

A mikroelem tartalom hatása a lakossági szennyvíziszapok mezőgazdasági hasznosíthatóságára

Gulyás Gábor*, Kiss Gergely*, Sinkovics Ádám*, Rádi József**, Domokos Endre***, Kárpáti Árpád***

* Dunántúli Regionális Vízmű Zrt. (E-mail: g.gulyas.up@gmail.com), ** Elgoscár-2000 Kft., *** Pannon Egyetem, Környezetmérnöki Intézet

DOI:10.59258/HK.11450



Kivonat

Tápanyagtartalma miatt a települési szennyvíziszap a mezőgazdaságban jól hasznosítható anyagnak minősül. Ennek ellenére itthon a mezőgazdaság csak kis mértékben alkalmazza, amit részben a fertőzőképességével és a toxikus anyag tartalmával magyaráznak. Vizsgálataink során a települési szennyvíziszapok potenciálisan toxikus elem tartalmát vizsgáltuk annak meghatározása érdekében, hogy az mennyire korlátozza az iszap mezőgazdasági hasznosíthatóságát. Eredményeink azt mutatják, hogy amennyiben a szennyvíziszap kihelyezése a jogszabályoknak megfelelő módon (mennyiségi és minőségi megfelelés) történik, a legkedvezőtlenebb feltételeket és a legmeghatározóbb komponenseket vizsgálva is a talaj csak évtizedek, vagy akár évszázadok alatt terhelődik olyan mértékben nehézfémekkel, amelyek alapján a jelenlegi jogi szabályozás szerint maga is szennyezetté válik. Mindezek 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.

Kulcsszavak

Szennyvíziszap, nehézfémek, mikroelemek, mezőgazdaság, talaj, Magyarország.

The effect of micro element content on the agricultural utilization of municipal sewage sludge

Abstract

Due to its nutrient content, municipal sewage sludge can be well utilized in agriculture and crop cultivation. Despite this, domestic agriculture only uses it to a small extent, which is partly explained by its infectiousness and its toxic substances content. In the course of our investigations, we examined the potentially toxic element content, which is considered to be the most dangerous component of municipal sewage sludge. Our results show that if sewage sludge is disposed of in accordance with the legislation (quantity and quality compliance), even when examining the most unfavourable conditions, the harmful accumulation of heavy metals no need to count on. Based on all of this, the agricultural utilization of municipal sewage sludge with due care seems to be a beneficial solution, although in order to clarify this, it is now necessary to determine the amount of other micropollutants in it.

Keywords

Municipal sewage sludge, heavy metals, micro elements, agriculture, soil, Hungary.

BEVEZETÉS

A települési szennyvizek tisztításának mellékterméke a nagy tételben keletkező szennyvíziszap, melynek mennyisége világszerte növekvő tendenciát mutat (*Yang és társai 2018b*). Ártalmatlanítására és hasznosítására számos lehetőség áll az üzemeltetők rendelkezésére, de az elhelyezési módokat a lokális és a regionális adottságok korlátozzák. A szóba jöhető alternatíva 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 mezőgazdaság hazánkban csak kismértékben alkalmazza a szennyvíziszapot a talajok termőképességének javítására, melyet sok esetben annak fertőzőképességével, illetve nehézfém és egyéb mikroelem tartalma miatt kialakuló fitotoxicitásával magyaráznak. Napjainkban a szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználása inkább csak a környezeti rekultiváció és a tájrendezés területén gyakorlat, habár számos megfigyelés bizonyította a szennyvíziszap nagy hatékonyságát a talajerő pótlásánál (*Camargo és társai 2013, Santos és társai 2014*). Közben a fogyasztásra, vagy állati takarmányozásra szánt nö-

vények termesztésénél a szennyvíziszap felhasználás elhanyagolható, gyakran alkalmazzák a szennyvíziszapot erdők telepítésénél, illetve művelés alól kivett, vagy energianövények termesztésére használatos földek tápanyag tartalmának hosszú távú növelésére.

2013-ban Magyarországon a szennyvíziszapok 37,8%-át hasznosította a mezőgazdaság (*SZKHS 2014*). Az Európai Unió tagállamaiban a mezőgazdasági hasznosítás aránya átlagosan körülbelül 40%, de Belgiumban, Dániában, Spanyolországban, Franciaországban és Nagy-Britanniában 50% feletti (*Yang és társai 2018a*). Kínában a szennyvíziszap 45%-a kerül mezőgazdasági felhasználásra (*Bai és társai 2018*).

