

# A NEHÉZFÉMTARTALOM HATÁSA A LAKOSSÁGI SZENNYVÍZISZAPOK MEZŐGAZDASÁGI HASZNOSÍTHATÓSÁGÁRA



**KIVONAT** Összetételükből adódóan a települési szennyvíziszapok a mezőgazdaság számára jól hasznosítható segédanyagot jelentenek. Munkánk célja volt az iszapban koncentrálódó veszélyeselem-tartalom hatásának ellenőrzése a szennyvíziszap mezőgazdasági hasznosításának lehetőségeire; a víztelenített szennyvíziszap elemtartalmának részletes meghatározásával, annak az érvényes jogszabályokban rögzített határértékekkel történő összevetésével, a talaj jellemző háttérszennyezettségének ismeretében, a szennyvíziszap jelenlegi mezőgazdasági hasznosításának tapasztalatait figyelembe véve. Megállapítottuk, hogy a szennyvíziszap napjainkra jellemző veszélyeselem-tartalma nem korlátozza a szennyvíziszap mezőgazdasági hasznosítását továbbá azt, hogy a szennyvíziszap talajon történő elhelyezése a talajban nehézfém felhalmozódást nem okoz.

**KULCSSZAVAK** szennyvíziszap, nehézfémek, mezőgazdaság, szennyvíziszap-iszaphasznosítás

GULYÁS GÁBOR<sup>1</sup> [gulyas.gabor@drv.hu](mailto:gulyas.gabor@drv.hu), FILEP ATTILA<sup>1</sup> [filep.attila@drv.hu](mailto:filep.attila@drv.hu), KISS GERGELY<sup>1</sup> [kiss.gergely@drv.hu](mailto:kiss.gergely@drv.hu), RÁDI JÓZSEF<sup>2</sup> [radijozsef@gmail.com](mailto:radijozsef@gmail.com), DR. DOMOKOS ENDRE<sup>3</sup> [domokose@uni-pannon.hu](mailto:domokose@uni-pannon.hu), DR. KÁRPÁTI ÁRPÁD<sup>3</sup> [karpattia@almos.uni-pannon.hu](mailto:karpattia@almos.uni-pannon.hu)

<sup>1</sup>Dunántúli Regionális Vízmű Zrt., <sup>2</sup>Elgoscar-2000 Kft.,

<sup>3</sup>Pannon Egyetem, Környezetmérnök Intézet

## Bevezetés

A települési szennyvizek tisztításának mellékterméke a nagy mennyiségben keletkező szennyvíziszap, melynek mennyisége világszerte növekvő tendenciát mutat (Yang et al., 2018a). Ártalmatlanítására és hasznosítására számos lehetőség áll az üzemeltetők rendelkezésére, de az elhelyezés lehetőségeit a lokális és regionális adottságok korlátozzák. A szóba jöhető alternatívákat alapvetően befolyásolja az adott terület infrastruktúrája, az ipar és a mezőgazdaság fejlettsége, a rendelkezésre álló mezőgazdasági és egyéb módon hasznosított területek kiterjedése, a hulladékkezelési szokások és a környezetvédelmi szabályozás. A megfelelő stratégia kiválasztásánál mindenképp figyelembe kell venni a gazdasági és környezetvédelmi szempontokat is.

A mezőgazdaság hazánkban csak kismértékben alkalmazza a talajok termőképességének javítására a szennyvíziszapot, amit sok esetben annak fertőzőképességével, illetve nehézfém-tartalma miatt kialakuló fitotoxicitásával magyaráznak. Napjainkban a szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználása inkább csak a környezeti rekultiváció és tájrendezés területein gyakorlat, habár számos megfigyelés bizonyította a szennyvíziszap nagy hatékonyságát a talajerő pótlásánál (Camargo et al., 2013; Santos et al., 2014). Miközben a fogyasztásra vagy állati takarmányozásra szánt növények termesztésénél a szennyvíziszap-felhasználás elhanyagolható, többször alkalmazzák az szennyvíziszapot erdőtelepítések, illetve művelés alól kivett vagy energianövények termesztésére használatos földek tápanyagtartalmának hosszú távú növelése érdekében.

2013-ban Magyarországon a szennyvíziszapok 37,8%-át hasznosította a mezőgazdaság. Az Európai Unió tagállamaiban a mezőgazdasági hasznosítás aránya átlagosan körülbelül 40%, de Belgiumban, Dániában, Spanyolországban, Franciaországban és Nagy-Britanniában 50% feletti

(Yang et al., 2018b). Kínában a szennyvíziszap 45%-a kerül mezőgazdasági felhasználásra (Bai et al., 2018).

Összetételükből adódóan a települési szennyvíziszapok a mezőgazdaság számára jól hasznosítható segédanyagot jelentenek. A termőföldekre kijuttatva fontos makro- és mikro-tápanyagokat biztosítanak a növények számára, növelik a talaj szervesanyag-tartalmát és adszorpciós kapacitását, javíthatják annak fizikai tulajdonságait, továbbá a talaj vízgazdálkodását is előnyösen befolyásolják (Lajaver et al., 2019).

Mivel azonban a hagyományos eleveniszapos technológiák alkalmazása során a szennyvízzel érkező komponensek meghatározó része a szennyvíziszapba kerül, így abban a szerves anyagokon és a tápanyagon kívül megtalálhatók a mezőgazdasági hasznosításnál kifejezetten hátrányos komponensek (szerves és szervesetlen mikroszennyezők, gyógyszer-maradványok és nehézfémek) és patogén mikroorganizmusok is (Carletti et al., 2008; Filho et al., 2015; Singh et al., 2008).

