



TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0014
Települési szennyvizek innovatív és környezettudatos tisztítása
és a szennyvíziszapok környezetbarát elhelyezése

Szennyvizek és szennyvíziszapok hasznosítása a régió fenntartható mezőgazdaságáért



Nyíregyháza
2015

**Szennyvizek és szennyvíziszapok hasznosítása
a régió fenntartható mezőgazdaságáért**

Szennyvizek és szennyvíziszapok hasznosítása a régió fenntartható mezőgazdaságáért

Nyíregyháza, 2015

Szennyvizek és szennyvíziszapok hasznosítása a régió fenntartható mezőgazdaságáért

Szerzők:

Angyal Zsuzsanna, Aranyos Tibor, Balázs Sándor, Bali Dániel, Bódi Barbara, Csumán András,
D. Tóth Márta, Draskovits Eszter, Erőss Attila, Galambos Ildikó, Gáti Péter,
Gerencsérné Berta Renáta, Heil Bálint, Kardos Levente, Kasza Gyula, Kerecsi György,
Kiss Ferenc, Koncz József, Kónya Anikó, Kovács Gábor, Ligetvári Ferenc, Makádi Marianna,
Mészáros József, Rác Gábor, Rékási Márk, Simon László, Sipos Tibor, Somogyi Adrienn,
Szabó Béla, Tamás Péter, Tomcsik Attila, Tóth Attila, Tóth Gábor, Uri Zsuzsanna, Uzinger Nikolett,
Vincze György, Zsabokorszky Ferenc

Szerkesztette: Prof. Dr. Simon László; Dr. Vincze György

Lektorálta: Prof. Dr. Tamás János

Technikai szerkesztő: Nádasi Zoltán

Tördelés:

Fodor Irodagép Bt.
4400 Nyíregyháza, Derkovits út. 132-136.
Tel./fax: 06-42/342-402

ISBN 978-615-5545-02-3

A kiadvány megjelenését támogatta:



„Települési szennyvizek innovatív és környezettudatos tisztítása és a szennyvíziszapok környezetbarát elhelyezése” című, TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0014 azonosító számú projekt

Kiadó: Nyíregyházi Főiskola, Nyíregyháza

Nyomdai kivitelezés: Tipographic Kft., Nyíregyháza

Példányszám: 50 db

Nyíregyháza, 2015

TARTALOMJEGYZÉK

Előszó	7
1. A víz-, szennyvíz- és szennyvíziszap-kezelés jelentősége és helyzete.....	11
Kiss Ferenc és D. Tóth Márta: A fenntarthatóság és a víz kapcsolata	11
Gerencsérné Berta Renáta, Rácz Gábor, Galambos Ildikó: Gyógyszermaradványok eltávolítása különböző típusú vizekből	21
Ligetvári Ferenc, Zsabokorszky Ferenc: Az Európai Unióhoz történt csatlakozás hatása a hazai szennyvíztisztításra és iszapkezelésre.....	33
Veres József: Térségünk szennyvíz-csatornázásának és szennyvíz-tisztításának helyzete	39
Sipos Tibor, Tóth Attila: A szennyvíziszap-komposzt mezőgazdasági felhasználásának talajvédelmi engedélyezési folyamata.....	47
Tamás Péter, Kerecsi György: A magyarországi potenciális szennyvíziszap elhelyezés térségi vizsgálata	53
2. A szennyvíz- és szennyvíziszap-kezelés és hasznosítás legújabb hazai tudományos eredményei.....	59
Balázs Sándor, Tóth Gábor, Mészáros József: Kutatás-fejlesztési program a szennyvízből és a szennyvíziszap-komposztból történő gyógyszermaradvány eltávolításra	59
Kardos Levente és munkatársai: Kommunális szennyvíziszap laboratóriumi, félüzemi és üzemi vermikomposztálásának összefoglaló értékelése	67
Gáti Péter és munkatársai: A kommunális szennyvíziszap vermikomposztálásának jellemzése dehidrogenáz enzimaktivitás vizsgálatokkal	75
Kónya Anikó, Kovács Gábor, Heil Bálint: Szennyvíziszap hasznosítása talajkeverékek kialakításával.....	81
Makádi Marianna, Aranyos Tibor, Tomócsik Attila: A szennyvíziszap komposzt tartamhatásának vizsgálata szántóföldi kultúrákban	89
Simon László, Uri Zsuzsanna, Vincze György, Szabó Béla, Koncz József: Települési szennyvíziszap komposzt tartamhatásának vizsgálata <i>Salix</i> és <i>Arundo</i> energianövény kultúrákban ...	97
Uzinger Nikolett, Draskovits Eszter, Rékási Márk: Szennyvíziszapok által történő nehézfém-terheléses kísérletek összefoglaló értékelése.....	109

ELŐSZÓ

A „Települési szennyvizek innovatív és környezettudatos tisztítása és a szennyvíziszapok környezetbarát elhelyezése” című, TAMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0014 azonosító számú projekthez kapcsolódóan 2015. november 3-án tudományos-ismeretterjesztő ankétot rendeztünk a Nyíregyházi Főiskola Műszaki és Agrártudományi Intézetében „Szennyvizek és szennyvíziszapok hasznosítása a régió fenntartható mezőgazdaságáért” címmel. Az ankéton a minisztériumokban, közigazgatásban, víz- és csatornamű vállalatoknál, környezetvédelmi szervezeteknél, kutatóintézetekben, felsőoktatásban dolgozók és kutatók mellett jelen voltak a főiskola hallgatói, vízgazdálkodási szakemberek, illetve a régióban gazdálkodók, falugazdászok és az agrár-közigazgatás képviselői is. A résztvevők száma közel 120 fő volt.

Az Európai Unió 2000/60/EK Víz Keretirányelv előírása szerint elkészült a Vízgűjtő-gazdálkodási Terv 2, illetve a Kvassay Jenő Terv, mint Magyarország stratégiai vízgazdálkodási programja. Ebbe a szakmai programba szervesen illeszkedik a szennyvíztisztítás és iszapkezelés operatív és stratégiai feladatainak regionális és országos áttekintése, mely az ankét megrendezésének céljai közé tartozott. Magyarország helyi önkormányzatairól szóló 2011. évi CLXXXIX. törvény, valamint a vízgazdálkodásról szóló 1995. évi LVII. törvény értelmében a települési önkormányzat feladata a közszolgáltatások keretében gondoskodni a csatornázásról, a szennyvizek tisztításáról, a tisztított szennyvíz elvezetéséről, illetőleg a nem közművel összegyűjtött háztartási szennyvíz, továbbá a szennyvíziszap ártalommentes elhelyezésének megszervezéséről. Az érvényes szennyvíziszap-elhelyezési irányelv (86/278/EGK) végrehajtását a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól szóló 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet biztosítja. Az irányelv alapján meghatározott határértékeknek és korlátoknak megfelelően adja meg a szakhatóság a mezőgazdasági felhasználáshoz szükséges engedélyt, amit a termőföld védelméről szóló 2007. évi CXXIX. törvény talajvédelemre vonatkozó fejezete ír elő a szennyvíziszap mezőgazdasági hasznosítása esetében. A szennyvíziszapok és szennyvíziszap komposztok mezőgazdasági felhasználásának engedélyezési eljárásához talajvédelmi terv készítése is szükséges, aminek tartalmi és formai követelményeit a talajvédelmi terv készítésének részletes szabályairól szóló 90/2008. (VII. 18.) FVM rendelet rögzíti. Az irányelv előírásainak integrálása, hazai szabályozása biztosította azt, hogy jelenleg a keletkező szennyvíziszapok mindössze 2%-át ártalmatlanítják lerakással, 98%-a hasznosításra kerül (46% rekultiváció, 38% mezőgazdasági hasznosítás, 5% energetikai hasznosítás, 9% egyéb hasznosítási mód). A hasznosítási módok hosszú távú optimalizálását az elfogadásra kerülő Szennyvíziszap Kezelési- és Hasznosítási Stratégia és Program végrehajtása fogja biztosítani. A szennyvíziszap-hasznosítás stratégiai és operatív szintű kidolgozásának és támogatásának hatására a szennyvíziszapok energetikai célú hasznosítása a jövőben szélesebb körűvé válhat, ezzel a természetes vizek terhelése is csökkenhet, hiszen már a jelenlegi gyakorlat szerint is a keletkező iszap jelentős része szántóföldi kijuttatásra kerül, vagy azt rekultivációs célra hasznosítják. A várható pozitív hatás mértéke annak függvénye lesz, hogy mely hasznosítási irányok terjednek majd el az országban.

A fenti célkitűzésekhez kapcsolódóan az anketon előadások hangzottak el a környezeti fenntarthatóság és a víz kapcsolatáról (Kiss Ferenc, Nyíregyházi Főiskola), a szennyvíziszap kezelés és hasznosítás rövid- és középtávú stratégiájáról (Bécs Krisztina, Országos Vízügyi Főigazgatóság), térségünk szennyvíz-csatornázásának és szennyvíz-tisztításának helyzetéről (Veres József, Felső-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság), illetve a szennyvíziszap komposzt mezőgazdasági felhasználásának talajvédelmi engedélyezési folyamatáról (Sipos Tibor, Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Kormányhivatal, Növény- és Talajvédelmi Osztály).

A rendezvény másik célja a Nyírségvíz Zrt. és a Nyíregyházi Főiskola konzorciumában megvalósuló „Települési szennyvizek innovatív és környezettudatos tisztítása és a szennyvíziszapok környezetbarát elhelyezése” című pályázat tudományos eredményeinek társadalmosítása, disszeminációja volt. Mészáros József (Nyírségvíz Nyíregyháza és Térsége Víz- és Csatornamű Zrt.) „Kutatás-fejlesztési program a szennyvízből és a szennyvíziszap-komposztból történő gyógyszermaradvány eltávolításra” címmel tartott e célból előadást. A szennyvíziszapokból készült komposztok mezőgazdasági kultúrákra gyakorolt hosszú távú hatásainak tudományos feltárása szabadföldi tartamkísérletek beállítását igényli. Makádi Marianna (Debreceni Egyetem, Nyíregyházi Kutatóintézet) a szennyvíziszap komposzt tartamhatását szántóföldi kultúrákban, Simon László (Nyíregyházi Főiskola) pedig energianövény ültetvényekben mutatta be előadásában.