Összetételükből adódóan a települési szennyvíziszapok a mezőgazdaság számára jól hasznosítható segédanyagot jelentenek. A termőföldekre kijuttatva fontos makro- és mikrotápanyagokat biztosítanak a növények számára, növelik a talaj szervesanyag tartalmát és adszorpciós kapacitását, javíthatják annak fizikai tulajdonságait, továbbá a talaj vízháztartását is előnyösen befolyásolják (*Lajayer és társai 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 a mezőgazdasági hasznosításnál kifejezetten hátrányos komponensek – szerves és szervetlen mikroszennyezők, gyógyszermaradványok és nehézfémek – és patogén mikroorganizmusok is megtalálhatók (Carletti és társai 2008, Singh és társai 2008, Filho és társai 2015).

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 tápláléklánca kerülve súlyos veszélyt jelenthetnek az emberi egészségre (Kchaou és társai 2018). Bár a nehézfémek egy része az élőlények számára nélkülözhetetlen nyomelem, túlzott humán 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 és társai 2016). A szennyvíziszapban koncentrálnódó nehézfémek emiatt a táplálékláncon keresztül veszélyeztetik az embert, az állatokat és a növényeket (Kim és társai 2012, Hariri és társai 2015). A környezetben és az élő szervezetben könnyen felhalmozódnak, ezáltal tartós veszélyeztető és romboló hatást okoznak (Joseph és társai 2015, Li és társai 2016, Acharya és társai 2018, Tariq és társai 2018). Ebből adódóan a nehézfémek jelenléte korlátozhatja a hagyományos szennyvíztisztító technológiákban keletkező szennyvíziszapok elhelyezését és hasznosítását.

Napjainkban a szennyvíziszap elhelyezésére annak közismerten magas szervesanyag és tápanyag tartalma miatt optimális lehetőségként a mezőgazdaságban és az erdőgazdálkodásban történő felhasználást tekintik (Mohamed és társai 2018), de ehhez kapcsolódóan a benne található nehézfémek immobilizálását szükségesű folyamatnak tartják (Wu és társai 2018).

A mezőgazdasági talajok nehézfém szennyezettsége az egész világot érintő kérdés (Bigalke és társai 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 eltérések vannak. Bizonyított, hogy a talajokba kerülő nehézfémek felhalmozódhatnak és hosszú távon is a talajban maradhatnak. A talajban lévő nehézfém mennyiséget csökkenti a biomassza nehézfém felvétele, a talajvízzel történő kimosódás, illetve az egyéb lefolyások kialakulása (Salman és társai 2017). A mezőgazdasági talajok nehézfém szennyezettsége egyértelműen a mezőgazdasági vegyszerfelhasználásra és a légköri lerakódásra vezethető vissza (Shi és társai 2018). Koupaie és Eskicioglu (2015), valamint Yagmur és társai (2017) szerint kimutatható módon csak a nagy dóziszú és ismételt szennyvíziszap kihelyezés növeli a talaj és a növényi szövetek nehézfém-koncentrációját.

A szennyvíziszapok nehézfém-tartalma a talajban maradó 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).

Vizsgálataink célja a települési szennyvíziszapok nehézfém-tartalmának elemzése, illetve annak meghatározása, hogy a nehézfém-tartalom mennyire korlátozza a mezőgazdasági hasznosításukat. Utóbbi vizsgálathoz saját mérési eredményeinken túl a mezőgazdasági talajok szakirodalomban fellelt nehézfém háttérszennyezettségét használtuk fel. A mezőgazdasági hasznosíthatóság értékelését a hazai jogszabályi határértékek és az Európai Unió által előírt megengedhető koncentrációk figyelembevételével végeztük.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálatainkhoz felhasznált iszapminták egy hazai kommunális szennyvíztisztító telepről származtak. A szennyvíztisztító telep egy kiemelt üdülőkörzet, valamint az agglomeráció további 10 településének a szennyvizét tisztítja. Az agglomerációban szennyvízelvezetéssel érintett meghatározó ipari tevékenység nincs. A szennyvíztisztító telepen 31 alkalommal került sor minta vételére a viztelenített szennyvíziszapból.