Ezek egy része mindössze a talaj minőségét befolyásolja kedvezőtlenül, míg más összetevők bizonyos koncentráció felett a talaj-ökoszisztémára és a természetű növények fejlődésére is kifejezetten káros hatással lehetnek. A szennyvíziszapok talajhasználatát korlátozó komponensek többek között a nehézfémek is, melyek jelentős negatív hatással lehetnek a talaj termékenységére, a növények minőségére, továbbá a táplálék-láncba kerülve súlyos veszélyt jelenthetnek az emberi egészségre (Kchaou et al., 2018a). Bár a nehézfémek egy része az élőlények számára nélkülözhetetlen nyomelem, túlzott expozíciójuk rendkívül káros következményekkel (idegrendszeri és légzőszervi károsodások, tüdőgyulladás, rák) járhat. A nehézfém-szennyezéssel kapcsolatos fokozott aggodalmak alapja, hogy a nehézfémek rendkívül stabilak, biológiailag nem bonthatók, így a környezetbe kerülve hosszú távon is kiemelt kockázatot jelentenek (Li et al.,

2016). A szennyvíziszapban koncentrálódó nehézfémek emiatt a táplálékláncon keresztül veszélyeztetik az embert, az állatokat és a növényeket (Kim et al., 2012; Hariri et al., 2015). A környezetben és az élő szervezetben könnyen felhalmozódnak, ezáltal tartós veszélyeztető és romboló hatások van (Acharya et al., 2018; Joseph et al., 2015; Li et al., 2016; Tariq et al., 2018). Ebből adódóan a nehézfémek jelenléte korlátozhatja a hagyományos szennyvíztisztító technológiákban keletkező szennyvíziszapok elhelyezését és hasznosítását.

Napjainkban a szennyvíziszap ártalmatlanítására annak közismerten magas szervesanyag- és tápanyagtartalma miatt a legmegfelelőbb lehetőségként a mezőgazdaságban és az erdőgazdálkodásban történő felhasználást tekintik (Mohamed et al., 2018); de ehhez kapcsolódóan a benne található nehézfémek immobilizálását szükséges folyamatnak tartják (Wu et al., 2018).

A mezőgazdasági talajok nehézfém-szennyezettsége az egész világot érintő kérdés (Bigalke et al., 2017). A földrajzi, az éghajlati és a társadalmi-gazdasági tényezők, valamint az ipari és a mezőgazdasági termelés közötti különbségek révén az egyes régiók területeinek nehézfém-szennyezettségében jelentős különbségek vannak. Bizonyított, hogy a talajba kerülő nehézfémek felhalmozódhatnak, és hosszú távon is a talajban maradhatnak, ugyanakkor a talaj nehézfém-tartalma soha nem állandó. A talajban lévő nehézfémek mennyiségét csökkenti a biomassza nehézfém-felvétele, a talajvízzel történő kimosódás, illetve az egyéb lefolyások kialakulása (Salman et al., 2017). A mezőgazdasági talajok nehézfém-szennyezettsége egyértelműen a mezőgazdasági vegyszerfelhasználásra és a légköri lerakódásra vezethető vissza (Shi et al., 2018). Koupaie és Eskicioğlu (2015) és Yagmur és társai (2017) szerint kimutatható módon csak a nagy dózisu és ismételt szennyvíziszap-kihelyezés növeli a talaj és a növényi szövetek nehézfém-koncentrációját.

Vizsgálataink célja a települési szennyvíziszapok nehézfém-tartalmának behatárolása, illetve annak meghatározása, hogy az azokban koncentrálódó nehézfém-tartalom mennyire korlátozza a mezőgazdasági hasznosításukat. Utóbbi vizsgálathoz saját mérési eredményeinken túl a mezőgazdasági talajok szakirodalomban fellelt és szakemberek által megadott nehézfém-háttérszennyezettségét használtuk fel. A mezőgazdasági hasznosíthatóság értékelését a hazai jogszabályi határértékeket és az Európai Unió által előírt megengedhető koncentrációkat felhasználva végeztük.

## Anyag és módszer

A vizsgálathoz felhasznált iszapminták egy hazai kommunális szennyvíztisztító telepről származtak.

A szennyvíztisztító telepen 31 alkalommal került sor a víztelenített szennyvíziszap mintavételére. A szennyvíztisztító telep egy kiemelt üdülőkörzet szennyvizét tisztítja, a szennyvízelvezetéssel érintett

10 településen meghatározó ipari tevékenység nem történik.

Az alkalmazott szennyvíztisztítási technológia hagyományos eleveniszapos rendszer, az érkező szennyvíz mechanikai és biológiai tisztításával és a keletkező főlősiszap gépi víztelenítésével.

A vizsgált szennyvíztisztító telepen keletkező, 20-25% szárazanyag-tartalmú szennyvíziszapot egy közeli komposztálótelepre szállítják, ahonnan további kezelést követően rekultivációs és mezőgazdasági célokra hasznosítják.

Az iszapmintákat műanyag tárolóedényben szállítottuk a mérés helyszínére, és a vizsgálatok elvégzéséig +4 °C-on tároltuk. A vizsgálatokat a minták nedvességtartalmának meghatározásával kezdtük.

A minták feltárását királyvizet oldatban történő forralással végeztük, és a feltárt minták nehézfém-tartalma ICP-AES módszerrel került meghatározásra. A kiszáritott és porított mintákból minden esetben 3 db párhuzamos bemérést végeztünk.

## Tárgyalás – Szennyvíziszap nehézfém-tartalmának meghatározása

A hagyományos eleveniszapos szennyvíztisztító technológiáknál a nyers szennyvíz nehézfém-tartalmának egy része a szennyvíziszapban akkumulálódik. A szennyvíziszapokban gyakorlatilag minden, szennyvízbe bekerült fém megjelenik. Mivel a szennyvíziszap összetételét alapvetően befolyásolja a nyers szennyvíz jellege, a települési szennyvíziszapok nehézfém-tartalma attól is függ, hogy az adott térségre milyen ipari szennyvízkibocsátások jellemzőek, illetve milyen egyéb forrásokból (pl. közlekedés, háztartások) kerülnek fémek a szennyvízbe.

A szennyvíziszapok nehézfém-tartalma a talajban maradandó veszélyforrást jelenthet, ezért a fejlett országokban szigorúan szabályozzák a mezőgazdasági termelésben felhasználható szennyvizek és iszapok megengedhető toxikus-tartalmát, maximálják a nehézfémek évente kijuttatható mennyiségét, illetve a talajban a szennyvíziszap-kijuttatás után kialakuló megengedhető nehézfém-tartalmakat.