Az előadások után felkért hozzászóló volt Sarkadiné Ruzsinszki Ágnes (Nemzeti Agrárgazdasági Kamara, Szabolcs-Szatmár-Bereg megye) és Farkas Hilda (Környezetvédelmi Szolgáltatók és Gyártók Szövetsége).



Az anket résztvevői meglátogatják a Nyírségvíz Zrt. komposztáló telephelyén zajló gyógyszermaradvány-lebontási kísérleteket (Nyíregyháza, 2015. november 3.)

Az előadások után az ankét résztvevői a helyszínen, a Nyírségvíz Zrt. komposztáló telephelyén tekintették meg a talajbaktériumok segítségével szennyvíziszap komposztban történő gyógyszermaradvány-lebontási kísérleteket.

A tudományos ismeretterjesztő ankéthoz kapcsolódóan „Szennyvíziszap komposzt mezőgazdasági felhasználása. Alternatív tápanyag-utánpótlási lehetőség a növénytermesztésben” címmel színes 4 oldalas szóróanyagot is összeállítottunk, melyet az ankét résztvevői számára rendelkezésre bocsátottunk, illetve a mezőgazdasági termelők, főiskolai hallgatóink, vízgazdálkodással, szennyvíztisztítással foglalkozó szakemberek számára az interneten is hozzáférhetővé tettünk. A szóróanyaggal is felhívtuk a figyelmet arra, hogy a települési szennyvíziszapok – megfelelő előkészítés, komposztálás és minősítés után mezőgazdasági célra hasznosíthatók. Hangsúlyoztuk, hogy a szennyvíziszap komposzt a komposztálási folyamat szagtalan, homogén, földszerű végterméke, amely kb. 40-60% nedvességtartalmú, humuszképző szerves anyag- és növényi tápanyagtartalma miatt (jelentős nitrogén-, foszfor- és mikroelem-tartalommal rendelkezik) gyümölcs- és díszfa telepítések, szántóföldi növénytermesztésben, a csemetekertekben és parkosításkor a talajba kijuttatva hasznosítható.

Jelen kötet 13 áttekintő és tudományos jellegű közleményt foglal magába, melyek részben az ankéton elhangzott előadásokat, részben a szennyvizek kezelésére és a szennyvíziszapok hasznosítása vonatkozó aktuális feladatokat, irányelveket, legújabb tudományos ismereteket és innovatív megoldásokat foglalják össze. A közleményeket vízgazdálkodási és közigazgatási gyakorlati szakemberek, illetve a szennyvíziszap-kezelést és -hasznosítást tudományos szempontból vizsgáló kutatók állították össze.



Szóróanyag a szennyvíziszap komposzt hasznosításáról

Nyíregyháza, 2015. november 15.

Prof. Dr. Simon László

Nyíregyházi Főiskola, Műszaki és Agrártudományi Intézet

1. A VÍZ-, SZENNYVÍZ- ÉS SZENNYVÍZISZAP-KEZELÉS JELENTŐSÉGE ÉS HELYZETE

A FENNTARTHATÓSÁG ÉS A VÍZ KAPCSOLATA

Kiss Ferenc és D. Tóth Márta

*Nyíregyházi Főiskola, Környezettudományi Intézet, 4400 Nyíregyháza, Sóstói út 31/b.
E-mail:kissfe@nyf.hu*

ÖSSZEFOGLALÁS

Az Egyesült Nemzetek Szervezetének 2030-ig szóló programja egy olyan terv, amely segít minden tagállamot a fenntartható fejlődés megvalósításában. A megvalósításhoz feltétlenül szükséges a vízzel való helyes gazdálkodás, amely nagy kihívás, de ugyanakkor elengedhetetlen a célok eléréséhez. Az egyik konkrét cél a víz minőségének a javítása azáltal, hogy csökkentjük a szennyezőanyagokat, minimalizáljuk a vízbe jutó veszélyes kemikáliákat és legalább a felére csökkentjük a kezeletlen szennyvízkibocsátást. A program 12. céljában megfogalmazásra kerül az oktatás hatékonyságának növelése az által, hogy oktatjuk a klímaváltozás hatását, az alkalmazkodási lehetőségeket és a hatás csökkentésének módjait. Nagyon fontos a tudatosság fokozása a különböző klímaváltozáshoz kapcsolódó problémákkal kapcsolatban, mint például a gleccserek olvadása. Az emelkedő globális hőmérséklet felgyorsítja a gleccserek térfogatának csökkenését, amely a tengerek és óceánok szintjének emelkedéséhez és egyes édesvízi tavak térfogatának csökkenéséhez vezet. A problémák egyike, amely a szén-dioxid kibocsátáshoz kapcsolható, az óceánok savasodása. Ennek a folyamatnak a lényege az, hogy a szén-dioxid abszorpció hatására szénsav keletkezik, amely csökkenti a tengervíz pH-ját és a karbonát ion koncentrációját. Ez a változás nagyon komoly problémákat okoz a globális óceáni ökoszisztémának, a tengeri erőforrások kiaknázásának, a halászatnak és az élelmiszerellátásnak.

BEVEZETÉS

A fenntartható fejlődésnek nem ismerünk általános, világszerte elfogadott megfogalmazását. Nézzünk kettőt különböző értelmezésekből:

“...az életminőség javítása a társadalom alapjául szolgáló ökoszisztéma teherbíró képességén belül.”

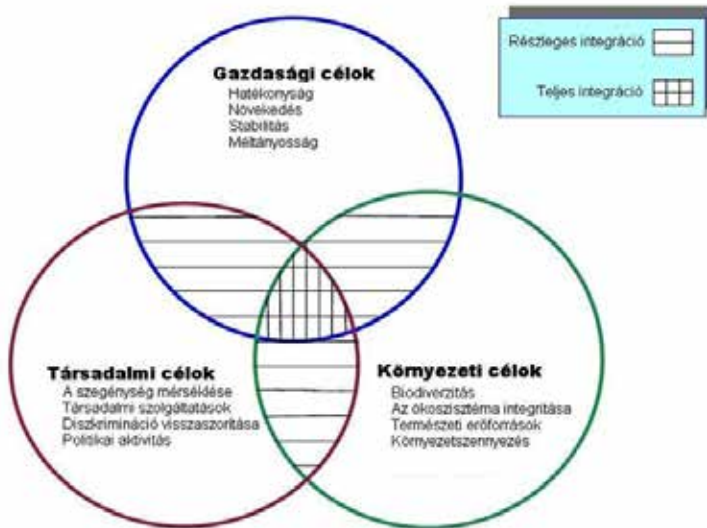
“...lehetővé teszi a gazdaság folyamatos növekedését anélkül, hogy a természeti erőforrások túlhatalmatának a hosszú távú fejlődés látná kárát...”

A ma leginkább elfogadott meghatározás a „Közös jövőnk” című könyvben jelenik meg, melyet a Környezet és Fejlődés Világ Bizottság 1987-ben publikált, s akkor a magyar fordítás harmonikus fejlődésként írt le:

“...olyan fejlődés, amely anélkül elégíti ki a jelen igényeit, hogy a jövő generáció lehetőségeit csorbítaná...” (BRUNDTLAND, 1987).

A szakemberek legtöbbször csak a saját érdekszerükből nézve próbálják értelmezni a fenntarthatóság elvét. A gazdasági szakemberek és politikusok általában fenntartható gazdasági növekedésként írják le. Még előfordul az is, hogy csak a környezetvédelemmel vagy a termé-

szetvédelemmel azonosítják. A szkeptikusok mondják azt is, hogy a fenntartható fejlődés olyan elképzelés, ami nem valósítható meg. Igen, amíg az emberiség nem képes gazdasági, társadalmi és környezeti igényeit egymással harmóniában integrálni, addig nem (1. ábra).



1. ábra: A fenntartható fejlődés integrálandó alapelemei. Forrás: Tótné et al. (2011).

Ezért a történelmi példákban is tanulva új szemléletre van szükség. Olyanra, amelyben az ember a fenti három igényét úgy tudja egyensúlyba hozni, hogy a Földet, amely számára lehetővé teszi a fejlődést, nem teszi tönkre, így nem veszélyezteti gyermekei jövőjét.

Történelmi példák

A komplex szemlélet figyelmen kívül hagyását jól példázzák az alábbi vízzel kapcsolatos esetek.

Példák az ókorból

Bizonyos emberi tevékenységek a növénytakaró megbontásával megszüntették a természetes viszonyokat, utat engedve elsősorban a víz, és a szél által is előidézett pusztulásnak. Az beavatkozás lehet erdőirtás, lejtő irányú talajművelés és még számtalan emberi tevékenység eredménye, melyek hatására a víz és a szél a természetes, a talajképződés által pótolhatónál több termőföldet szállított magával.

Vízerózió során a magasabb térszínről a felszínt borító réteg elszállítódik (2. ábra), és egy alacsonyabb térszínű területen halmozódik fel.

Ennek tipikus példája Ephesus (valamikor virágzó kikötőváros) hanyatlása. Pollenvizsgálatokkal bizonyították, hogy a város alapításának időszakában környezetét tölgyerdők borították. A hajózás fellendülése azonban egyre nagyobb erdőpusztítással járt együtt. Ennek következtében fokozódott az erózió, és ezzel együtt a kikötő egyre jobban feltöltődött. Az eredmény az lett, hogy a város fellendülését biztosító tengeri kikötő egyre messzebb és messzebb került Ephesus-tól. Kikötő híján a város hanyatlásnak

indult, azaz mai szemmel már tisztán láthatjuk, hogy a környezet károsítás gazdasági és társadalmi károkat is okozott.

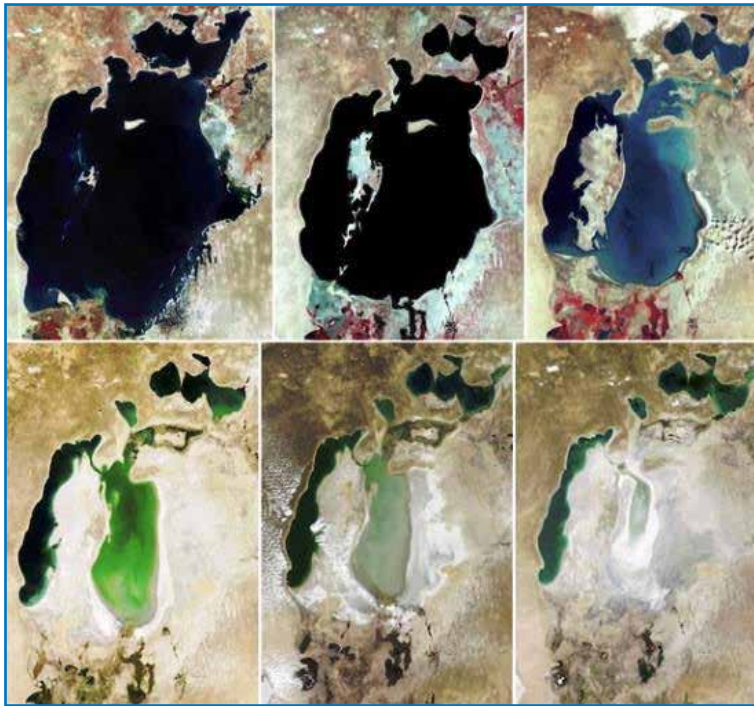


2. ábra: Esőzés után, a magasabb térszínről a víz által szállított különböző összetételű hordalékok a Kárpátokban. Fotó: Kiss Ferenc (2009).