Az alkalmazott szennyvíztisztítási technológia hagyományos eleveniszapos rendszer az érkező szennyvíz mechanikai és biológiai tisztításával és a keletkező fölösiszap gépi víztelenítésével. A vizsgált szennyvíztisztító telepen keletkező 20-25% szárazanyag tartalmú szennyvíziszapot egy közeli komposztáló telepre szállítják, majd 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 királyvízes oldatban történő forralással végeztük és a feltárt minták nehézfém tartalma ICP-AES módszerrel került meghatározásra. A kiszárított és porított mintákból minden esetben 3 db párhuzamos bemérést végeztünk.

SZENNYVÍZISZAP NEHÉZFÉMTARTALMÁNAK 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 és a tisztítás módja, a települési szennyvíziszapok nehézfém-tartalma attól is

iszapban történő előfordulásának szabályozatlansága összefügg a szennyvíziszap kezelésben történő gyakori alkalmazásával, ami viszont azért is vezethet ellentmondáshoz, mert felhasználása nemcsak a szennyvíziszapok kezelésénél, de a szennyvizek előtisztításánál is gyakorlat. Ennek következtében a kevésbé optimalizált technológiák (pl. túlzott vegyszerhasználat) elfolyó vizében 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 a bárium-tartalom 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 (0,3-0,5 mg/l) esetében határérték van előírva.

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

2. táblázat. A víztelenített szennyvíziszap elemtartalma a természetes és szennyezett mezőgazdasági talajok jellemző összetételével összehasonlítva

Table 2. The elemental content of dewatered sewage sludge compared with the typical composition of natural and contaminated agricultural soils

Elemek	Mért koncentrációk			Mezőgazdasági talajok nehézfém-tartalma			Megengedhető koncentrációk a talajban	
	Saját mérési adatok			Természetes (Simon 2006)	Szennyezett Saját tapasztalati adatok		86/278/EEC irányelv	50/2001. (IV. 3.) Kormányrendelet
	min.	max.	átlag	min.-max.	min.-max.	átlag		
	mg/kg sz.a.							
As	4,55	12,3	8,14	n.a.	0,8-13,6	3,6	-	15
Cd	0,21	0,86	0,63	0,2-1,0	<0,5	<0,5	1-3	1
Co	2,4	3,83	3,14	10	3,4-24,9	10,1	-	30
Cr	21,9	33	27,3	70-100	7,4-57,0	21,4	-	75
Cu	161	417	265	20-30	3,9-31,7	14,6	50-140	75
Hg	<0,1	0,47	0,28	0,03-0,06	<0,1-0,2	<0,1	1-1,5	0,5
Mo	5,33	13,1	7,76	n. a.	<0,1-0,4	<0,1	-	7
Ni	18,5	46,8	31,87	50	8,6-38,5	23,7	30-75	40
Pb	15,6	24,4	19,9	10-100	1,4-67,5	13,4	50-300	100
Zn	701	1.223	966	50	9,7-81,2	47,3	150-300	200

Látható, hogy a szennyvíziszap réz-, cink- és higany-koncentrációja meghaladja ugyanezen elemeknek a természetes állapotban lévő talajokra jellemző arányát. A víztelenített szennyvíziszap higanytartalma a természetes előforduláshoz képest nem meglepő, hiszen a higany a környezetben természetes körülmények között szinte alig lehet jelen, amit a táblázatban feltüntetett koncentrációtartomány is jelez. A réz és a cink a szennyvíziszapban legnagyobb mennyiségben előforduló fémszennyezők. A szennyvíziszapra jellemző koncentrációjuk meghaladja a

Az iszapba kerülő nehézfémek mennyisége egyértelműen függ a befolyó szennyvíz nehézfém-tartalmától, ezért a szigorú forráskontroll miatt a nyers szennyvíz fém-tartalmának csökkenő tendenciája a szennyvíziszapban található legtöbb nehézfém (pl. kadmium, króm, réz, higany, ólom) esetében is megfigyelhető (Gulyás 2020). Ezzel is magyarázható, hogy a kadmium és a higany jelenléte az iszapban ma már rendszerint csekély, ám a cink és az alumínium ma is számottevő mennyiségben jelenik meg abban.