A mezőgazdasági hasznosításra szánt szennyvíziszapok nehézfém-tartalmát a talaj, a növények, az állatok és végső soron az ember egészségének védelme érdekében Európában először 1986-ban szabályozták a 86/278/EEC-direktívával („szennyvíziszap irányelv”), amely irányelv ma is érvényben van (ECD, 1986).

Elemek	Mért koncentráció			Szennyvíziszap-határérték <sup>1</sup>	Szennyvíziszap-határérték <sup>2</sup>	Szennyvíziszapkomposzt-határérték <sup>2</sup>
	min.	max.	átlag			
	<i>mg/kg száraz anyag</i>					
Ag	<0,2	4,01	0,7	-	-	-
Al	2 440	4 530	3 314	-	-	-
As	4,55	12,3	8,14	-	75	25
B	24,7	46,2	37,2	-	-	-
Ba	71	144	109,1	-	-	-
Cd	0,21	0,86	0,63	20–40	10	5
Co	2,4	3,83	3,14	-	50	50
Cr	21,9	33	27,3	-	1 000	350
Cu	161	417	265	1 000–1 750	1 000	750
Hg	<0,1	0,47	0,28	16–25	10	5
Mo	5,33	13,1	7,76	-	20	10
Ni	18,5	46,8	31,87	300–400	200	100
Pb	15,6	24,4	19,9	-	750	400
Sb	<1,0	3,74	1,3	-	-	-
Se	1,55	10,1	4,36	-	100	50
Sn	11,1	29,4	21,3	-	-	-
Zn	701	1 223	966	2 500–4 000	2 500	2 000

<sup>1</sup>86/278/EEC-direktíva alapján

<sup>2</sup>50/2001. (IV. 3.) Kormányrendelet alapján

1. táblázat: A víztelenített szennyvíziszap elem-tartalma az annak mezőgazdasági kihelyezésére vonatkozó jelenlegi határértékekkel összehasonlítva

Hazánkban a mezőgazdasági felhasználásra szánt szennyvíziszapok és szennyvíziszapkomposztok megengedhető nehézfém-tartalmát a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és ke-

zelésének szabályairól szóló 50/2001. (IV. 3.) Kormányrendelet szabályozza. A hivatkozott kormányrendeletben meghatározott határértékek valamennyi esetben megegyeznek az 86/278/EEC-direktívában előírányzott értékekkel, vagy szigorúbbak annál.

Az iszap mezőgazdasági hasznosíthatóságának vizsgálata érdekében a víztelenített szennyvíziszapminták meghatározott nehézfém tartalmát összevetettük a szennyvíziszap mérgezőanyag-koncentrációit korlátozó jelenlegi jogi szabályozással (1. táblázat).

Az 1. táblázat mutatja, hogy a mért koncentrációk gyakran legalább egy nagyságrenddel alatta maradnak a határértékeknek, miközben a legtöbb esetben a szennyvíziszapkompoztra érvényes határértéknek is csak töredékét képviselik. A szennyvíziszapkompozstokban megengedett alacsonyabb koncentráció a komposztálás során az iszaphoz kevert segédanyagok „hígító hatásával” magyarázható. Amennyiben a komposztálást megelőzően a szennyvíziszap rothasztásra kerül, ez a hígító hatás már nem jelentkezik kellőképpen, hiszen a rothasztás során az iszap szervesanyag-tartalmának csökkenésén keresztül a szervesanyag komponensek, így többek között a nehézfémek is feldúsulnak a rothasztott iszapban. Bizonyos mértékű dúsulás a komposztokra is jellemző, hiszen a folyamat során az iszap tömege a szerves anyagok bomlása miatt csökken, viszont az abban található nehézfém-tömeg nem változik.

A nehézfémek dúsulási arányának érzékeltetésére példa Cai és társai (2007) megfigyelései. Ők azt tapasztalták, a nehézfémek koncentrációja a komposztban a kadmium esetében 12–60%-kal, a réznél 8–17%-kal, az ólomot tekintve 15–43%-kal, míg a cinket figyelve 14–44%-kal haladta meg a komposzt alapanyagát jelentő szennyvíziszapban mért mennyiségeket.

Érdekes, hogy míg a szennyvízzel történő öntözést az öntözésre szánt szennyvíz alumínium-, bór- és báriumkoncentrációja korlátozhatja, addig ugyanezen komponensek szennyvíziszapban és szennyvíziszapkomposztban megengedhető aránya nem szabályozott. Különösen érdekes ez abból a szempontból is, hogy az alumínium egészségkárosító hatása régóta ismert. Az iszapban történő előfordulásának szabályozatlansága következhet a szennyvíziszap-kezelésben történő gyakori alkalmazásából, ami viszont azért is vezethet ellentmondáshoz, mert felhasználása nemcsak szennyvíziszapok, de szennyvizek előtisztításánál is gyakorlat. Ennek folytán a kevésbé optimalizált technológiák elfolyó vízében is nagyobb arányban lehet jelen.

Az alumínium megengedhető koncentrációja egyébként sem a közcatornába engedhető szennyvizek esetében, sem az élővizekbe bocsátható tisztított szennyvizek esetében nem korlátozott, bár a vízvédelmi hatóság az egyes kibocsátásokra egyedi határértéket (2–6 mg/l) állapíthat meg.

A bárium pozitív élettani hatásai nem ismertek, vegyületei mérgezők, illetve nagyobb mennyiségben ugyan, de a bór is toxikus hatással bír. A bór koncentrációja az alumíniumhoz hasonlóan csak az öntözésre szánt szennyvízben szabályozott, viszont báriumtartalom szempontjából a 91/271/EGK-irányelv alapján készült, Magyarországon jelenleg hatályban lévő 28/2004. (XII. 25.) KvVM-rendelet alapján mind a közcatornába bocsátható, mind az élővízbe vezetett szennyvizek korlátozva vannak (0,3–0,5 mg/l).

