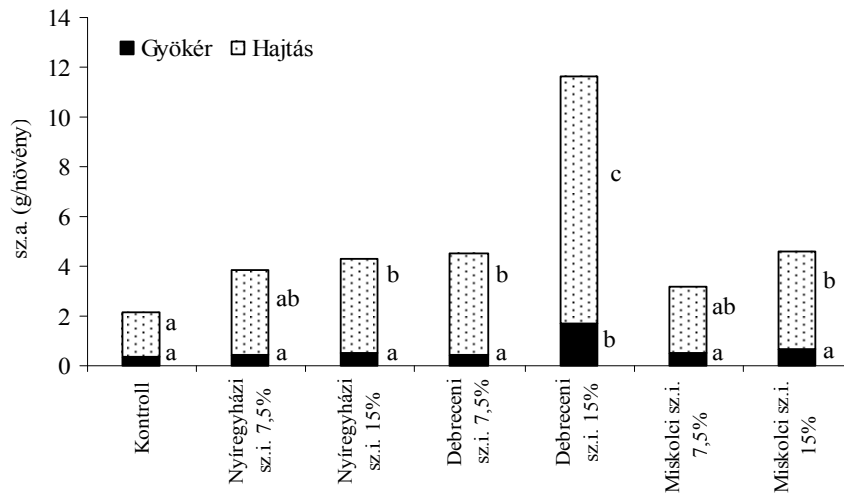
a) rozs



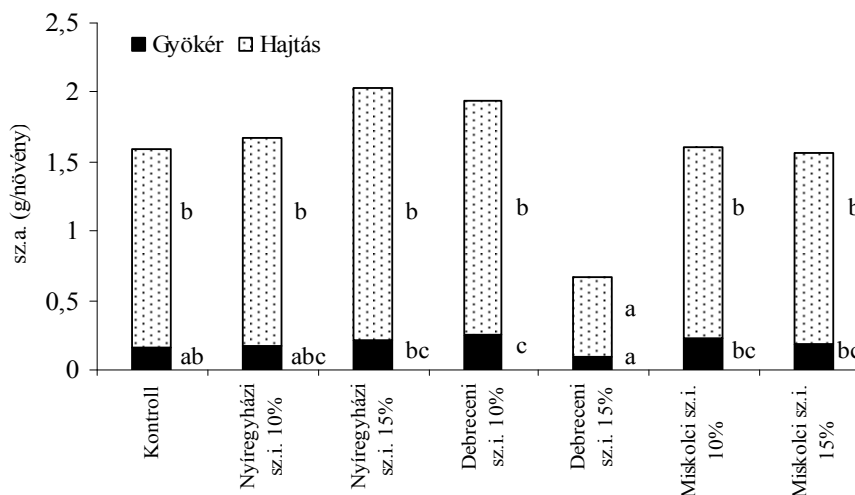
b) szudánifű



c) őszi káposztarepce



d) takarmányborsó



7. ábra: Települési szennyvíziszapok hatása a jelzőnövények szárazanyag-hozamára (tenyészedényes kísérlet, Nyíregyháza, 2001-2003)

Az adatok 4 ismétlés átlagai. Tukey-féle b-teszt. Az oszlopok adatai között az egyes növényi szervek estén  $P=0,05$  szinten statisztikailag szignifikáns a különbség, amennyiben azok különböző betűindexet kaptak. Rövidítések: sz.i. = szennyvíziszap, sz.a. = szárazanyag



### 3.4. A települési szennyvíziszapok talajmikrobiológiai folyamatokra gyakorolt hatása

A takarmányborsó jelzőnövény talajának mikrobiológiai vizsgálata során kimutattam, hogy a talaj szennyvíziszapokkal való kezelése és a talaj-mikroorganizmusok száma és tevékenysége között szoros összefüggés van. Megállapítottam, hogy mindhárom iszap valamennyi mintavételi időpontban a kontrollhoz képest megnövelte az összes baktériumszámot és a mikroszkopikus gombák számát a tesztnövény talajában, illetve szignifikánsan nem csökkentette le azt a nagyobb dózisok esetén sem. A települési szennyvíziszapok talajmikrobiológiai folyamatokra gyakorolt hatását az 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat: Települési szennyvíziszapok hatása a talaj mikrobiológiai aktivitására (tenyészedényes kísérlet, Nyíregyháza, 2003)