SZENNYVÍZISZAP NEHÉZFÉM-TARTALMÁNAK HATÁSA

Fang és társai (2017) szerint a szennyvíziszap mezőgazdasági hasznosításához kapcsolódóan a kijuttatott nehézfémek akár nem kívánt mértékben is, de felhalmozódhatnak a talajban. A szennyvíziszap, illetve a szennyvíziszap komposzt 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 általunk meghatározott nehézfém-tartalmát a természetes és szennyezett mezőgazdasági talajok jellemző összetételével hasonlítjuk össze.

jelenlegi jogi szabályozás szerint a talajokban maximálisan megengedhető értéket. 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 ter-

mesztett 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 viszonylag kevés réz kerül be a növényekbe (Gulyás 2020).

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 2. 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 és társai 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

szennyvíziszap komposzttal kijuttatott mennyiségét 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 irányelv 1.C. mellékletében szereplő „Mezőgazdasági talajra évente kijuttatható nehézfém mennyiségek” határértékeivel.

A szennyvíziszapra jellemző nitrogéntartalmat méréseink alapján 41,1 g/kg szárazanyag értéknek vettük, így az évente hektáronként kijuttatható szennyvíziszap mennyisége 4 136 kg iszap szárazanyag.

A számítások során a legkedvezőtlenebb feltételeket vettük figyelembe, miszerint a szennyvíziszap szerves- és tápanyagtartalma teljesen hasznosul, miközben nehézfém-tartalma teljes egészében a talajban marad és feldúsul abban. Ez alapján az egyes nehézfémek évente hektáronként kijuttatott mennyiségére konkrét értékeket kaptunk. Az előző fejezethez hasonlóan a vizsgálatot itt is a talaj felső 50 cm-es rétegére végeztük (3. táblázat).

3. táblázat. A talajtömeg meghatározása
Table 3. Determination of soil mass

Megnevezés	Mértékegység	Érték
Szennyvíziszappal kihelyezhető N mennyisége a 159/2008. (IV. 29.) FVM rendelet (91/676/EGK irányelv) alapján	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 ²	10 000
Vizsgált talajvastagság	m	0,5
Vizsgált talaj térfogata	m ³	5 000
Talaj jellemző sűrűsége	t/m ³	1,5
Vizsgált talaj tömege	t	7 500
Talaj jellemző szárazanyag-tartalma	%	60
Hektáronkénti talaj szárazanyag-tartalom	t/ha	4 500

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

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 a megállapított maximum ti-

zede. Kadmium esetében az évente talajba kerülő mennyiség a megengedett mennyiség 1/57-ed 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 rövidtávon is csak csekély mértékben növeli a talaj nehézfém-tartalmát, ráadásul korántsem biztos, hogy ez a növekedés hosszú távon is kimutatható lesz a talajban. A hektáronkénti maximálisan kijuttatható nehézfém mennyiségek meghatározásánál a szakemberek vélhetően figyelembe vették a természetű növénykultúrák mikrotápanyag igényét is, ami azt jelenti, hogy ennek a nehézfém tömegnek egy része a talajból a kihelyezést követően néhány éven belül eltávolításra kerül. Mivel láthattuk, hogy a szennyvíziszappal bevitt nehézfém tömeg szinte össze sem hasonlítható azzal a

mennyiséggel, melynek kijutását a jogszabály lehetővé teszi, az sem elvetendő gondolat, hogy a szennyvíziszap teljes nehézfém-tartalma távozik a talajból a növényi felvételen keresztül. Ezen felvetés pontosításához további mérések elvégzése és kiértékelése szükséges, melyek a szennyvíziszap és a talaj mikroelem tartalmán kívül az adott talajokon termesztett nö-

vények elemtartalmát is vizsgálják. Ezzel a szennyvíziszap kihelyezés várható hatásairól pontosabb kép alkotható, hiszen attól, hogy a talaj elem-tartalma számottevő iszapkihelyezés esetén is határérték alatt marad, a növények túlzott mikroelem expozíciója korántsem zárható ki. Ez viszont már nemcsak környezetvédelmi, de élelmiszerbiztonsági kérdés is.