Az ókorban a szántással egy időben jelent meg az öntözés, ami segítette a nagyobb mennyiségű élelmiszer előállítását, ami gazdasági előny mellett társadalmi hatással is járt, hiszen a több élelem fokozta a népesség növekedését. Ezzel együtt azonban a káros környezeti következmények, mint pl. a szikesedés, is megjelentek. A szikszó kiválása azt eredményezte, hogy élelmiszer termelésre egyre inkább alkalmatlanná váltak a talajok, s ez a terméshozamok csökkenéséhez vezetett. Ma már látható, hogy a környezeti kár gazdasági, majd idővel súlyos társadalmi problémához vezetett. Egyes történészek szerint a helytelen öntözés következtében beálló másodlagos szikesedés vezethetett bizonyos kultúrák pusztulásához. Egyik példája ennek a sumér civilizáció hanyatlása. Az i.e. 3500-tól 1800-ig terjedő időszak alatt a sumér mezőgazdaság hozama fokozatosan romlott az öntözést követő szikesedés miatt. Az okot ma már egyszerű megérteni. Az állandó öntözés megemelte a talajvíz szintjét, de nem rendelkeztek megfelelő csatornával, ezért a vizet nem tudták elvezetni. Amikor a talaj felső rétegéből elpárolgott a víz, az oldott só a talaj felszínén kivált. Akkor ezt a folyamatot úgy írták le, hogy „*a föld lassan fehérré változott*” (KISS és SZABÓ, 2005).

Az Aral-tó esete

A gazdasági igények nem kezelhetőek elkülönülten a szociális és környezeti problémáktól, ha azokat fenntartható módon kívánjuk megoldani. Ezen három tényező egyensúlyának durva megsértését, s rendkívül súlyos következményeit jól mutatja az Aral-tó tragédiája (2. ábra). Az Aral-tó a Föld negyedik legnagyobb tava volt, közel 400 km-es hosszúsággal és 300 km szélességgel, a mélysége 67 m-t is elérte. Halban nagyon gazdag volt, és élénk hajóforgalom jellemezte. Mára azonban a tó majdnem teljesen sivataggá vált.



3. ábra: Az Aral-tó drámai kiszáradását mutatják a NASA felvételei a 1960-as évektől napjainkig. Forrás: NASA Earth Observatory

A tó vízfelülete az elmúlt több mint ötven év során jelentősen csökkent, amelyet csak önmagában tekintve környezeti katasztrófaként értékelhető. Azonban ettől sokkal több történt. A szovjet uralom idején politikai döntés született a térség gazdasági „fejlesztéséről”, amely figyelmen kívül hagyta, a környezeti hatást, helyi hagyományokat, az ott élő emberek érdekeit. Olyan határozatot hoztak, mely az Aral-tó környékét rizs- és gyapottermesztésre jelölte ki. Az ehhez szükséges vizet a tavat tápláló két folyó, a Szirdarja és Amudarja vizének csatornába történő terelésével oldották meg. Az eltereléssel lényegesen kevesebb víz jutott a tóba, ezért mára szinte teljesen kiszáradt (4. ábra). Ez a nem körültekintő, egyoldalú szemlélet végül teljes gazdasági összeomláshoz és súlyos társadalmi problémákhoz vezetett. Ma az Aral környékén magas a munkanélküliség, a szegénység. A bekoncentrálódott és a kiszáradt mederben kivált vegyszerek okozta megbetegedések száma rendkívül magas. Ezért a falvak sorra néptelenednek el, majd szűnnek meg azok a közösségek, amelyeknek fennmaradását hosszú időn keresztül a tó biztosította, a halászat révén (BOSCH, et al., 2007; MICKLIN, 2007).

A történelmi példák tanulságot szolgálnak a ma élő ember számára. De vajon tanult-e ebből az ember, s ha igen vajon időben megtanulta-e a leckét és képes-e a tanulságot, a tanultakat alkalmazni?



4. ábra: Az Aral-tó jelenlegi állapota. Folyamatos vonal mutatja az eredeti partvonalat. A kép a NASA Terra műholdjának MODIS egységével készült 2014. augusztusában.

Forrás: NASA Earth Observatory

Az ENSZ legújabb fenntarthatósági céljai

30 évvel a fenntartható fejlődés, azaz a gazdasági, a társadalmi és a környezeti harmónia gondolatának megfogalmazódása után 2015-ben „*Világunk-2030*” névvel sikerült a Földünk államainak egy átfogó, minden tagállam számára ajánlott fenntartható fejlődési célokat megfogalmazni. Az 1992-ben elfogadott „*Feladatok a XXI. századra*” elnevezésű program már nem önmagukban tárgyalta a megoldásra váró környezeti problémákat, hanem azok társadalmi és gazdasági összefüggéseit is figyelembe véve. Az új ENSZ program alapját is a fenntartható fejlődési célok adják, „*Világunk átalakítása: A fenntartható fejlődés 2030-ig szóló programja*” címmel. Az itt megfogalmazott célok, részben megerősítik a korábban az 1992-ben majd 2002-ben lefektetett globális fenntartható fejlődési programokat. Megerősítve azt, hogy a klasszikus gazdasági növekedés előtérbe helyező egyoldalú szemlélet nem elfogadható, hiszen a gazdasági növekedés már nem értelmezhető a természeti környezetünk megóvása és ennek megfelelően a fenntartható fogyasztásra és termelésre irányuló politikai akarat nélkül. A következőkben bemutatunk néhányat a megfogalmazott célok közül, kiemelve a vízgazdálkodásra vonatkozóakat.

- Olyan fenntartható élelmiszer termelés gyakorlatának kialakítása, amely elősegíti az ökológiai rendszerek fennmaradását, az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodást és a talajminőség romlásának megállítását.
- Fontos cél annak biztosítása, hogy minden tanuló elsajátíthassa a fenntartható fejlődéssel kapcsolatos ismereteket.
- A települések környezetminőségének javítása és az emberi lakókörnyezet terhelésének csökkentése.
- Az erőforrásokhoz (pl.: a víz) való hozzáférés egyenlő esélyének biztosítása mindenkinek számára.
- *A víz felhasználás javítása, a komplex vízgazdálkodás és az ehhez kapcsolódó ökoszisztémák védelme.*
- *Fontos a mindenkinek számára elérhető tiszta ivóvíz és a szanitáció, valamint higiénia elérhetősége.*
- *Az óceánok és a tengerek szennyezésének, savasodásának és az ezekből fakadó káros hatásoknak a csökkentése.*

A program és a célok, fontos jellemzője, hogy komplex módon szemléli az ember által kifejttet hatásokat, így például az éghajlatváltozást is, amely egyike azon témaköröknek, amely sokoldalúan fejti ki hatást a Föld vízkészletére és a víz körforgására. Nézzünk ezekből a hatásokból néhányat (GRIGGS 2013; UN 2015).

A gleccserek visszahúzódása

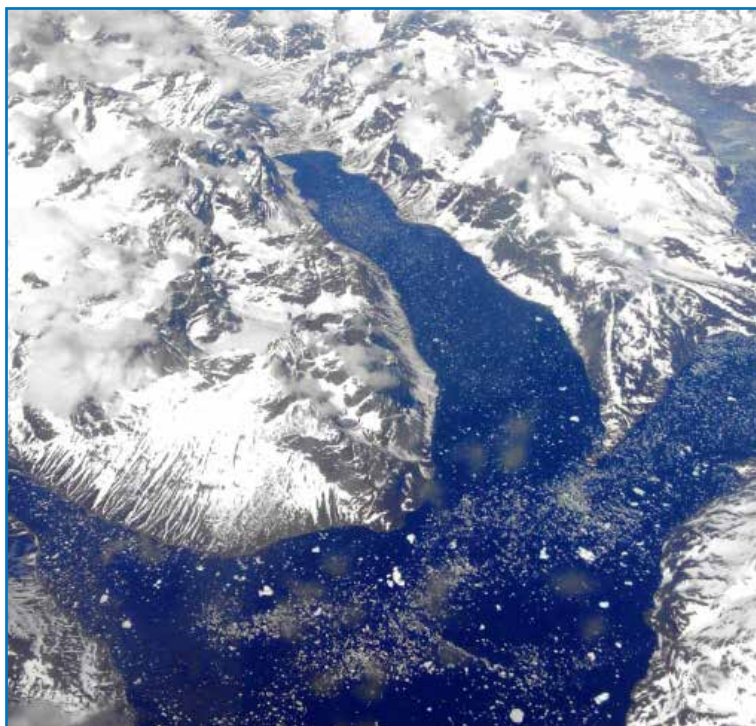
A glaciológusok eredményei alapján megállapítható, hogy 1850 óta világszerte a Föld különböző pontjain a jégárak visszahúzódóban vannak. Ennek sokrétű következményei lehetnek. Például az ivásra is alkalmas vízkészletek csökkenése, a gleccserekhez kötődő növények és állatok pusztulása, és a világtengerek szintjének emelkedése. Számos publikáció bizonyítja, hogy mindez összefüggésben van a globális felmelegedéssel. Az eredmény a magas hegyvidékek jégsapkáinak és gleccsereinek fogyatkozása a Himalája, Andok, Alpok, Kilimandzsáró stb. területén.

A globális felmelegedés következtében 1980 óta a gleccserek még erőteljesebb olvadásnak indultak. A bennük található jégtömeg fogyásának sebessége 2007-re az 1996-os adatokhoz képest kétszeresére növekedett (LAMY, F. 2015; EPICA 2006).