A vizsgált fémek közül az ón, az ezüst és az antimon mennyisége sem korlátozott a szennyvíziszapokban mezőgazdasági felhasználás esetén.

Az iszapba kerülő nehézfémek mennyisége egyértelműen függ a befolyó szennyvíz nehézfém tartalmától, emiatt a szennyvízzel történő fémkibocsátás csökkenő tendenciája a szennyvíziszapban található legtöbb nehézfém (pl. kadmium, króm, réz, higany, ólom) esetében is megfigyelhető. Ezzel is magyarázható, hogy a kadmium és a higany jelenléte az iszapban ma már rendszerint csekély, miközben a cink és az alumínium ma is számottevő mennyiségben jelenik meg benne.

### Szennyvíziszap nehézfém tartalmának hatása

Fang és társai (2017) szerint a szennyvíziszap mezőgazdasági hasznosításához kapcsolódóan a kijuttatott nehézfémek akár nem kívánt mértékben is felhalmozódhatnak a talajban. A szennyvíziszap, illetve a szennyvíziszapkomposzt mezőgazdasági területekre történő kijuttatása a talaj nehézfém tartalmát kezdetben egyértelműen növeli, ami kedvezőtlen lehet a növényzetre és annak fogyasztóira, tehát áttételesen vagy közvetlenül magára az emberre is. A 2. táblázatban a szennyvíziszap által meghatározott nehézfém tartalmát a természetes és szennyezett mezőgazdasági talajok jellemző összetételével hasonlítjuk össze.

Látható, hogy a szennyvíziszap réz-, cink- és higanykoncentrációja

Elemek	Mért koncentráció			Szennyvíziszap-határérték <sup>1</sup>	Szennyvíziszap-határérték <sup>2</sup>	Szennyvíziszapkomposzt-határérték <sup>2</sup>
	min.	max.	átlag			
	<i>mg/kg száraz anyag</i>			<i>mg/kg száraz anyag</i>		
Ag	<0,2	4,01	0,7	-	-	-
Al	2 440	4 530	3 314	-	-	-
As	4,55	12,3	8,14	-	75	25
B	24,7	46,2	37,2	-	-	-
Ba	71	144	109,1	-	-	-
Cd	0,21	0,86	0,63	20–40	10	5
Co	2,4	3,83	3,14	-	50	50
Cr	21,9	33	27,3	-	1 000	350
Cu	161	417	265	1 000–1 750	1 000	750
Hg	<0,1	0,47	0,28	16–25	10	5
Mo	5,33	13,1	7,76	-	20	10
Ni	18,5	46,8	31,87	300–400	200	100
Pb	15,6	24,4	19,9	-	750	400
Sb	<1,0	3,74	1,3	-	-	-
Se	1,55	10,1	4,36	-	100	50
Sn	11,1	29,4	21,3	-	-	-
Zn	701	1 223	966	2 500–4 000	2 500	2 000

<sup>1</sup>86/278/EEC-direktíva alapján

<sup>2</sup>50/2001. (IV. 3.) Kormányrendelet alapján

2. táblázat: A víztelenített szennyvíziszap elem tartalma a természetes és szennyezett mezőgazdasági talajok jellemző összetételével összehasonlítva

megaladja ugyanezen elemeknek a természetes állapotban lévő talajokra jellemző arányát. A víztelenített szennyvíziszap higany tartalma a természetes előforduláshoz képest nem meglepő, hiszen a higany a környezetben természetes körülmények között szinte alig lehet jelen, amit a táblázatban feltüntetett koncentráció tartomány is jelez. A réz és a cink a szennyvíziszapban legnagyobb mennyiségben előforduló fémszennyezők. A szennyvíziszapra jellemző koncentrációjuk meghaladja a jelenlegi jogi szabályozás szerint a talajokban maximálisan megengedhető koncentrációjukat. A réz és a cink talajban történő feldúsulása a talajok mezőgazdasági hasznosítására vezethető vissza, hiszen lényeges mikroelemek a növények számára, így mesterséges pótlásuk a mezőgazdaságban népszerű gyakorlat. A talajba került cink egyébként az egyik legkönnyebben felvehető nehézfém, egyben esszenciális mikroelem a növények számára. Koncentrációja a szennyvíziszapokban jelentős mértékben feldúsulhat,



és mezőgazdasági hasznosítás esetén a talaj közvetítésével a természetett növényekbe, illetve a táplálékláncba kerül. A cink fontos enzimek alapeleme, emiatt a növényi növekedéshez elengedhetetlenül szükséges. A szennyvíziszapok réztartalma szintén meghatározó lehet, de a szennyvíziszapokkal kezelt talajokból a növényekbe viszonylag kevés réz kerül be, amit egyébként a növénytermesztés helyett inkább az állattenyésztés során alkalmaznak.

A szennyvíziszappal javított talajokon a növények az igazán veszélyes nehézfémekből (pl. króm, ólom, kadmium) viszonylag kis mennyiséget vesznek fel, emiatt arányukat tekintve ezek az elemek a talajban sokkal inkább feldúsulhatnak (legtöbbször a talaj felső részében), amit a 6. táblázat adatai is mutatnak. A krómhoz és a nikkelhez hasonlóan a talaj kadmiumtartalmát elméletileg növelheti a kihelyezett szennyvíziszap is, de annak fő forrása sokkal inkább a foszfátműtrágyák alkalmazása (Thévenot et al., 2007).

A 91/676/EGK-irányelv alapján készült 59/2008. (IV. 29.) FVM-rendelet szerint az évente mezőgazdasági területre szerves trágyával kijuttatott nitrogén hatóanyag mennyisége nem haladhatja meg a 170 kg/ha értéket, beleértve a legeltetés során az állatok által elhullajtott trágyát, továbbá a szennyvizekkel, szennyvíziszapokkal, valamint szennyvíziszapkompozttal kijuttatott mennyiséget is. Ez alapján a szennyvíziszap nitrogéntartalmát ismerve kiszámítható az évente hektáronként kihelyezhető szennyvíziszap mennyisége, illetve annak nehézfém-tartalma alapján az iszappal kihelyezett nehézfémek tömege is. Az így meghatározott, évente kijuttatandó nehézfém-mennyiségek összehasonlíthatók a 86/278/EEC-direktíva 1.C mellékletében szereplő „Mezőgazdasági talajra évente kijuttatható nehézfém-mennyiségek” határértékeivel.