Kezelés (iszapmennyiség, m/m%)	Foszfátáz- aktivitás, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g/2h	Ureáz- aktivitás, NH <sub>4</sub> -N mg/100g/24h	Dehidrogenáz- aktivitás, INTF μg/g/2h	Celluláz- aktivitás, glükóz μg/g/24h
<i>(1) Az elővetemény lekerülésekor</i>				
Kontroll (0%)	9,37 <sup>ab</sup>	118 <sup>a</sup>	136 <sup>a</sup>	14,4 <sup>a</sup>
Nyíregyházi sz.i. 7,5%	8,34 <sup>ab</sup>	123 <sup>a</sup>	209 <sup>a</sup>	44,0 <sup>ab</sup>
Nyíregyházi sz.i. 15%	5,20 <sup>a</sup>	130 <sup>a</sup>	230 <sup>ab</sup>	74,9 <sup>ab</sup>
Debreceni sz.i. 7,5%	13,4 <sup>b</sup>	198 <sup>b</sup>	383 <sup>b</sup>	105 <sup>bc</sup>
Debreceni sz.i. 15%	8,67 <sup>ab</sup>	317 <sup>c</sup>	377 <sup>b</sup>	166 <sup>c</sup>
Miskolci sz.i. 7,5%	9,37 <sup>ab</sup>	124 <sup>a</sup>	189 <sup>a</sup>	62,3 <sup>ab</sup>
Miskolci sz.i. 15%	8,15 <sup>ab</sup>	124 <sup>a</sup>	144 <sup>a</sup>	48,7 <sup>ab</sup>
<i>(2) Az iszapok bekeverése után 2 héttel</i>				
Kontroll (0%)	13,05 <sup>a</sup>	107 <sup>a</sup>	92,7 <sup>a</sup>	32,8 <sup>a</sup>
Nyíregyházi sz.i. 10%	18,3 <sup>a</sup>	114 <sup>ab</sup>	174 <sup>b</sup>	36,4 <sup>a</sup>
Nyíregyházi sz.i. 15%	13,9 <sup>a</sup>	118 <sup>ab</sup>	182 <sup>b</sup>	48,9 <sup>a</sup>
Debreceni sz.i. 10%	9,23 <sup>a</sup>	175 <sup>b</sup>	422 <sup>c</sup>	135 <sup>b</sup>
Debreceni sz.i. 15%	12,1 <sup>a</sup>	327 <sup>c</sup>	406 <sup>c</sup>	173 <sup>b</sup>
Miskolci sz.i. 10%	15,6 <sup>a</sup>	128 <sup>ab</sup>	177 <sup>b</sup>	32,9 <sup>a</sup>
Miskolci sz.i. 15%	11,2 <sup>a</sup>	120 <sup>ab</sup>	172 <sup>b</sup>	12,5 <sup>a</sup>
<i>(3) A takarmányborsó betakarításakor</i>				
Kontroll (0%)	3,70 <sup>a</sup>	137 <sup>a</sup>	77,7 <sup>a</sup>	8,25 <sup>a</sup>
Nyíregyházi sz.i. 10%	2,39 <sup>a</sup>	135 <sup>a</sup>	131 <sup>b</sup>	11,6 <sup>a</sup>
Nyíregyházi sz.i. 15%	1,91 <sup>a</sup>	181 <sup>a</sup>	120 <sup>b</sup>	14,9 <sup>a</sup>
Debreceni sz.i. 10%	2,93 <sup>a</sup>	354 <sup>b</sup>	336 <sup>d</sup>	48,9 <sup>b</sup>
Debreceni sz.i. 15%	1,52 <sup>a</sup>	645 <sup>c</sup>	233 <sup>c</sup>	70,2 <sup>c</sup>
Miskolci sz.i. 10%	2,52 <sup>a</sup>	184 <sup>a</sup>	103 <sup>b</sup>	13,3 <sup>a</sup>
Miskolci sz.i. 15%	4,30 <sup>a</sup>	147 <sup>a</sup>	108 <sup>b</sup>	7,43 <sup>a</sup>

Az adatok 4 ismétlés átlagai. Tukey-féle b-teszt. Az oszlopok adatain belül egy-egy mintavételi időpontban a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan (P<0,05) különböznek egymástól. Rövidítés: sz.i.=szennyvíziszap

A szennyvíziszapok alkalmazása következtében megemelkedett az ureáz, a dehidrogenáz és a celluláz enzim aktivitása, míg a foszfatáz aktivitás lényeges változást nem mutatott (5. táblázat). A talajbiológiai vizsgálatok során tapasztalt kedvező hatásokat feltételezésem szerint a szennyvíziszapokkal bekerült, a mikrobák szaporodását és enzimtevékenységét stimuláló anyagoknak lehet tulajdonítani.