Tengerszint emelkedés

Az ember által okozott globális felmelegedés megfékezésére évtizedek óta folynak próbálkozások, s a jelenlegi ENSZ fenntartható fejlődési célok között is kitüntetett szerepet kapott. Ennek ellenére a tudományos kutatások azt mutatják, hogy a felmelegedés következtében tengerszint jelentősen megemelkedhet a következő évszázadokban. A jelenlegi tengerszint emelkedésére vonatkozóan még nincsenek pontos adatok, azonban a különböző kutatási eredmények azt mutatják, hogy 1990-től a tengerszint emelkedés néhány 10 cm lehet. Az elmúlt évmilliók során, a grönlandi és az antarktiszi jég egy része bizonyíthatóan elolvadt, mert a maihoz hasonlóan a Föld átlaghőmérséklete megemelkedett. Ebből az következik, hogy a XXI. század végére a tengerszint emelkedés a mai néhány 10 cm-ről akár 1 m-re is fokozódhat. Ha nem sikerül a globális fölmelegedést +2°C alatt tartani, a jelenlegihez képest a tengerszint emelkedés akár több méteres is lehet. A műholdas mérések segítségével a Grönlandon és az Antarktiszén lévő jég

térfogatát meghatározták és ezek alapján kiszámítható, hogy teljes olvadás esetében a tengerszint emelkedéshez Grönland kb. 7 méterrel, míg az Antarktisz kb. 70 méterrel járulhat hozzá. Ez katasztrofális lehet az emberiségre, hiszen a 7 milliárd ember jelentős része tengerek, illetve az óceánok partján él. A jelenlegi modellek azt mutatják, hogy mint egy 6 méternyi tengerszint emelkedéshez, akár több évszázadra is szükség lehet, azonban az is ismert, hogy a földtörténet során ettől sokkal gyorsabb ütemű változások is voltak az ember jelenléte nélkül is. Az ősi jégminták és élőlénymaradványok vizsgálata azt mutatja, hogy kb. 125 ezer évvel ezelőtt lezáruló meleg periódusban a hőmérséklet a maihoz hasonlóan nőtt és ez a tengerszintjét több mint 6 méterrel emelte meg. 400 000 évvel ezelőtt, amikor a hőmérséklet a mostanitól kb. 1-2 Celsius-fokkal volt melegebb, a tengerszint szintén több mint 6 méterrel emelkedett.



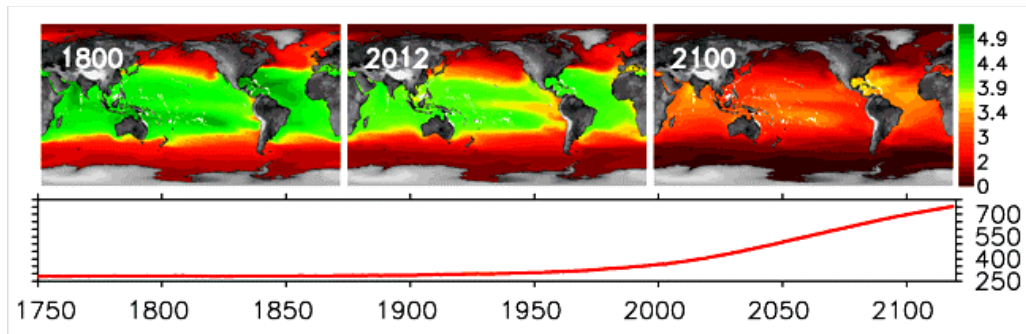
5. ábra: Grönlandi gleccserek feldarabolódása. A szárazföldről származó, vízben úszó fehér jégtömbök a meleg tenger vízben elolvadva teljes térfogatukkal emelik a vízszintet.
Fotó: Kiss Ferenc (2014).

Grönland (5. ábra) és az Antarktisz napjainkban folyó vizsgálata azt mutatja, hogy az utóbbi évtizedekben mindkét területen jelentős olvadások következtek be, és a legutóbbi évek eredményei alapján elmondható, hogy mindkét terület hosszú távú olvadása globális fölmelegedés megállítása nélkül nem lehetséges (DUTTON, 2015).

A tengerek savasodása

Egyre több kutatási adat van arra vonatkozóan, hogy a világtengerek kb. 1 milliárd köbkilométernyi vize, milyen mennyiségben nyeli el a légköri szén-dioxidot. A legújabb adatok azt erősítik meg, hogy a légkörbe kerülő szén-dioxid kb. egyharmada elnyelődik a világten-

gerekben. Ez a gáz vízzel reagálva szén-savat hoz létre, ami ugyan gyenge savnak minősül, de képes csökkenteni az elnyelő közeg pH-ját. A tengerekben sok olyan élőlény él, amelynek mészvázát a kis mértékű pH csökkenés is károsan befolyásolja. Úgy tűnik a változás sebessége sokkal gyorsabb, mint ahogyan ahhoz az érintett élőlények alkalmazkodni tudnának. Klímakutatók, tengerbiológusok, oceanográfusok és vegyészek eredményeiből készült legújabb modell azt mutatja, hogy a XXI. század végére a klímaváltozással együtt jelentős pH csökkenés következhet be. A modell nemcsak a pH változását veszi figyelembe, hanem az ehhez kapcsolódó kalcium-karbonát telítettség szintet. A kettő szorosan összefügg, hiszen ahogy a tengerek elsavasodnak, ez a telítettség szint csökken (6. ábra). A rendelkezésre álló adatok azt mutatják, hogy a jelenlegi telítettség szint sokkal alacsonyabb, mint a korábbi értékek. Ha a pH-t nézzük, vannak olyan térségek, ahol a csökkenés közel kettő egész, azaz a víz savassága olyan mértékű, hogy a korallszirtek meszesedése 20%-kal csökken. A további változás rendkívül súlyos hatással lehet például a korallzátonyok ökoszisztémájára. Jelenleg a világtengerek 50%-ban elég magas a kalcium-karbonát telítettség szint ahhoz, hogy koralltelepek alakuljanak ki. Ha a savasodás tovább folytatódik a XXI. század végére a modell szerint mindössze 5%-ban lesz alkalmas a koralltelepek kialakulására. Ilyen gyors változásnak rendkívül súlyos következményei lehetnek (FRIEDRICH, et al., 2012)



6. ábra: A felső térkép a relatív karbonát telítettség (Ω) időbeli változását, egyben az elsavasodást is jelzi. Az alsó grafikon a légkör szén-dioxid koncentrációját ábrázolja ppm-ben.

Forrás: <http://www.nature.org/>,

http://iprc.soest.hawaii.edu/users/tobiasf/Outreach/OA/Ocean_Acidification.html

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Az emberiség történelmében sok olyan példa van, amely azt mutatja, hogy a víz nem megfelelő használata jelentősen befolyásolja a kisebb nagyobb csoportok, sőt egyes nemzetek jövőjét is. Bár ezeket a történelmi tapasztalatokat még nem használjuk föl kellően, az ENSZ törekvései már tartalmazzák a vízzel való globális gazdálkodás szükségességét. A 2030-ig szóló célok között az is szerepel, hogy az oktatásnak fontos szerepe van egy fenntarthatóbb jövő megalkotásában, ezért a javaslat az, hogy sokkal nagyobb mértékben lenne szükséges az ember és a víz viszonyát taglalni a különböző tananyagokban.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet az életet adó víznek.

„...jó vizek, öntözzetek meg, és kit oly rosszul szeretlek, válts meg, égi tisztaság!”
(Szabó Lőrinc)

IRODALOMJEGYZÉK

- BOSCH, K., 2007. Evaluation of the toxicological properties of ground and surface-water samples from the Aral Sea Basin. *Science of the Total Environment*. 2007;374:43-50.
- BRUNDTLAND, G. H., 1987. *Közös jövőnk, A környezet és fejlesztés világbizottság jelentése*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- DUTTON, A., CARLSON, A. E., LONG, A. J., MILNE, G. A., CLARK, P. U., DECONTO, R., HORTON, B. P., RAHMSTORF, S., RAYMO, M. E., 2015. Sea-level rise due to polar ice-sheet mass loss during past warm periods, *Science*: Vol. 349 no. 6244, DOI: 10.1126/science.aaa4019
- EPICA COMMUNITY MEMBERS, 2006. One-to-one coupling of glacial climate variability in Greenland and Antarctica. *Nature* 444(7116):195–198. doi:10.1038/nature05301
- FRIEDRICH, T., TIMMERMANN, A., ABE-OUCHI, A., BATES, N. R., CHIKAMOTO, M. O., CHURCH, M. J., DORE, J. E., GLEDHILL, D. K., GONZÁLEZ-DÁVILA, M., HEINEMANN, M., ILYINA, T., JUNGCLAUS, J. H., MCLEOD, E., MOUCHET, A., SANTANA-CASIANO, J. M., 2012. Detecting regional anthropogenic trends in ocean acidification against natural variability, *Nature Climate Change*, doi:10.1038/nclimate1372.
- GRIGGS, D., STAFFORD-SMITH, M., GAFFNEY, O., ROCKSTRÖM, J., ÖHMAN, M. C., SHYAM-SUNDAR, P., STEFFEN, W., GLASER, G., ANIE, N. & NOBLE, I., 2013. Sustainable development goals for people and planet, *Nature*, Volume: 495, Pages:305-307, doi: 101038/495305a Published online 20 March 2013
- KISS F., SZABÓ Á., 2005. *Környezet-tudomány-történet*, Bessenyei Kiadó, Nyíregyháza
- LAMY, F., ARZ, H. W., KILIAN, R., LANGE, C. B., LEMBKE-JENE, L., WENGLER, M., JÉRÔME AISER, BAEZA-URREA, O., HALL, I. R., HARADA, N., AND TIEDEMANN R., 2015. Glacial reduction and millennial-scale variations in Drake Passage throughflow, *PNAS*2015 112 (44) 13496-13501; doi:10.1073/pnas.1509203112
- MICKLIN, P., 2007. The Aral Sea Disaster. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. ;35:47-72.
- TÓTHNÉ SZITA KLÁRA, CSORDÁS TAMÁS, DABASI HALÁSZ ZSUZSANNA, RONCZ JUDIT, SÍPOS-NÉ NÁNDORI ESZTER , 2011. *Fenntartható fejlődés; gazdálkodás a természeti és az emberi erőforrásokkal*, Nemzeti Tankönyvkiadó
- UN, 2015. *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development* (UN, New York, 2015); <http://bit.ly/TransformAgendaSDG-pdf>.
- UN, 2015. *Global Sustainable Development Report* (UN, New York, 2015); <http://bit.ly/2015GSDR-pdf>.