4. táblázat. A víztelenített szennyvíziszap mezőgazdasági hasznosíthatóságának korlátja
Table 4. The limitation of agricultural usability of dewatered sewage sludge

	Háttér szennyezettség		Szennyezettségi mennyiség		Σ Kihelyezhető mennyiség	Évente kihelyezendő mennyiség		Kihelyezhetőség éveinek száma	
	mg/kg sz.a.	kg/ha	mg/kg sz.a.*	kg/ha		kg/ha	kg/(ha·év)		év
		A		B	C=B-A	számított**	max.***	számított**	min.**,**
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

Megjegyzés:
* 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet, 86/278/EEC irányelv alapján
** 59/2008. (IV. 29.) FVM rendelet, 91/676/EGK irányelv alapján (170 kgN/(ha·év) a saját mérési eredményeinkből számított adatok
*** 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet, 86/278/EEC irányelv (1.C. táblázat) alapján a saját mérési eredményeinkből számított adatok
Note:
,,*** Values calculated according to current Hungarian legislation.

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 ólom kihelyezés 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 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 nehézfém-mérlege rövidtávon 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 és társai 2007). A talaj egy bizonyos határig pufferként viselkedik, mivel megkötöi a nehézfémeket és így tompítja azok hatását, viszont épp emiatt idővel potenciális szennyezővé válhat. Ugyanígy élővizek esetén is jelentős és egyre fokozódó belső nehézfém-terhelés figyelhető meg (Malmström és társai 2009). Mivel nagyobb időtávot felölelő kísérletekről csak ritkán számolnak be, a kérdés inkább az, hogy kizárólag szennyvíziszap hasznosítás mellett a termőtalajok nehézfém-mérlege közepes és hosszú távon is pozitív marad-e. A termesztett növénykultúrák sokféleségéből, azok változatos tápanyag igényéből és mikroelem felvételéből ugyanis hosszú távon egészen más nehézfém-mérleg állítható fel, mintha 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, amelyek alapján 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 nehézfém-tartalma teljes egészében a talajban marad és feldúsul abban. Nem számoltunk a növényi nehézfém felvétellel 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 inkább az, hogy ha a mezőgazdasági talajok tápanyag utánpótlására és azok termékenységének javítására kizárólag szennyvíziszapot alkalmazunk, akkor a növények számára fontos mikroelem utánpótlás fedezhető-e egyáltalán, semmint, hogy ezekkel a komponensekkel mennyire terheljük és szennyezzük a talajt.

IRODALOMJEGYZÉK

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: 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). pp. 3803-3811. doi: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. pp. 85-93. doi:10.1016/j.envpol.2016.11.035

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., Wu, Q.-T., Zeng, Q.-Y., Katsoyianis, A. (2007). Concentration and speciation of heavy metals in six different sewage sludge-composts. J Hazard Mater 147. pp. 1063-1072. doi:10.1016/j.jhazmat.2016.11.035

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. doi:10.1590/S1415-43662013000300006

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. pp. 271-280. doi: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

Gulyás G. (2020). Települési szennyvíz nehézfém-tartalma és annak hatása a szennyvíziszap mezőgazdasági hasznosításának lehetőségeire, Doktori Értekezés, Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Veszprém.

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. doi:10.1016/j.jfca.2015.03.009

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. (2018). 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. pp. 746-752. doi: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. doi:10.1016/j.jenvman.2012.02.001

Koupaie, E.H., 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. pp. 855-865. doi:10.1016/j.jhazmat.2015.08.018