A kísérletben alkalmazott különbözőképpen előkezelt települési szennyvíziszapok mikrobaszámra és enzimaktivitásra gyakorolt hatását összehasonlítva, mindhárom esetben egyértelműen pozitív, de egymástól kissé eltérő eredményeket kaptam. A vizsgált iszapok közül a debreceni rothasztott és víztelenített iszap hatása kifejezetten kedvező volt. Ezen iszapkezelés során valószínűleg a szervesanyag kisebb mértékű biodegradációja ment végbe, melynek következtében több mineralizálható szervesanyagot juttattunk ki, fokozva ezáltal az iszapokkal kezelt talajban végbemenő biológiai folyamatokat. A nyíregyházi rothasztás után komposztált iszap, valamint a miskolci granulált, illetve ásványi anyagokkal kevert és érlelt iszap jótékony hatása a debrecenihez képest kisebb mértékű volt és közöttük lényeges különbséget nem találtam.

A szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának alapvető feltétele azok környezetbarát módon végzett kezelése. A nagy tápanyag-tartalmú, a környezetet nem veszélyeztető, könnyen kijuttatható iszap előfeltétele a jó szennyvíz- és iszapkezelési gyakorlat. Eredményeim alapján megállapítható, hogy mindhárom iszapkezelés hozzájárulhat a szennyvíziszapok eredményesebb végső elhelyezéséhez.

#### **4. AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ, ILLETVE ÚJSZERŰ EREDMÉNYEI**

1. Az alkalmazott különböző módon előkezelt települési szennyvíziszapok a vizsgált toxikus elemeket (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) más-más kémiai formában tartalmazzák. Az iszapok cink-, kadmium- és réztartalma döntően a Lakanen-Erviö oldható frakcióban jelenik meg, mely a növények általi könnyű felvehetőségre utal. A háromlépcsős frakcionált fémkivonási vizsgálat eredményei szintén a cink, kadmium és réz, valamint az ólom növényekben való megjelenésére utalnak.
2. A kijuttatott szennyvíziszapok hatására a kontrollhoz képest nőtt a nehézfémek, elsősorban a réz és cink mennyisége a kezelt talajban. A szennyvíziszapok többszöri, kis adagokban kijuttatott mennyiségei nagyobb mértékű nehézfém-felhalmozódást idéztek elő, mint a két részletben kijuttatott nagyobb dózisu kezeléseik.

3. Az iszapokkal kezelt talajban az „összes” és a „felvehető” nehézfém-koncentrációk aránya elemenként eltérő volt. A réz, cink és kadmium mobilitása fokozott, a króm talajbani megkötődése a legkifejezettebb.
4. A nehézfémek eloszlásának jellege a növényi szövetekben fémfüggő, ugyanakkor általánosítható, hogy a nehézfémek elsősorban a gyökerekben jelennek meg, ami a zöldtömeg takarmányozási célú hasznosítása szempontjából kedvező. A föld feletti biomasszában az esszenciális réz és cink dúsulása mérhető, ez azonban a növények takarmányértékét nem veszélyezteti.

## **5. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA**

1. A települési szennyvíziszapok növelik a növények szárazanyag-hozamát, így megfelelő dóziskalibrálás után előnyösen használhatók a takarmánynövények biomassza-termelésének fenntartására és fokozására.
2. A települési szennyvíziszapok szakszerű mezőgazdasági alkalmazásuk esetén pozitív hatást gyakorolhatnak a talajbiológiai életre, amely lényeges a talaj anyagforgalmi dinamikájának javításában, a talaj termékenységének fokozásában.
3. A jelzőnövények szárazanyag-termelése, valamint a talajmikrobiológiai vizsgálatok alapján az anaerob rothasztás hatásos előkezelésnek bizonyult. A talaj toxikuselem-összetételére gyakorolt hatás, valamint a tesztnövények nehézfém-akkumulációjának vizsgálata alapján ugyanakkor az iszap granulálása, illetve ásványi anyagokkal való keverése és érlelése javasolható, mint gyakorlatban alkalmazandó iszapkezelési eljárás.