SUSTAINABILITY AND WATER

Ferenc Kiss and Márta D. Tóth

*College of Nyíregyháza, Institution of Environmental Science
H-4400 Nyíregyháza, Sóstói str. 31/b, Hungary, E-mail:kissfe@nyf.hu*

The 2030 Agenda for Sustainable Development is a plan of action for all the nations. To realise this plan we must recognise that water management is one of the greatest global challenge and an indispensable requirement for sustainable development. One of the goals is „...improve water quality by reducing pollution, eliminating dumping and minimizing release of hazardous chemicals and materials, halving the proportion of untreated wastewater and substantially increasing recycling and safe reuse globally.” The goal 12 is: „Improve education, awareness-raising and human and institutional capacity on climate change mitigation, adaptation, impact reduction and early warning.” Very important the awareness-raising in different climate change related problems like melting of glaciers. Rising global temperatures will speed the melting of glaciers and rising seas, and shrinking lakes. One of the global changes linked to the carbon-dioxide emission and global warming is the ocean acidification. Changes in ocean carbon-dioxide absorption resulting in a decrease of seawater pH and carbonate ion concentration, referred to as ocean acidification. This change constitutes a very serious hazard to global ocean ecosystem and marine resources such as fisheries and food supply.

GYÓGYSZERMARADVÁNYOK ELTÁVOLÍTÁSA KÜLÖNBÖZŐ TÍPUSÚ VIZEKBŐL

Gerencsérné Berta Renáta, Rácz Gábor, Galambos Ildikó

*Soós Ernő Víztechnológiai Kutató és Fejlesztő Központ,
8800 Nagykanizsa, Üllő u. 3. E-mail: berta.r@sooswrc.hu*

ÖSSZEFOGLALÁS

A mikroszennyezők előfordulása különböző vizekben egyre inkább világméretű probléma. Ezzel együtt nő az emberek aggodalma is, hiszen hosszú távú veszélyt jelentenek az ökoszisztémára. Hatásukat számos hosszan tartó, nagyterjedelmű tanulmányban vizsgálták, és az eredmények aggasztóak. A legtöbb vízkészlet visszaforgatására kidolgozott eljárás nem úgy kerül kialakításra, hogy el tudja távolítani a mikroszennyezőket, bár megoldható lenne a hatékony eltávolítás. A mikroszennyezők stabilak, valamint bioaktívak is, ami azt jelenti, hogy nem teljesen lebonthatóak és nem távolíthatók el a hagyományos vízkezelési technológiákkal. Megállapították továbbá, hogy a mikroszennyezők folyamatos felszabadulása a szűrletben hosszú távú veszélyeket okozhat, mert a szennyezőanyagok biológiailag felhalmozódnak és kialakulhatnak új keverék molekulák a vizekben, azonban nem csak a szennyvizekben, hanem az ivóvízben is. A mikroszennyezők hatása nem teljesen ismert, mivel a gyógyszerhatóanyagokon kívül azok metabolitjai találhatóak inkább vizeinkben és a megfelelő bomlási sorok nem minden esetben felderítettek. Ezen terület megvalósítandó feladata olyan új és hatékony szűrési folyamatot találni, mellyel a mikroszennyezők eltávolíthatók. A feladatot megközelíthetjük a szennyvíz vagy az ivóvíz oldalról is.

BEVEZETÉS

Az elmúlt évek alatt egyre több tanulmány hívja fel a figyelmet a vizeinket veszélyeztető természetes és mesterségesen előállított kémiai anyagokra, amelyek a vízi élővilágra hatást gyakorolnak. Évente, bizonyos becslések szerint 10.000 felett van az újonnan előállított vegyületek száma. A legújabb kor szakemberei pedig elő tudnak állítani jobbulást ígérő medicinákat, melyek millió tonnait bocsátják ki a gyárak évente a világon. A gyógyszereknek köszönhetően a természetes gyógymódok egyre jobban háttérbe szorulnak. A gyógyszerek meghosszabbítják az életet és megoldást jelentenek a helytelen életmód miatt kialakuló népbetegségekre. Nem csoda tehát, hogy a gyógyszerfogyasztás jelentősen megnövekedett.

Nagy mennyiségben szedett gyógyszerek az antibiotikumok, nem szteroid gyulladáscsökkentők, a fogamzásgátlók, a szív- és érrendszeri betegségek kezelésére alkalmasak, valamint a gyomorsav túltengést gátló szerek. A szervezetben le nem bomlott gyógyszerhatóanyagok a vizelettel távoznak a szervezetből, melyek a szennyvízzel bekerülnek a természetes vizekbe, ahonnan visszajuthatnak tisztítás után az ivóvízbe.

A gyógyszerek felhasználásán kívül jelentős a különböző növényvédő szerek használata is, melyek maradványai szintén szennyezik a természetes vizeinket, valamint a felszín alatti vízrétegbe kerülve bejutnak az ivóvízbázisba.

Bár az ivóvízben mind a gyógyszermaradványoknak, mind a növényvédő szer maradványoknak kis mennyiségük mutatható ki, azonban a mikroszennyezések hosszú távú hatása nem igazolt. A problémát az jelenti, hogy a szennyvíztisztítók a jelenleg alkalmazott technológiával nem képesek teljes mértékben eltávolítani ezeket az anyagokat, így a felszíni vizekbe kerülve az ivóvízbe is juthatnak, ami az emberi/állati fogyasztás útján visszakerül a szervezetbe. A megfelelő mértékű eltávolításhoz nagyon költséges beruházásokra van szükség. Ugyanakkor az is nehezíti a helyzetet, hogy bizonyos tisztítási technológiák alkalmazása során az eredetnél még veszélyesebb anyagok (metabolitok) is kialakulhatnak.

Mivel a mikroszennyezők nyomnyi mennyiségben fordulnak elő a vizeinkben, így a kimutatásuk a napjainkban elérhető nagyműszeres technikákkal vált lehetővé. Ezen technikák alkalmasak a ppm (esetenként a ppb) mennyiségek kimutatására is, azonban ezen analitikai mérések rendkívül költségesek. Munkám során célul tűztem ki egy mintabesűrítő egység kidolgozását ciklodextrin-tartalmú adszorbens felhasználásával, amely lehetőséget teremt a nyomnyi szennyeződések koncentrálására.

MIKROSZENNYEZŐK ELŐFORDULÁSA A VIZEKBEN

Gyógyszermaradványok

A világ népessége által felhasznált gyógyszer mennyiség egy része a szennyvíztisztító rendszereken keresztül, más része pedig direkt módon a felszíni vizekbe kerül. Ez a tény már több mint 35 éve ismert, azonban mégis csupán az utóbbi években kapott jelentősebb figyelmet. A kutatások szerint számos forrásból kerülhetnek be gyógyszermaradványok a vízbe (ld. 1. ábra). Ezek egyik útja az emberi vagy állati fogyasztáson keresztül a szennyvízzel a környezetbe kerülő – a szervezetben le nem bomlott gyógyszermolekulák és metabolitjaik révén. Ilyenek tipikusan a népszerű fájdalomcsillapítók, nem szteroid gyulladáscsökkentők, kábítószeres vagy fogamzásgátlók. A lejárt szavatosságú, vagy fel nem használt gyógyszerek jelentős többsége a helytelen megsemmisítés miatt szintén a szennyvízbe jut. A beteg, vagy elhullott állatok nem megfelelő elhelyezése, kezelése is környezeti és egészségügyi problémákat vet fel. Könnyen belátható, hogy a tisztított szennyvízen keresztül ezek bekerülhetnek az ivóvízbázisba. A tisztított szennyvízből az élővizeinkbe kerülő gyógyszerészarmazékok, hormonok hatására lehetnek egyed szinten a vízben élő szervezetekre, rendszer szinten a táplálékláncokra (COLBORN et al., 1993; TOPPARI et al., 1996). A természetbe kijutó szteroidok egy részét az emberi és állati endokrin folyamatok bomlástermékei, míg más részét, az orális fogamzásgátló tabletták hatóanyagának bomlástermékei, az ösztradiol szintetikus formája az etinil-ösztradiol adja (SNYDER et al. 2003). A hormonok és hormonszarmazékok biológiai lebontása általában lassú, így azok bioakkumulálódnak. A vizekben akkumulálódó természetes és szintetikus hormonok már kis koncentrációban (ng/l) változásokat idézhetnek elő az egyébként stabil ökoszisztémákban. A környezetet közvetlen terhelhetik a gyárak, gyártók, egészségügyi intézmények az ipari vagy orvosi hulladékokon keresztül is.

Több tanulmány született igazolva azt a tényt, hogy a gyógyszermaradványok egy része nem távolítható el a szennyvíztisztítás során, melyek koncentrációja 1 ng/l-től 10 µg/l-ig változott. A rendelkezésre álló adatok szerint (PREUSS et al., 2001, SACHER et al., 2001, MERSMANN et al., 2002), elsősorban az erősen poláris gyógyszermolekulák jutnak át a szennyvíztisztítási lépcsőkön és még a parti szűrésű kutakból nyert ivóvizekben is kimutathatók (TERES et al., 1998, ZWIENER et al., 2000, HEBERER et al., 2002).



1. ábra: Gyógyszermaradványok eredete és sorsa a környezetben (Forrás: INTERNET1)

Néhány gyógyszerhatóanyag felszíni vízben kimutatott koncentrációját mutatja be az 1. táblázat.