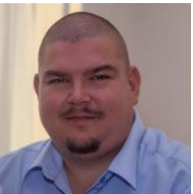
- Lajayer, B.A., Najafi, N., Moghiseh, E., Mosafiri, M., Hadian, J. (2019). Micronutrient and heavy metal concentrations in basil plant cultivated on irradiated and non-irradiated sewage sludge-treated soil and evaluation of human health risk Regulatory Toxicology and Pharmacology 104. pp. 141-150. doi: 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. doi:10.1002/adma.201504356
- 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. pp. 83-96. 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. pp. 291-301. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.11.283
- Salman, S.A., Elnazer, A.A., Nazer, H.A.E. (2017). Integrated mass balance of some heavy metals fluxes in Yakob village, south Sohag, Egypt. Int. J. Environ. Sci. Technol. 14 (5). pp. 1011-1018. doi:10.1007/s13762-016-1200-3
- 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. doi:10.1590/1807-1929/agriambi.v18n09p971-979
- 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. pp. 118-124. doi:10.1016/j.ecoenv.2018.08.016
- 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
- SZKHS (2014). Szennyvíziszap kezelési és hasznosítási stratégia (2014-2023), Országos Vízügyi Főigazgatóság. „Stratégia 2014” Konzorcium, Budapest.
- 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 Chemica Malaysia, 2 (2). pp. 09-14. doi: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. pp. 71-80. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.03.167
- Yagmur, M., Arpal, 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). pp. 971-977.
- Yang, G., Zhu, G., Li, H., Han, X., Li, J., Ma, Y. (2018a). Accumulation and bioavailability of heavy metals in a soil-wheat/ maize system with long-term sewage sludge amendments, Journal of Integrative 17 (8). pp. 1861-1870. doi:10.1016/S2095-3119(17)61884-7
- Yang, Q., Li, Z., Lu, X., Duan, Q., Huang, L., Bi, J. (2018b). 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. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.06.068
- 50/2001. (IV. 3.) Kormányrendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól.
- 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól.
- 59/2008. (IV. 29.) FVM rendelet a vizek mezőgazdasági eredetű nitrátszennyezéssel szembeni védelméhez szükséges cselekvési program részletes szabályairól, valamint az adatszolgáltatás és nyilvántartás rendjéről.
- 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet a földtani közeg és a felszín alatti vízszennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről.
- 91/676/EGK irányelv- A TANÁCS IRÁNYELVE (1991. december 12.) a vizek mezőgazdasági eredetű nitrátszennyezéssel szembeni védelméről. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:01991L0676-20081211&from=DE>

A SZERZŐK

GULYÁS GÁBOR 1988-ban született Kecskeméten. Első (BSc) diplomáját 2010-ben szerezte a Pannon Egyetem Mérnöki Karán, ahol 2012-ben MSc államvizsgát tett. 2015-ben a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karán vízellátás-csatornázás szakmérnök lett. 2020-ban megvédte PhD disszertációját. Tagja a Magyar Mérnöki Kamarának, VZ-TEL tervezői jogosultsággal rendelkezik. A Dunántúli Regionális Vízmű Zrt. Engedélyezési Osztályán dolgozik.



KISS GERGELY 1990-ben született Tapolcán. Okleveles (MSc) környezetmérnök, vízellátás-csatornázás szakmérnök, művezető a Dunántúli Regionális Vízmű Zrt. Balatonfüredi Szennyvíz-művezetőségén.



SINKOVICS ÁDÁM 1984-ben született Keszthelyen. Környezetmérnöki diplomáját 2007-ben szerezte a Pannon Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Karán. 2015-ben a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karán vízellátás-csatornázás szakmérnök lett. Tagja a Magyar Hidrológiai Társaságnak. 2008. óta a Dunántúli Regionális Vízmű Zrt-nél dolgozik, jelenleg az Engedélyezési Osztály vezetőjeként.



RÁDI JÓZSEF 1987-ben született Kecskeméten. Okleveles környezetkutató diplomáját a Szegedi Tudományegyetemen szerezte 2010-ben. 2014 óta az ELGOSCAR-2000 Környezettechnológiai és Vízgazdálkodási Kft. munkatársa, 2017 óta a Vizsgáló Laboratórium vezetője.



DOMOKOS ENDRE PhD., környezetmérnöki diplomáját 1998-ban szerezte a Veszprémi Egyetem Mérnöki Karán. A Pannon Egyetem Fenntarthatósági Megoldások Kutatólaboratóriumának igazgatója. Kutatási területe: bio-, környezet- és vegyészmérnöki tudományok, informatikai tudományok.



KÁRPÁTI ÁRPÁD 1969-ben szerzett vegyészmérnöki diplomát, 1978-ban műszaki doktori címet olajos kolloid technológia fejlesztéséért a Veszprémi Vegyipari Egyetemen. 1980-ban ugyanott környezetvédelmi szakmérnök lett. 1991-ben Hollandiában, Delftben szerzett még egy környezetmérnöki diplomát. PhD címét 1998-ban a fizikai-kémiai szennyvíztisztítás témakörében kapta, utána szinte kizárólag annak a biotechnológiai-ájával és az iszap-maradékai hasznosítási lehetőségeivel foglalkozott.