## **IRODALOMJEGYZÉK**

- AMIR, S., M. HAFIDI, G. MERLINA, J. C. REVEL, 2005. Sequential extraction of heavy metals during composting of sewage sludge. *Chemosphere*. 59. 801-810.
- EPSTEIN, E., 2002. *Land Application of Sewage Sludge and Biosolids*. Lewis Publishers. Boca Raton FL. USA.
- FILEP GY., 1988. Talajvizsgálat. Egyetemi jegyzet. DATE. Debrecen. 105-107.
- GAZDAG I., 2003. Elvárások a víziközmű-ellátás és -szolgáltatás területén az EU-csatlakozási szerződés teljesítése érdekében. *Vízellátás, csatornázás*. Info-Prod Kiadó és Kereskedő Kft., Budapest. (VI.) 6-13.

- HAIDEKKER B., 2002. A szennyvíziszap-felhasználás előnyei és veszélyei. Környezetvédelmi Füzetek. BME OMIKK, Budapest.
- HOUBA, V. J. G., I. NOVOZAMSKY, A. M. HUYBREGTS, J. J. VAN DER LEE, 1986. Comparison of soil extractions by 0.01 M CaCl<sub>2</sub> by EUF and some conventional extraction procedures. *Plant and Soil*. 96. 433-437.
- JUHÁSZ E., 2000. A szennyvíziszap kezelése. In: Környezettechnika. (Szerk.: BARÓTFI I.) Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- KÁDÁR I., 1995. A talaj–növény–állat–ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. Akaprint. KTM, MTA TAKI, Budapest.
- KÁDÁR I., 1999. A tápláléklánc szennyeződése nehézfémekkel. *Agrokémia és Talajtan*. 48. 561-581.
- KOVÁCS, B., Z. GYÖRI, J. PROKISCH, J. LOCH, P. DÁNIEL, 1996. A study of plant sample preparation and inductively coupled plasma emission spectrometry parameters. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 27. 1177-1198.
- KOVÁCS, B., J. PROKISCH, A. BALLA KOVÁCS, A. J. PALENCSÁR, 2000. Studies on soil sample preparation for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 31. 1949-1963.
- KRÁMER, M., ERDEI, G., 1959. Application of the method of phosphatase activity determination in agricultural chemistry. *Soviet Soil Sci*. 9. 1100-1103.
- LAKANEN, E., R. ERVIÖ, 1971. A comparison of eight extractants for determination of plant available micronutrients in soil. *Acta Agronomica Fennica*. 123. 223-232.
- MERSI, W., F. SCHINNER, 1991. An improved and accurate method for determining the dehydrogenase activity of soils with iodinitrotetrazolium-chloride. *Biol. Fertil. Soils*. 11. 216-220.
- MERSI, W., F. SCHINNER, 1996. CM-Cellulose Activity. In: *Methods in Soil Biology*. (Ed.: SCHINNER, F. et al.) 190-193. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- PETRUZZELLI, G., M. OTTAVIANI, L. LUBRANO, E. VESCHETTI, 1994. Characterization of heavy metal mobile species in sewage sludge for agricultural utilization. *Agrochimica*. 38. 277-284.
- SILVEIRA, M. L. A., L. R. F. ALLEONI, L. R. G. GUILHERME, 2003. Biosolids and heavy metals in soils. *Scientia Agricola*, 60. 793-806.
- SIMON L., PROKISCH J., GYÖRI Z., 2000. Szennyvíziszap komposzt hatása a kukorica nehézfém-akkumulációjára. *Agrokémia és Talajtan*. 49. 247-255.
- SIMON L., SZENTE K., 2000. Szennyvíziszap komposzt hatása a kukorica nitrogéntartalmára, néhány élettani jellemzőjére és hozamára. *Agrokémia és Talajtan*. 49. 231-246.
- SOLEROVIRA, P., J. SOLER SOLER, J. SOLER ROVIRA, A. POLO, 1996. Agricultural use of sewage sludge and its regulation. *Fertilizer Research*. Kluwer Academic Publ., Dordrecht. 43. 173-177.
- SZEGI J., 1979. Talajmikrobiológiai vizsgálati módszerek. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- SZLÁVIK I., OLÁH J., SZÖNYI I., 1984. Települési szennyvíziszapok mezőgazdasági elhelyezése és hasznosítása. *VIZDOK. VMGT-148*. Budapest.
- TAMÁS J., 1995. Szennyvíziszapokkal terhelt talajok nehézfém forgalma. *Debreceni Agrártudományi Egyetem Tudományos Közleményei*. Debrecen. 31. 101-112.
- THYLL SZ., 1998. Vízszennyezés, vízminőségvédelem. *Debreceni Agrártudományi Egyetem*. Debrecen. (egyetemi jegyzet).
- VERMES L., 2003. Szakirodalmi áttekintés a szennyvíziszapok elhelyezésével és hasznosításával foglalkozó publikációkról. BKÁE Kertészettudományi Kar Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék, Budapest.
- 50/2001. (IV. 3.) KORM. RENDELET a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól. *Magyar Közlöny*. 39. 2532-2543.
- 25/2002. (II. 27.) KORM. RENDELET a Nemzeti Települési Szennyvíz-elvezetési és -tisztítási Megvalósítási Programról. *Magyar Közlöny*. 27. 1596-1640.
- MSZ-21470-50, 1998. Környezetvédelmi talajvizsgálatok. Az összes és az oldható toxikus elem-, a nehézfém- és a króm(VI)tartalom meghatározása. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.

## PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN

### Magyar nyelvű könyvrészlet (hazai kiadó)

**Uri Zs.**, Simon L., Kovács B., 2003. Szudánifű nehézfém akkumulációjának vizsgálata szennyvíziszapokkal kezelt talajból. In: Simon L., Szilágyi M. (szerk.), 2003. Mikroelemek a táplálékláncban. Bessenyei György Könyvkiadó, Nyíregyháza. 290-300. old. ISBN:963 9385 81 6

### Magyar nyelvű lektorált szócikkek

**Uri Zs.**, Simon L., 2005. Települési szennyvíziszapok hatása a takarmánynövények réz és cink akkumulációjára. *Acta Agronomica Óváriensis* 47. (1): 61-66.

**Uri Zs.**, Lukácsné Veres E., Kátai J., Simon L., 2006. Különböző módon előkezelt települési szennyvíziszapok hatása a talaj mikroorganizmusaira és enzimaktivitására. *Agrokémia és Talajtan*. 54. (3-4): 439-450.

### Idegen nyelvű lektorált konferencia kiadvány (nemzetközi)

**Uri Zs.**, L. Simon, P. Keresztúri, 2003. Accumulation of heavy metals in rye (*Secale cereale* L.) from municipal sewage sludges. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Multidisciplinary Conference, Serie C, Volume XVII, Baia Mare, Romania, May 23-24, 2003. pp. 529-532.

Keresztúri, P., G. Lakatos, **Zs. Uri**, L. Simon, 2003. Evaluation of possibility of phytostabilization of heavy metals by plants. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Multidisciplinary Conference, Serie C, Volume XVII, Baia Mare, Romania, May 23-24, 2003. pp. 243-246.

**Uri Zs.**, L. Simon, B. Kovács, 2003. Heavy metal concentration in rye grown in soil treated with three different municipal sewage sludges from Eastern Hungary. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, Uppsala, Sweden, June 15-19, 2003. pp. 300-301.

Varga, Cs., **Zs. Uri**, 2005. Effect of municipal sewage sludges on CO<sub>2</sub> production of soil. Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Multidisciplinary Conference, Serie C, Volume XIX, Baia Mare, Romania, May 27-28, 2005. pp. 769-774.

### Idegen nyelvű lektorált konferencia kiadvány (hazai kiadó)

**Uri Zs.**, L. Simon, 2003. Heavy metals in municipal sewage sludges from Eastern Hungary. In: Pais, I. (ed.), Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Trace Element Symposium, July 2002, Budapest, Hungary. pp. 334-341. ISBN 963 9256 951

**Uri Zs.**, Z. Győri, L. Simon, 2005. Accumulation of cadmium, chromium, copper, nickel, lead and zinc from sewage sludges in soil and rye. In: Simon, L. (ed.), Proceedings of the International Scientific Conference „Innovation and Utility in the Visegrad Fours”. Volume 1. Environmental Management and Environmental Protection. October 13-15, 2005. Nyíregyháza, Hungary. Continent-Ph. Nyíregyháza. pp. 49-54. ISBN:963 86918 0 8 Ö, ISBN:963 86918 2 4