1. táblázat: Gyógyszerhatóanyagok koncentrációja a felszíni vizekben, Európában (Forrás: INTERNET 2, HELENKÁR et al, 2010)

Komponens	Átlagos (max.) koncentráció (ng/l)					
	Ausztria	Finnország	Franciaország	Németország	Svájc	Magyarország
<i>Bezafibrate</i>	20 (160)	5 (25)	102 (430)	350 (3100)	-	-
<i>Carbamazepine</i>	75 (294)	70 (370)	78 (800)	25 (110)	30-150	-
<i>Diclofenac</i>	20 (64)	15 (40)	18 (41)	150 (1200)	20-150	20-931
<i>Ibuprofen</i>	-	10 (65)	23 (120)	70 (530)	-	4-110
<i>Iopromide</i>	91 (121)	-	7 (17)	100 (910)	-	-
<i>Roxithromycin</i>	-	-	9 (37)	<LOQ (560)	-	-
<i>Sulfamethoxazole</i>	-	-	25 (133)	30 (480)	-	-

A kis koncentráció (ng/l) kimutatását a napjainkban rendelkezésre álló érzékeny analitikai műszerek teszik lehetővé. Azonban a rendkívül összetett és változó mátrix miatt a minta-előkészítés sokszor hosszadalmas, időigényes folyamat. Elsősorban megbízható elválasztási és dúsítási eljárásokat kell kidolgozni, amiben alapvető szerepet játszik a mikroextrakció. Számos tanulmány foglalkozik gyógyszermaradványok mérésével különböző vizekből (szennyvíz, felszíni víz) (CONLEY et al., 2008, ALDER et al., 2010, ZHAO et al., 2009, SPONGBERG et al., 2008, ZHOU et al., 2009). Annak érdekében, hogy ezek sorsa a vízi környezetben nyomon követhető legyen, és lehetővé váljon hatékonyabb tisztító eljárások kidolgozása, olyan analitikai módszerek szükségesek, amelyekkel a vegyületek különböző eredetű vízmintákból, néhány ng/l mennyiségben is meghatározhatóak. Analitikai módszerek már rendelkezésre állnak a különböző vegyület családokra, melyek megfelelő minta-előkészítés után alkalmaznak különböző származékokként GC-MS, vagy LC-MS technikával történő meghatározásra (ANDRÁSI et al., 2013, 2011, 2011, PERLNÉ MOLNÁR et al., SEBŐK et al., 2008. 2008, PIRGER et al., 2010).

Növényvédő szerek (peszticidek)

A peszticidek a mezőgazdaságban használt szerek, melyeket gyomirtásra, rovarirtásra, gombák-, baktériumok irtására használnak. A kormányrendelet a felszín alatti vizek jellegétől, valamint a peszticid vizsgálat eredményétől függően 5 illetve 10 évre írhatja elő a peszticidek vizsgálati gyakoriságát, amennyiben ez idő alatt nem áll fenn szennyezés gyanúja. A hazai ivóvizekben azonban a peszticidek előfordulása rendkívül ritka. A 2. ábra szemlélteti vegyületcsoportokra osztva az előforduló peszticideket.

	Példák	Toxikus hatások
Vegyületcsoport		
Organoklór vegyületek (halogénezett szénhidrogének)	DDT, lindán, dieldrin, klordán	Karcinogén, hormon agonista, neurotoxikus
Organofoszfátok	Parathion, chlorpyrifos	Neurotoxikus, dermatotoxikus
Karbamátok	Malathion, aldicarb	Neurotoxikus, dermatotoxikus
Piretroidok	Cyfluthrin, permethrin, fenvalerate	Valószínűleg immunotoxikus és neurotoxikus, hormon agonista, antagonist
Herbicidek		
Dipyridyl	Paraquat, diquat	Pulmonáris fibrózis
Egyéb	Atrazin, alaklór	Karcinogén

2. ábra: Peszticidek előfordulása

Gyógyszerekre vonatkozó határértékek

A gyógyszermaradványra határérték nem létezik, az Európai Unióban is csak nemrégiben kezdték a legkritikusabb összetevők maximális koncentrációjának meghatározását. Ivóvíz minőségre vonatkozóan a WHO és ennek alapján az EU a határértékeket

a kockázati alapon számított hosszú távú egészségügyi hatás alapján határozza meg a különböző szennyezőanyagokra. Jelenleg peszticidekre és számos más szennyezőre van vizsgálati kötelezettség és határérték, gyógyszer- vagy hormonmaradványokra nincs, mivel a jelenlegi tudományos bizonyítékok alapján nem alakult ki konszenzus a közegészségügyi kockázat szempontjából jelentős mennyiségre vonatkozóan. Ugyanakkor a környezetben előforduló hormonhatású anyagok kockázatfelmérésének jelentőségét világszerte felismerték, jelenleg kutatási céllal többek között ivóvízben is vizsgálják. Magyarországon - ismereteink szerint - ilyen irányú, széles körű, megbízható vizsgálatok nem történtek. Jogszabályi kötelezettség hiányában a közegészségügyi hatóságok ilyen típusú rendszeres méréseket nem végeznek, nem csak Magyarországon, sehol a világon.

Kutatási célú felmérésekben a nemzetközi tapasztalatok azt mutatják, hogy a védett vízadóból származó rétegvizekben – amelyek Magyarország ivóvizének jelentős hányadát adják – szinte kizárható a gyógyszermaradványok előfordulása. Kockázatot a nagy szennyvízterhelésnek kitett felszíni vizekből készülő ivóvíz jelenthet, mivel a szennyvízben valóban jelentős mennyiségű gyógyszermaradvány lehet jelen. Azokban az esetekben, ahol az analitikai vizsgálatok kimutatták egyes gyógyszermaradványok jelenlétét, a nagy érzékenységű vizsgálómódszerek alkalmazása miatt a tényleges egészségkockázat megértése érdekében nem elég a kémiai elemzés eredményeire támaszkodni, hanem az esetleges előfordulást az anyagok hatásos koncentrációjához kell viszonyítani.

Peszticidekre vonatkozó határértékek

Az ivóvízre vonatkozó 201/2001 kormányrendelet az összes peszticidre 0,50 µg/l, az egyes egyedi peszticidekre 0,1 µg/l, ill. az aldrin, dieldrin, heptaklór és heptaklór-epoxid vegyületekre (egyenként) 0,030 µg/l határértéket határoz meg.

Az ivóvízben vizsgálandó peszticidek körét az OTH az OKI javaslata alapján határozza meg. A fent említett Kormányrendelet így fogalmaz: „Csak azokat a peszticideket kell rendszeresen vizsgálni, amelyek az adott vízellátó rendszerben jelen lehetnek. Ennek eldöntéséhez évente ad támpontot - hivatalos közlönyben - az OTH, de a helyi információk (környezetvédelmi felügyelőségek, fővárosi és megyei kormányhivatal népegészségügyi szakigazgatási szervei, növényvédelmi állomások véleményének) figyelembevétele is szükséges.”

MIKROSZENNYEZŐK KÉRDÉSE A FEJLETT EURÓPAI ORSZÁGOKBAN

Külföldön *három európai ország* szakembereinek álláspontját foglalom össze. Kiválasztottam egy olyan országot, ahol még nem érzik olyan súlyosnak a problémát, egy olyat, ahol inkább kérdőjelekkel találkozunk, de nagyon sokkal, és egy olyant, ahol már rendelet szabályozza az antropogén szennyezők elleni harcot.

Ausztria

Az osztrák vízművek csak talajvizet és forrásvizet használnak. Nincs felszíni vízmű, parti szűrés is elenyésző. Ezen okból nem érzik olyan nagy problémának a nyomelemek témát.

2010-ben a Környezetvédelmi Hivatal „Antibiotikumok a talajvízben” címmel indított egy kutatást. 50 mérési helyen vizsgálták a kutak által termelt vizet, 18 fajta gyógyszerrel kapcsolatban. Alig találtak gyógyszermaradványt, és azt is olyan kis mennyiségben, aminek nem lehet egészségkárosító hatása.

Fentiek ellenére az Osztrák Víz és Gáz Szövetség (ÖVGW) fontosnak tartja a jövőben a nyomelemekkel kapcsolatos folyamatos kutatásokat, ismeretbővítést.

Németország

Ez az ország tele van kérdéssel. Mindent tudnak a jelen, vagy inkább a jövő problémájáról, folyamatosan foglalkoznak a nyomelemekkel, de hivatalosan is feltették a kérdést: „Legyen, vagy ne legyen 4. tisztítási fokozat?”

Egy reprezentatív közvélemény kutatás szerint a németek 47 százaléka helytelenül „szabadul” meg a folyékony gyógyszer maradványuktól. Egyszerűen a mosogatóba, vagy a WC csészébe önti. És mennyi ez a mennyiség? A mintegy 1200 fajta humán gyógyszerből 2012-ben 8120 tonnát (az elmúlt 10 év alatt 20 százalékos volt a növekedés) vásároltak meg. Ebből becsülten néhány száz tonna felhasználás nélkül a csatornába kerül. És ehhez jön még 1600 tonna antibiotikum, amit az állatorvosok adtak el.

Érthető, hogy a 4. szennyvíz-kezelési fokozat, melynek célja a mikroszennyezők visszatartása vagy lebontása lenne, állandó témája a szakmának. Tekintettel a magas beruházási és üzemeltetési költségekre, a német jövő kép két fő irányt követ.

- nagyon komoly nyomást kell azokra az erőfeszítésekre kifejteni, melyek a forrásoknál akarják visszatartani azokat az anyagokat, melyek végül mikroszennyezőként kerülhetnek a felszíni vizekbe (mezőgazdaság, kisvállalkozási, ipari termelő helyszínek, más, koncentrált hulladék helyszínek, lakossági hatások, atmoszférát szennyező kibocsátások), és
- ezzel párhuzamosan a kommunális szennyvíz tisztítók 4. fokozatának legutóbbi álláspontok szerinti kiépítési szükségességét továbbra is vizsgálni kell. Itt gondolni kell a következőkre:
- a felszíni vizekben elérhető pozitív hatások mértékére, és
- a negatív kísérő hatások (költségek, CO₂ kibocsátások, nem kívánt anyagok képződése) csökkentésére.

A kérdések mellett azonban folyik a felelet keresés is. Egy kutató intézet már próbál egyszerű és elviselhető költségű technológiát kifejleszteni. Az Innerstetal tisztítóműben pilot jelleggel érdekes eljárást próbáltak ki, sikeresen: speciális mikroszervezetekkel beoltott aktív kocsz ágy+UV sugárzás. Két órás, reaktorban eltöltött idő után 14 mikroszennyezőt vizsgáltak, az eltávolítási arány 56 és 98 % közötti mértékű volt.

E mellett két tartományban (többnyire felszíni illetve parti szűrésű a víznyerés) már létezik néhány nagyüzemi méretű nyomelem eltávolító telep.