A szennyvíziszapra jellemző nitrogéntartalmat méréseim alapján 41,1 g/kg szárazanyag-értéknek vettük, így az évente hektáronként kijuttatható szennyvíziszap mennyisége 4136 kg iszap-szárazanyag/ha.

A számítások során a legkedvezőtlenebb feltételeket vettük figyelembe, miszerint a szennyvíziszap szerves- és tápanyagtartalma teljesen hasznosul, miközben a nehézfém-tartalma teljes egészében a talajban marad, és feldúsul abban. Ez alapján az egyes nehézfémek évente hektáronként kijuttatott mennyiségére konkrét értékeket kaptunk.

Szennyvíziszappal kihelyezhető N mennyisége <sup>1</sup>	kg/ha/év	170
Szennyvíziszap N-tartalma	mg/kg sz. a.	41,1
Kihelyezhető iszap mennyisége	kg sz. a./év/ha	4 136
Vizsgált talajterület	m <sup>2</sup>	10 000
Vizsgált talajvastagság	m	0,5
Vizsgált talaj térfogata	m <sup>3</sup>	5 000
Talaj jellemző sűrűsége	t/m <sup>3</sup>	1,5
Vizsgált talaj tömege	t	7 500
Talaj jellemző szárazanyag-tartalma	%	60
Hektáronkénti talajszárazanyag-tartalom	t/ha	4 500

<sup>1</sup> 59/2008. (IV. 29.) FVM-rendelet (91/676/EGK-irányelv) alapján

3. táblázat: A talajtömeg meghatározása

Az előző fejezethez hasonlóan a vizsgálatot itt is a talaj felső 50 cm-es rétegére végeztük el (3. táblázat).

A talaj és a szennyvíziszap elemtartalmát alapul véve az évente kihelyezhető iszap mennyiségéből számítottuk ki a leghosszabb megengedhető iszapfelhasználási időtávot (4. táblázat).

Háttérzennyeztség	Szennyezettségi mennyiség		Σ Kihelyezhető mennyiség		Évente kihelyezendő mennyiség		Kihelyezhetőség éveinek száma		
	mg/kg sz. a.	kg/ha	mg/kg sz. a. <sup>1</sup>	kg/ha	kg/ha	kg/ha/év	számított <sup>2</sup>	max <sup>3</sup>	
	A	B	C=B-A		számított <sup>2</sup>	max <sup>3</sup>	számított <sup>2</sup>	min <sup>3</sup>	
As	3,6	16,2	15	67,5	51,3	0,0337	0,5	1 524	201
Cd	0,5	2,3	1	4,5	2,3	0,0026	0,15	863	66
Co	10,1	45,5	30	135,0	89,6	0,0130	0,5	6 895	527
Cr	21,4	96,3	75	337,5	241,2	0,1129	10	2 136	71
Cu	14,6	65,7	75	337,5	271,8	1,0961	10	248	80
Hg	0,1	0,5	0,5	2,3	1,8	0,0012	0,1	1 554	53
Mo	0,1	0,5	7	31,5	31,1	0,0321	0,2	967	457
Ni	23,7	106,7	40	180,0	73,4	0,1318	2	556	108
Pb	13,4	60,3	100	450,0	389,7	0,0823	10	4 734	153
Zn	47,3	212,9	200	900,0	687,2	3,9956	30	172	23

<sup>1</sup> 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EÜM-FVM együttes rendelet, 86/278/EEC-direktíva alapján

<sup>2</sup> 59/2008. (IV. 29.) FVM-rendelet, 91/676/EGK-irányelv alapján (170 kgN/ha/év) a saját mérési eredményeinkből számított adatok

<sup>3</sup> 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet, 86/278/EEC-direktíva (1.C táblázat) alapján a saját mérési eredményeinkből számított adatok

4. táblázat: A víztelenített szennyvíziszap mezőgazdasági hasznosíthatóságának korlátja

1 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EÜM-FVM együttes rendelet, 86/278/EEC-direktíva alapján

2 59/2008. (IV. 29.) FVM-rendelet, 91/676/EGK-irányelv alapján (170 kgN/ha/év) a saját mérési eredményeinkből számított adatok

3 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet, 86/278/EEC-direktíva (1.C táblázat) alapján a saját mérési eredményeinkből számított adatok

Említettük, hogy az évente kihelyezhető szennyvíziszap mennyiségét annak nitrogéntartalma korlátozza, hiszen a jogszabály limitálja az évente mezőgazdasági területre kijuttatható nitrogén mennyiségét. A maximálisan kijuttatható és az iszap összetételéből (N- és nehézfém-tartalom) adódóan a ténylegesen kijuttatott nehézfém-mennyiségeket összehasonlítva azt vehetjük észre, hogy a szabályozott elemeket nézve is 10-20-szor több nehézfém juttatható ki egy évben a talajra, mint amennyi a szennyvíziszappal együtt ténylegesen kihelyezésre kerül. A megengedhető mennyiséghez legközelebb itt is a cink áll, melynek az átlagos iszapösszetétel alapján számított kihelyezendő mennyisége még így is csak kicsit több mint tizede a megállapított maximumnak. Kadmium esetében az évente talajba kerülő mennyiség a megengedett mennyiség 1/57 része. Higany esetében körülbelül az 1%-a, míg az ólomnál ez az arány körülbelül 0,8%, azaz az a maximális ólom-mennyiség, ami jogszabály szerint évente a talajba kerülhet, a szennyvíziszap hasznosításával 121 év alatt kerül a talajba. Már ebből a számításból is az a következtetés vonható le, hogy a szennyvíziszap mezőgazdasági hasznosítása rövid távon is csak csekély mértékben növeli a talaj nehézfém-tartalmát, ráadásul korántsem biztos, hogy ez a növekedés hosszú távon is kimutatható lesz a talajban. A hektáronként maximálisan kijuttatható nehézfém-mennyiségek meghatározásánál a szakemberek vélhetően figyelembe vették a természetett növénykultúrák mikrotápanyag-igényét is, ami azt jelenti, hogy ennek a nehézfém-tömegnek egy része a talajból a kihelyezés évét követő néhány éven belül eltávolításra kerül. Mivel láthattuk, hogy a szennyvíziszappal bevitt nehézfém-tömeg szinte össze sem hasonlítható azzal a mennyiséggel, melynek kijuttatását a jogszabály lehetővé teszi, az sem elvetendő gondolat, hogy a szennyvíziszap teljes nehézfém-tartalma távozik a talajból a növényi felvételen keresztül.