**Uri, Zs.,** Sz. Thyll, L. Simon, 2005. Impact of municipal sewage sludges on heavy metal accumulation in soil and fodder rape. In: Simon, L. (ed.), Proceedings of the International Scientific Conference „Innovation and Utility in the Visegrad Fours”. Volume 1. Environmental Management and Environmental Protection. October 13-15, 2005. Nyíregyháza, Hungary. Continent-Ph. Nyíregyháza. pp. 55-60. ISBN:963 86918 0 8 Ö, ISBN:963 86918 2 4

**Uri, Zs.,** L. Simon, 2006. Investigation of the accumulation of heavy metals from sewage sludges in fodder pea. In: Szilágyi, M., K. Szentmihályi (eds.), Proceedings of the International Symposium on Trace Elements in the Food Chain. May 25-27, 2006. Budapest, Hungary. pp. 210-214.

### **Magyar nyelvű lektorált konferencia kiadvány (hazai)**

**Uri Zs.,** Varga Cs., 2005. A szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének aktuális kérdései. „Tudásalapú gazdaság és életminőség” a „Magyar Tudomány Napja 2004” alkalmából rendezett Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Konferencia kiadványa, Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei Tudományos Közalapítvány Füzetek 21. Nyíregyháza, 2004. nov. 9., p. 466-469.

### **Magyar nyelvű nem lektorált konferencia kiadvány (hazai)**

Simon L., **Uri Zs.** 1999. Talajtisztítás növényekkel. „Regionalitás és tudományos minőség”, a „Magyar Tudomány Napja 1998” alkalmából rendezett Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Konferencia előadás-összefoglalói, Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei Tudományos Közalapítvány Füzetek 11. Nyíregyháza, 1998. nov. 5. p. 107.

Simon L., **Uri Zs.,** 2000. Nyíregyházi települési szennyvíziszap komposzt hatása a kukorica tesztnövényre. „Életesélyek az ezredfordulón”, a „Magyar Tudomány Napja 1999” alkalmából rendezett Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Konferencia előadás-összefoglalói, Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei Tudományos Közalapítvány Füzetek 13. Nyíregyháza, 1999. nov. 3. p. 139.

**Uri Zs.,** 2000. A szennyvíz- és szennyvíziszap kezelés, illetve elhelyezés lehetőségei Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében. „A vidékfejlesztés szellemi erőforrásainak hasznosítása”, a „Magyar Tudomány Napja 2000” alkalmából rendezett Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Konferencia előadás-összefoglalói, Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei Tudományos Közalapítvány Füzetek 14. Nyíregyháza, 2000. nov. 7. p. 219.

**Uri Zs.,** 2001. Szennyvíziszap elhelyezés és hasznosítás lehetőségei Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében. MTA-AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás Nr.25. Előadások tartalmi összefoglalói, Gödöllő, 2001. jan. 23-24. p. 45.

**Uri Zs.,** Simon L., 2001. Települési szennyvíziszapok nehézfém szennyezettségének vizsgálata szekvens extrakcióval. „A nyelv szerepe Európa kultúrájában”, a „Magyar Tudomány Napja 2001” alkalmából rendezett Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Konferencia előadás-összefoglalói, Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei Tudományos Közalapítvány Füzetek 15. Nyíregyháza, 2001. okt. 29. p. 205-206.

**Uri Zs.,** Simon L., 2002. Különbözőképpen kezelt szennyvíziszapok nehézfém szennyezettségének vizsgálata. Heavy metals in fractions of different municipal sewage sludges. „JUTEKO 2002” „Tessedik Sámuel Jubileumi Mezőgazdasági Víz- és Környezetgazdálkodási Tudományos Napok” előadás-összefoglalói, Szarvas, 2002. aug. 29-30. p. 40-42.

**Uri Zs.**, Simon L., 2002. Települési szennyvíziszap kezelések hatása a rozs (*Secale cereale* L.) nehézfém akkumulációjára. „Régiók szerepe, versenyképessége az Európai Unióban” a „Magyar Tudomány Napja 2002” alkalmából rendezett Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Konferencia előadás-összefoglalói, Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei Tudományos Közalapítvány Füzetek 18. Nyíregyháza, 2002. nov. 11. p. 208-209.