Svájc

Ez az az ország, ahol a meditáció helyett a tettek mezejére léptek. Svájcban 2040-ig a 750 szennyvíz tisztító telepből mintegy 100-ban ki kell alakítani a nyomelemeket eltávolító műszaki megoldást. Az államszövetségi gyűlés a felszíni víz védelmi törvény módosításának életbelépési határidejének 2016. január elsejét tűzte ki. A tisztítóművek alapján véve szabad kezet kaptak a nyomelemeket eltávolító technológia kivá-

lasztását illetően, amennyiben az hatásos és gazdaságos, valamint az illetékes kanton megfelelő előírásait és a tisztítási előírásait biztosítja. Tekintettel azonban arra, hogy a nyomelemeket eltávolító eljárásokkal kapcsolatban még kevés a tapasztalat, 2012-ben egy platformot hoztak létre számos hatóság és a szennyvizes szakemberek szövetségének részvételével, „Mikro szennyezők eljárás technikája” elnevezéssel. Jelenleg 16 projekt van tervezés, kivitelezés illetve már befejezés állapotban. A projektek mind meglévő tisztító telepek valamilyen jellegű technológiával való bővítését jelentik.

Az ismeretek aktuális szintjén megfelel mind a por alakú aktív szén (közvetlen adagolás, vagy egy utólag kialakított lépcső a biológiai fokozatba való visszavezetéssel), mind az ózon adagolás. Más, újszerű eljárások (pl. ferrat adagolás) kifejlesztés alatt vannak, és a jövőben megjelenhetnek, mint sokat ígérő alternatívák. Jelenleg azonban még kevés gyakorlati tapasztalattal rendelkeznek ezekkel az eljárásokkal kapcsolatban. Bár az előbbieken alapján érezhető, hogy Svájc mindent elkövet a mikroszennyeződéseknek a felszíni vizekbe való kerülésének a megakadályozására, mégsem érzi teljes biztonságban az ivóvízellátást. Keres újabb akadályokat a kórokozókkal szemben. Három legnépesebb városából kettő folyamatosan keresi az utat a nyomelemek eltávolítására. Zürichben még csak kísérletek folynak (pedig felszíni vízművük 30 méter mélyből kapja egy hatalmas tóból a nyers vizet), Bazel már lépett is, és tovább vizsgálódik. Utóbbi a parti szűrésű víznyerő telep kezelési technológiáját 2013-ban kiegészítette egy aktív szén szűrő lépcsővel a mikro szennyeződések eltávolítása céljából. Jelenleg a Zürichi Vízműhöz hasonlóan ózon és egy tovább fejlesztett oxidációs (AOP) eljárás kombinációját vizsgálják laboratóriumi méretben.

MIKROSZENNYEZŐK ÉS IVÓVÍZNYERÉS KAPCSOLATA MAGYARORSZÁGON

Magyarországon a felszíni vizekbe esetleg bekerülő mikroszennyeződések két víztermelési formánál okozhatnak minőségi problémákat. A felszíni víznyerés és a parti szűrés az ország ivóvíz termelésének 45 %-át teszi ki. Jelenleg a feladat első lépcsőben egy vízminőség ellenőrző projekt beindítása. A projekt célja annak tisztázása, hogy van-e egyáltalán kimutatható mennyiségű antropogén nyomelem az ivóvízben. Sajnos csak drága labor műszerekkel lehet ezeket a vizsgálatokat elvégezni.

Javaslat azon vízművekre, melyek laboratóriumi felkészültségük és érintettségük kapcsán bekerülhetnének a kiválaszthatók közé. Az összeállításnál figyelembe vettük azt a gondolatot is, hogy lehetőleg minél több felszíni víz érintett legyen.

Felszíni Vízmű

- Szolnoki Felszíni Vízmű. Üzemeltető: Víz- és Csatornaművek Koncessziós Zrt. Szolnok. Nyersvíz: Tisza
- Balmazújvárosi Felszíni Vízmű. Üzemeltető: Tiszamenti Regionális Vízmű Zrt. Nyersvíz: Keleti Főcsatorna (Tiszából indul)

Parti szűrésű vízművek

- Fővárosi Vízművek Zrt. Duna mellett
- Pannon-Víz Zrt. Duna mellett

- Mura menti Vízmű. Üzemeltető: Délzalai Víz- és Csatornamű Zrt. Mura mellett
 - Hernádi Csúcsvízmű. Üzemeltető: Északmagyarországi Reg. Vízművek Zrt. Hernád mellett
 - Perenyei Vízmű. Üzemeltető: Vasivíz Zrt. Gyöngyös patak mellett
- Svájci szinten még hosszú ideig nem lesz mód a téma kezelésére. Remélhetőleg még nem is indokolt.

JAVASLATOK A MIKROSZENNYEZŐDÉSEKKEL KAPCSOLATBAN

a/ A szennyezők mennyiségi csökkentésének segítése.

- a gyógyszergyárak maguk igyekezzenek olyan termékeket előállítani, melyekben egyre kevesebb legyen a szennyező anyag, vagy biológiailag lebontható legyen
- egy új gyógyszer engedélyezésénél figyelembe kell venni annak későbbi esetleges hatását az ivóvízre
- a gyógyszer csomagolásánál tájékoztatni kell a felhasználót annak hatására az ivóvízzel kapcsolatban
- egyéb ipari tevékenységeknél a kórokozók kibocsátásának akadályozása, csökkentése. Tekintettel arra, hogy ilyenkor a szennyező anyag koncentráció lényegesen magasabb, mint a tisztított szennyvízben, a visszatartás sokkal hatékonyabb
- a mezőgazdaságban minden eszközt fel kell használni a növényvédő szerek, az állatorvos által alkalmazott gyógyszerek, és a mikroszennyezőket tartalmazó trágyák felhasználási mennyiségét csökkentésük
- innovatív terápia receptek (pl. lassító eljárások) alkalmazása, a kórházi szennyvizek elkülönített kezelése

b/ A felhasználók felelőssége a gyógyszerekkel kapcsolatban:

- Az orvostól kisebb mennyiséget tartalmazó csomagolásokat kérjenek. Ilyen módon kevesebb lesz a nem felhasznált gyógyszer
- A felesleges gyógyszert ne csapvíz segítségével juttassák a csatorna hálózatban hanem:
- szemétként, amennyiben a település vagy a körzet szemete elégetésre kerül,
- gyógyszertárban, amennyiben azok átveszik. Az átvételt a hatóságoknak minél több gyógyszertárnak elő kell írni,
- káros anyagokat gyűjtő helyen.

Egyedül Budapesten 20 tonna gyógyszer kerül a Dunába évente!

c/ A témával kapcsolatos döntéshozók és érdekeltk találkozójának szervezése a gyógyszer maradványokkal való környezet szennyezés csökkentése érdekében meghívottak: kormányzat, hatóságok, gyógyszer gyártók, orvosok, állatorvosok, mezőgazdasági képviselők, kutatók, környezettel és egészséggel foglalkozó nem kormányzati szervezetek, stb.

d/ Mindenfajta tájékoztatás kihasználása a szakemberek és a közönség bevonása céljából szimpóziumok, konferenciák, sajtó, televízió, szórólapok, szakcikkek.

e/ Minden olyan szakmai kezdeményezés támogatása (esetleg anyagilag is), mely a tisztított szennyvíz nyomelem szennyezőinek lebontását vagy eltávolítását hatékony módon, kis beruházási és üzemeltetési költséggel meg tudná valósítani.

A MIKROSZENNYEZŐK ELTÁVOLÍTÁSI LEHETŐSÉGEI

A gyógyszermaradványok problémája olyankor jelentkezik, amikor a szennyvízkezelés nem kielégítő (például kapacitási problémák miatt), illetve amikor az ivóvizet ugyanabból a forrásból nyerik, ahová a kezelt szennyvizet vezetik (parti szűrésű kutak esetében az ivóvizet a természetes vizekből kapjuk).

A szennyvízkezelő telepek a tisztítási eljárások széles körét alkalmazzák, ezek között vannak fizikai, kémiai és biológiai módszerek. Az előbbi módszerekkel eltávolított gyógyszerek mennyiségére közölt adatok között nagy eltérések vannak még egy adott tanulmányon belül is. A többféle eltávolítási arányt betudhatjuk az eljárások közti különbségeknek és a szennyvízkezelő telepek eltérő felépítésének, illetve egyéb tényezőknek, mint a nagyobb esőzések és az évszakos eltérések. A legtöbb szennyvíztisztító telep általános tisztító eljárásai nem alkalmasak a kis mennyiségű (ng/l) gyógyszervegyületek eltávolítására. A szennyvíztisztítás során felhasznált baktériumtörzsek a konjugált metabolitokat is elbonthatják, így az eredeti anyag ismét megjelenhet a tisztított, elfolyó vízben. Több, az Európai Unió támogatásával is végzett nemzetközi tanulmány készült a szennyvíztisztítás hatékonyságának felmérésére. Ezek tanulsága szerint a kifolyó, tisztított szennyvízzel általában 100 – 3500 ng/l egyedi koncentrációban kerülnek a folyóvizekbe a különböző gyógyszervegyületek és egyéb vegyi anyagok, majd a környezeti vizekben 2 – 400 ng/l-re hígulnak. Az ilyen anyagok, de különösen a természetes és mesterséges szteroidok környezetkárosító hatása bizonyított.

Irodalmi adatok alapján a gyógyszerhatóanyagok egyre nagyobb tömegben jelennek meg a felszíni vizekben, a szennyvízben, valamint a tisztított szennyvízben. A nemzetközi irodalomban hangsúlyos, hogy a kockázatkezelési stratégiákat a gyógyszerek szennyvízből történő eltávolítására kell fókuszálni (Kümmerer 2009, 2009), és a gyógyszermaradékok eltávolításánál a fő szerep a mikroorganizmusoké. A szennyvíztisztító rendszerekben már jelen vannak a gyógyszerhatóanyagokat eltávolító mikroorganizmusok. A Nyírségvíz Zrt. 660 m³/nap kapacitású szennyvíztisztítót üzemeltet, ahol a mikroorganizmusok tevékenysége által, a vizsgált hatóanyagok tekintetében átlagosan > 90%-os eltávolítási hatékonyság volt megfigyelhető, melynek stabilitását és hosszú távú fenntarthatóságát mérések bizonyítják (Internet3).

A nem szteroid típusú gyógyszermaradványok természetes vizekből történő eltávolítására jó lehetőségnek mutatkoznak a nagy biomasszával rendelkező vízi növényfajok, egyrészt bioakkumulációs képességük révén, másrészt a mikrokozmosz rendszer létrejöttével, ahol a biodegradációs és fotodegradációs folyamatok eredményesen lejátszódhatnak (JAKABNÉ et al. 2013).