A 4. táblázat eredményeit tovább vizsgálva látható, hogy a szennyvíziszap általunk mért nehézfém-tartalmát figyelembe véve a legrosszabb esetben (folyamatos felhalmozódás) is több 100 éves kihelyezhetőséggel számolhatunk. A nehézfémek mennyiségét vizsgálva az iszap mezőgazdasági hasznosíthatóságát leginkább annak réz- és cinktartalma korlátozhatja. Az iszappal történő higany-, kadmium-, króm- és ólomkihelyezés ma már nem jelentős. Ugyanilyen feltételek mellett, amennyiben a kihelyezni

tervezett szennyvíziszap a nehézfémeket a kihelyezhetőségi határértékeknek megfelelő koncentrációban tartalmazza, az iszap folyamatos mezőgazdasági hasznosítása már rövidebb ideig, de még így is több évtizedig biztosítható. A kihelyezhetőséget ebben az esetben leginkább a szennyvíziszap cink- és réztartalmán kívül az iszap higany-, kadmium- és krómtartalma korlátozza. Ebből is látható, hogy az említett komponensek kiemelt toxicitását a jogszabályi döntéshozatalnál is fokozottan figyelembe vették. A szakirodalom alapján hasonló megállapításra jutottak Contin és társai (2012), akik az általuk készített tanulmányban kimutatták, hogy a vonatkozó jogszabályoknak megfelelő összetételű szennyvíziszapokat hosszú ideig (10 év) talajjavításra alkalmazva sem volt jelentős a mérgező elemek felhalmozódása.

Mindezek ellenére fontos megjegyezni, hogy az antropogén hatások következtében a termőtalajok nehézfémterhelése rövid távon általában pozitív, tehát a talajokba időegység alatt több nehézfém kerül be, mint amennyi onnan eltávozik. Ennek megfelelően világszerte tendencia, hogy a szántóföldek fémkészlete folyamatosan növekszik (Thévenot et al., 2007). A talaj egy bizonyos határig pufferként viselkedik, mivel megköti a nehézfémeket, és így tompítja azok hatását, viszont épp emiatt idővel potenciális szennyezővé válhat. Ugyanígy élővizek esetén is jelentős és egyre fokozódó belső nehézfémterhelés figyelhető meg (Malmström et al., 2009). Mivel nagyobb időtávot felölelő kísérletekről csak ritkán számolnak be, a kérdés inkább az, hogy kizárólag szennyvíziszap-hasznosítás mellett a termőtalajok nehézfémterhelése közepes és hosszú távon is pozitív marad-e. A termesztett növénykultúrák sokféleségéből, azok változatos tápanyagigényéből és mikroelem-felvételéből ugyanis hosszú távon egészen más nehézfémterhelés állítható fel, mint ha csak 2-3 éves vizsgálatokat végzünk, mely idő alatt a vizsgált területen mindössze 1-2 növényfajta termesztése történik.

## Következtetések

Eredményeink azt mutatják, hogy amennyiben a szennyvíziszap kihelyezése a jogszabályoknak megfelelő módon (mennyiségi és minőségi megfelelés) történik, a legmeghatározóbb komponenseket vizsgálva is a talaj csak évtizedek vagy akár évszázadok alatt terhelődik olyan mértékben nehézfémekkel, hogy a jelenlegi jogi szabályozás szerint maga is szennyezetté válik. Számításaink során a legkedvezőtlenebb feltételeket vettük figyelembe, miszerint a szennyvíziszap szerves- és tápanyagtartalma teljesen hasznosul, miközben nehézfémterhelése teljes egészében a talajban marad, és feldúsul abban. Nem számoltunk a növényi nehézfémfelvétellel és a nehézfémek esetleges kimosódásával vagy mélyebb rétegekbe kerülésével. Éppen ezért állíthatjuk, hogy a kihelyezés tényleges időtávja az általunk meghatározott évek számát nagy valószínűséggel meghaladja.

Mindezeket is figyelembe véve jelenlegi ismereteink alapján a települési szennyvíziszapok megfelelő körülményekkel végzett mezőgazdasági hasznosítása előnyös megoldásnak tűnik, bár ennek pontosításához ma már a szennyvíziszapokban lévő egyéb mikroszennyező anyagok mennyiségének meghatározása is szükséges.

Az eredményeket tekintve a kérdés már inkább az, hogy ha a mezőgazdasági talajok tápanyag-utánpótlására és azok termékenységének javítására kizárólag szennyvíziszapot alkalmazunk, a növények számára fontos mikroelem-utánpótlás fedezhető-e egyáltalán, és nem az, hogy ezekkel a komponensekkel mennyire terheljük és szennyezzük a talajt.

## Irodalmi hivatkozások

Abdullahi, M. S. (2013). *Toxic effects of lead in humans: an overview*. *Global Advanced Journal of Environmental Science and Toxicology*, 2(6): 157-162.

Acharya J., Kumar U., Rafi P. M. (2018) *Removal of Heavy Metal Ions from Wastewater*

*by Chemically Modified Agricultural Waste Material as Potential Adsorbent - A Review International Journal of Current Engineering and Technology* 8 (3) pp. 526-530, DOI: <https://doi.org/10.14741/ijcet/v.8.3.6>

Bai Y., Zuo W., Mei L., Tang B., Gu C., Wang X., Shao H., Guan Y. (2018) *Eastern China coastal mudflats: salt-soil amendment with sewage sludge*. *Running title: Salt-soil amended with sewage sludge in China Land Degradation and Development*, 29 (10) 3803-3811. <https://doi.org/10.1002/ldr.3092>

Bigalke M., Ulrich A., Rehmus A., Keller A. (2017) *Accumulation of cadmium and uranium in arable soils in Switzerland*. *Environ. Pollut.* 221, 85-93.

Carletti G., Fatone F., Bolzonella D., Cecchi F. (2008) *Occurrence and fate of heavy metals in large wastewater treatment plants treating municipal and industrial wastewaters*, *IWA Publishing 2008 Water Science & Technology* 57 (9) pp. 1329-36. doi: 10.2166/wst.2008.230.

Cai Q-Y., Mo C-H., Qi-Tang W., Qiao-Yun Z., Katsoyiannis A. (2007) *Concentration and speciation of heavy metals in six different sewage sludge-composts*. *J Hazard Mater* 147 pp. 1063-1072.

Camargo R., Maldonado A. C. D., Dias P. A. S., Souza M. F., França M. S. (2013) *Leaf analysis of Jatropha seedlings (Jatropha curca L.) produced with sewage sludge*. *J. Agric. Environ. Eng.* 17 (3) pp. 283-290.

Contin M., Goi D., De Nobili M. (2012) *Land application of aerobic sewage sludge does not impair methane oxidation rates of soils*. *Sci Total Environ.* 441 pp. 10-18. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.09.052.

ECD (1986) *European Council Directive 86/278/EEC of 12 June 1986 (The Sewage Sludge Directive) on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture*.

Fang W., Delapp R. C., Kosson D. S., van der Sloop H. A., Liu J. (2017) *Release of heavy metals during long-term land application of sewage sludge compost: percolation leaching tests with repeated additions of compost*. *Chemosphere* 169:271-280. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.086>

Filho A. A., de Camargo R., Lana R. M. Q., Moraes M. R. B., Maldonado A. C. D., Atarasi R. T. (2015)

*Treatment of sewage sludge with the use of solarization and sanitizing products for agricultural purposes*. *African Journal of Agricultural Research* 11 (3) pp. 184-191, DOI: 10.5897/AJAR2015.10571

Hariri E., Abboud M. I., Demirdjian S., Korfai S., Mroueh M., Taleb R. I. (2015) *Carcinogenic and neurotoxic risks of acrylamide and heavy metals from potato and corn chips consumed by the Lebanese population*. *Journal of Food Composition and Analysis* 42: pp. 91-97.

Joseph T., Dubey B., McBean E. A. (2015) *Human health risk assessment from arsenic exposures in Bangladesh*. *Science of the Total Environment*, 527-528, pp. 552-560 doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.05.053

Kchaou R., Baccar R., Bouzid J., Rejeb S. (2018a) *Agricultural use of sewage sludge under sub-humid Mediterranean conditions: effect on growth, yield, and metal content of a forage plant*. *Arabian Journal of Geosciences* 11:746-752. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4103-4>

Kim, K. R., Kim, J. G., Park, J. S., Kim, M. S., Owens, G., Youn, G. H., Lee, J. S. (2012) *Immobilizer-assisted management of metal-contaminated agricultural soils for safer food production*. *Journal of Environmental Management*, 102, pp. 88-95.

Koupaie EH, Eskicioglu C (2015) *Health risk assessment of heavy metals through the consumption of food crops fertilized by biosolids: a probabilistic-based analysis*. *J Hazard Mater* 300:855-865.

Lajayer B. A., Najafi N., Moghiseh E., Mosaferi M., Hadian J. (2019) *Micronutrient and heavy metal concentrations in basil plant cultivated on irradiated and non-irradiated sewage sludge-treated soil and evaluation of human health risk*. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 104, 141-150. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2019.03.009>

Li Z., Chen J., Guo H., Fan X., Wen Z., Yeh M-H., Yu C., Cao X., Wang Z. L. (2016) *Triboelectrification Enabled Self Powered Detection and Removal of Heavy Metal*

- Ions in Wastewater, *Advanced Materials* Vol 28, Issue 15 pp. 2983–2991. <https://doi.org/10.1002/adma.201504356>
- Liu, D.; Li, Z.; Zhu, Y.; Li, Z.; Kumar, R. (2014) Recycled chitosan nanofibril as an effective Cu(II), Pb(II) and Cd(II) ionic chelating agent: Adsorption and desorption performance. *Carbohydr. Polym.*, 111 pp. 469–476. DOI: 10.1016/j.carbpol.2014.04.018
- Malmström M. E., Rolli V., Cui Q., Brandt N. (2009) Sources and fates of heavy metals in complex, urban aquatic systems: modelling study based on Stockholm, Sweden, *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 122, doi:10.2495/ECO090091
- Mohamed, B., Olivier, G., François, G., Laurence, A. S., Bourgeade, P., Badr, A. S., Lotfi, A., (2018) Sewage sludge as a soil amendment in a *Larix decidua* plantation: effects on tree growth and floristic diversity. *Sci. Total Environ.* 621, 291–301.
- Muya, F. N., Sunday, C. E., Baker, P., Iwuoha, E. (2016) Environmental remediation of heavy metal ions from aqueous solution through hydrogel adsorption: A critical review. *Water Sci. Technol.* 73 (5) pp. 983–992. DOI: 10.2166/wst.2015.567
- Salman S. A., Elnazer A. A., Nazer H. A. E. (2017) Integrated mass balance of some heavy metals fluxes in Yaakob village, south Sohag, Egypt. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 14 (5), 1011–1018.
- Santos F. E. V., Kunz S. H., Caldeira M. V. W., Azevedo C. H. S., Rangel O. J. P. (2014) Chemical characteristics of substrates used with sewage sludge for seedling production. *J. Agric. Environ. Eng.* 18 (9) pp. 971–979.
- Shi T., Ma J., Wu X., Ju T., Lin X., Zhang Y., Li X., Gong Y., Hou H., Zhao L., Wu F. (2018) Inventories of heavy metal inputs and outputs to and from agricultural soils: A review *Ecotoxicology and Environmental Safety* 164 118–124.
- Simon L. (2006) Accumulation, phytoindication and phytoremediation of toxic elements in the soil-plant system, Doctoral dissertation, Hungarian Academy of Sciences, University of Nyíregyháza, Nyíregyháza, Hungary
- Singh R. P., Agrawal M. (2008) Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Manag* 28 (2) pp. 347–358. DOI: 10.1016/j.wasman.2006.12.010
- Tariq W., Saifullah M., Anjum T., Javed M., Tayyab N., Shoukat I. (2018). Removal Of Heavy Metals From Chemical Industrial Wastewater Using Agro Based Bio-Sorbents. *Acta Chemic Malaysia*, 2(2):09–14. DOI: <http://doi.org/10.26480/acmy.02.2018.09.14>
- Thévenot D. R., Moilleron R., Lestel L., Gromaire M-C., Rocher V., Cambier P., Bonté P., Colin J-L., de Pontevès C., Meybeck M. (2007) Critical budget of metal sources and pathways in the Seine River basin (1994–2003) for Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb and Zn, *Science of the Total Environment* 375 (1-3) pp. 180–203, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2006.12.008
- Wu D., Yu X., Chu S., Jacobs D. F., Wei X., Wang C., Long F., Chen X., Zeng S. (2018) Alleviation of heavy metal phytotoxicity in sewage sludge by vermicomposting with additive urban plant litter. *Science of the Total Environment* 633, 71–80 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.167>
- Yagmur M, Arpalı D, Gulser F (2017) The effects of sewage sludge treatment on triticale straw yield and its chemical contents in rainfed condition. *J Anim Plant Sci* 27(3):971-977.
- Yang Q., Li Z., Lu X., Duan Q., Huang L. and Bi J. (2018) A review of soil heavy metal pollution from industrial and agricultural regions in China: Pollution and risk assessment. *Science of the Total Environment* 642 pp. 690–700. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.068>
- Yang G., Zhu G., Li H., Han X., Li J., Ma Y. (2018b) Accumulation and bioavailability of heavy metals in a soil-wheat/maize system with long-term sewage sludge amendments, *Journal of Integrative* 17(8) 1861–1870. doi: 10.1016/S2095-3119(17)61884-7
- 50/2001. (IV. 3.) Government Decree on rules for the agricultural use and treatment of wastewater and sewage sludge
- 28/2004. (XII. 25.) Decree of the Ministry of Environment and Water on emission limit values of water pollutants and certain rules for their application
- 59/2008. (IV. 29.) Decree of the Ministry of Agriculture and Rural Development on rules for the action program for the protection of water against pollution caused by nitrates from agricultural sources and for the orderliness of information and registration
- 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM Decree on limit values and pollution measurement for the protection against pollution of the geological environment and groundwater

## A KOMPETENCIÁK JELENTŐSÉGE AZ ÜGYFÉLSZOLGÁLATI MUNKÁBAN

Az ügyfélszolgálatos munkakör nehézségei és szépségei annak változóságában és sokszor kiszámíthatatlanságában rejlenek, ahol a munka középpontjában – minkét oldalon – az ember áll. Nem mindenki alkalmas arra, hogy ezt a változékonyságot nap mint nap elviselje, ebben éljen. Azt, hogy ki alkalmas az ügyfelezésre, és ki nem, bizonyos velünk született személyiségjegyek, képességek, kompetenciák határozzák meg. Számomra nagyon érdekes kérdés, hogy milyen tulajdonságokkal kell rendelkezni ahhoz, hogy ezt a munkát ne csak jól tudjuk csinálni, de jól is érezzük magunkat benne. Amikor a diplomadolgozati kutatásom során arra kerestem a választ, hogy milyen a jó ügyfeles, a kompetenciák és a kompetenciamenedzsment kérdéskörével találtam szembe magam. A friss szakirodalomban sok érdekes meglátást találtam, melynek egy részét most megosztom az olvasóval.

A kompetencia a tanulás és a tapasztalás eredményeként jön létre annak érdekében, hogy ezt az egyén a munkája vagy az élete során sikeresen alkalmazza, a személyiségjegyei összekombinálásával. A kompetencia-összetevők a képesség, a személyiség, a motiváció és a tudás (Henczi, Zöllei 2007). Amikor a kompetenciamenedzsmentet említjük, a szervezet céljait segítő tevékenységről beszélünk, amely által a szükséges kompetencia elérhetővé válik, így a rendelkezésre álló kompetenciák megfelelő felhasználása és fejlesztése segíti a munkavállalók teljesítményének növelését. Ez azt jelenti, hogy a kompetenciamenedzsment során a vállalat a terveit, intézkedéseit úgy határozza meg, hogy figyelembe veszi a munkavállalók kompetenciakészletét, azt hasznosítja, sőt fejleszti, és ezáltal a szervezet eredményét növeli. Fontos, hogy a kompetenciamenedzsment összhangot teremtsen a szervezet és az egyének céljai között. A munkakörhöz tartozó kompetenciák részletes dokumentálása és az úgynevezett kompetenciamodell megalkotása nemcsak a kiválasztásnál nyújt hasznos segítséget a szervezetnek, hanem az év közbeni teljesítményértékelést is segíti (Berde, 2017). A kompetenciamenedzsment eredményeként a vezetők a munkavállalók képességeit felismerik, azokat hatékonyan osztják be, és szükség esetén fejlesztik. A kompetenciakészletek felmérése idő- és energiaigényes feladat, de következményeképpen a vállalat céljai sokkal eredményesebben valósulnak meg, és a vállalati kultúrára is jó hatással van. Ezáltal az egyén is jobban megismeri önmagát, és a fejlesztése, fejlődése egy magasabb



**KAPOSVÁRI ZSUZSANNA**

FEJÉRVÍZ Zrt.

ügyfélszolgálati és vízdíjszámlázási osztályvezető,  
kaposvarizs@fejerviz.hu