Számos víztisztítási lehetőség kínálkozik, melyek a gyógyszermaradványokat különböző hatásfokkal képesek eltávolítani a szennyvizekből (ld. 2. táblázat) és az ivóvizből (ld. 3. táblázat) (WHO összesítés (PHARMACEUTICALS, 2012).

Több tanulmány is beszámol arról, hogy az egyes technológiák milyen hatékonysággal tudják eltávolítani a különböző vizekből a mikroszennyezőket, pl. HUERTA-FONTELA és munkatársai (Huerta-Fontela 2008), valamint Boleda és munkatársai különböző technológiai sorokat ismertettek a mikroszennyezők eltávolítására. A jelenleg is meglévő vizsgálatok mellett további kutatások szükségesek, hogy egy a valóságban is megvalósítható, költséghatékony víztisztítási lépés beépülhessen a vízművek ivóvíz-előkészítő rendszerébe.

2. táblázat: Gyógyszerhatóanyagok eltávolítási hatásfoka különböző technológiákkal szennyvízből (Forrás: PHARMACEUTICALS, 2012)

Hagyományos módszerek	Eltávolítási tartomány (%)	Víz forrás
<i>eleveniszap</i>	11 – 99	nyers szennyvíz
<i>biológiai szűrés</i>	6 – 7	kezelt szennyvíz
<i>elsődleges kezelés</i>	3 – 45	nem specifikált
<i>koaguláció, szűrés, ülepités</i>	5 – 36	nem specifikált
<i>homok szűrés</i>	0 – 99	eleveniszap szűrlet
<i>fejlettebb módszerek</i>		
<i>ozonizálás</i>	1 – 99	eleveniszap szűrlet
<i>ozonizálás/ultrahang és szonokatalízis</i>	3 – 45	nem specifikált
<i>ozonizálás és katalitikus ozonizálás</i>	> 9 – 100	nem specifikált
<i>UV besugárzás</i>	29	nem specifikált
<i>Fotolízis</i>	52 – 100	nem specifikált
<i>biomembrán</i>	23 -99	kezelt szűrlet
<i>mikroszűrés és reverz ozmózis</i>	91 – 100	másodlagos kezelt szűrlet
<i>reverz ozmózis</i>	62 – 97	másodlagos kezelt szűrlet
<i>ultrahang</i>	24 – 100	nem specifikált

3. táblázat: Gyógyszerhatóanyagok eltávolítási hatásfoka különböző technológiákkal ivóvízből (Forrás: PHARMACEUTICALS, 2012)

Módszerek	Eltávolítási tartomány (%)
RO	> 99
Koaguláció	24 – 72
NF1	> 98
UF	< 30
O ₃ /Koaguláció/Ülepítés/Cl ₂	100
GAC	100

IRODALOMJEGYZÉK

- ALDER, A.C., G. SCHAFFNER, M. MAJEWSKY, J. KLASMEIER, K. FENNER, 2010. Fate of β -blocker human pharmaceuticals in surface water: Comparison of measured and simulated concentrations in the Glatt Valley Watershed, Switzerland Water Res. 44 936
- ANDRÁSI N., HELENKÁR A., ZÁRAY GY., VASANITS A., MOLNÁR-PERL I., 2011. The role of the acquisition methods in the analysis of natural and synthetic steroids and cholic acids by gas chromatography-mass spectrometry. J Chromatogr A 1218 8264
- ANDRÁSI N., HELENKÁR A, ZÁRAY GY., VASANITS A., MOLNÁR-PERL I., 2011. Identification and quantification of ibuprofen, naproxen, ketoprofen and diclofenac present in waste-waters, as their trimethylsilyl derivatives, by gas chromatography mass spectrometry. J. of Chromatogr. A 1218 1878

- ANDRÁSI N., MOLNÁR B., DOBOS B., VASANITS-ZSIGRAI A., ZÁRAY GY., MOLNÁR-PERL I., 2013. Determination of steroids in the dissolved and in the suspended phases of wastewater and Danube River samples by gas chromatography, tandem mass spectrometry. *Talanta* 115 367
- BOLEDA, M.R., GALCERAN, M.T., VENTURA, F. 2010. Behavior of pharmaceuticals and drugs of abuse in a drinking water treatment plant (DWTP) using combined conventional and ultrafiltration and reverse osmosis (UF/RO) treatments. *Environmental Pollution* 159 (2011) 1584
- COLBORN, T., VOM SAAL, F. S. & SOTO, A., 1993. Developmental effects of endocrine-disrupting chemicals in wildlife and humans *Environ. Health Perspect.* 101 (5): 378-384.
- CONLEY, J.M., S.J. SYMES, S.A. KINDELBERGER, S.M. RICHARDS, 2008. Rapid liquid chromatography–tandem mass spectrometry method for the determination of a broad mixture of pharmaceuticals in surface water *J. Chromatogr. A*, 1185 206
- HEBERER, TH.; REDDERSEN, K.; MECHLINSKI, A. 2002 From municipal sewage to drinking water: fate and removal of pharmaceutical residue in the aquatic environment in urban areas *Water Sci. Technol.* 46, 81-88.
- HELENKÁR A, SEBŐK Á, ZÁRAY G, MOLNÁR-PERL I, VASANITS-ZSIGRAI A. 2010. The role of the acquisition methods in the analysis of the non-steroidal anti-inflammatory drugs in Danube River by gas chromatography-mass spectrometry. *Talanta*, 82 600
- HUERTA-FONTELA, M.M GALCERAN, M.T., VENTURA, F. 2010. Occurrence and removal of pharmaceuticals and hormones through drinking water treatment. *Water Research* 45 (2011) 1432
- JAKABNÉ SÁNDOR ZS., PERCZE V., BORNÉ PAPP ZS., FARKAS N. 2013. Diclofenac bomlásának, felvételének és akkumulációjának tanulmányozása gyékényes mezokozmosz kísérleti rendszerekben III. Ökotoxikológiai Konferencia, 2013 nov.22.
- KÜMMERER, K. 2009. Antibiotics in the aquatic environment—A review—Part I. *Chemosphere* 75 417
- KÜMMERER, K. 2009. Antibiotics in the aquatic environment—A review—Part II. *Chemosphere* 75 435
- MERSMANN, P.; SCHEYTT, T.; HERBERER, TH. 2002. Column experiments on the transport behaviour of pharmaceutically active compounds in the saturated zones *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* 30, 275-284.
- PERLNÉ MOLNÁR I., ZSIGRAINÉ VASANITS A., SEBŐK Á., HELENKÁR A., ANDRÁSI N., FALUDI T., MOLNÁR B., ZÁRAY GY., 2012. Környezeti vizek szerves szennyezőinek azonosítása és meghatározása, trimetilszilil (oxim)éter/észter származékokként, a gázkromatográfia tömegspektrometria felhasználásával *Magyar Kémiai Folyóirat*, 2-4 55
- PHARMACEUTICALS IN DRINKING WATER, WHO, 2012.
- PIRGER Z., KISS T., LÁSZLÓ Z., G-TÓTH L., VÁCZY A., MÁRK L. 2010. Modern tömegspektrometriai módszerek (MALDI TOF és LC-ESI MS) alkalmazása a vizek hormontartalmának kimutatása *Hidrológiai Közlöny* 90 (6):117-119.
- PREUSS, G.; WILLME, U.; ZULLEI-SEIBERT, N. 2001. Behaviour of some pharmaceuticals during artificial groundwater recharge – Elimination and effects on microbiology *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* 29, 269-277.
- SACHER, F.; LANGE, F. T.; BRAUCH, J. J.; BLANKENHORN, I. 2001. Pharmaceuticals in groundwaters analytical methods and results of a monitoring program in Baden-Württemberg, Germany. *J. Chromatogr.* 938, 199-210
- SEBŐK, Á., A. VASANITS-ZSIGRAI, GY. PALKÓ, GY. ZÁRAY, I. MOLNÁR-PERL, 2008. Identification and quantification of ibuprofen, naproxen, ketoprofen and diclofenac present in waste-waters, as their trimethylsilyl derivatives, by gas chromatography mass spectrometry. *Talanta* 642
- SEBŐK, Á., K. SEZER, A. VASANIS-ZSIGRAI, A. HELENKÁR, GY. ZÁRAY, I. MOLNÁR-PERL, 2008. Gas chromatography-mass spectrometry of the trimethylsilyl (oxime) ether/ester derivatives of cholic acids: Their presence in the aquatic environment *J. Chromatogr. A* 1211 104
- SNYDER, S. A., WESTERHOFF, P., YOON, Y. & SEDLAK, D. L. 2003. Pharmaceuticals, personal care products, and endocrine disruptors in water: implications for the water industry *Environ. Engineering Sci.* 20 (5):449-469
- SPONGBERG, A.L., J.D. WITTER, 2008. Pharmaceutical compounds in the wastewater process stream in Northwest Ohio *Science of the Total Environment* 397 148
- TERNES, T. A. 1998. Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers *Water Res.* 32, 3245-3260.

- TOPPARI, J., LARSEN, J. C., CHRISTIANSEN, P., GIWERCMAN A., GRANDJEAN, P., GUILLETTE, L. J., JÉGOU, B., JENSEN, T. K., JOUNNET, P., KEIDING, N., LEFFERS, H., MCLACHLAN, J. A., MEYER, O., MÜLLER, J., RAJPERT-DE MEYTS, SCHEIKE, T., SHARPE, R., SUMPTER, J., SKAKKEBAEK, N. E., 1996. Male reproductive health and environmental xenoestrogens *Environ. Health Perspect.* 104 (4): 741-803
- ZHAO, J.-L., G.-G. YING, L. WANG, J.-F. YANG, X.-B. YANG, L.-H. YANG, X. LI, 2009. Determination of phenolic endocrine disrupting chemicals and acidic pharmaceuticals in surface water of the Pearl Rivers in South China by gas chromatography–negative chemical ionization–mass spectrometry *Science of the Total Environment* 407 962
- ZHOU, J.L., Z.L. ZHANG, E. BANKS, D. GROVER, J.Q. JIANG, 2009. Pharmaceutical residues in wastewater treatment works effluents and their impact on receiving river water *J. of Hazardous Materials* 166 655
- ZWIENER, C.; GLAUNER, T.; FRIMMEL, F.H. 2000. Biodegradation of pharmaceutical residues investigated by SPE-GC/ITD-MS MS and on-line derivatization *J. High Res. Chromatogr.* 23, 474-478
- INTERNET 1: <http://www.epa.gov/ppcp/pdf/drawing.pdf>
- INTERNET 2: http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/pharmaceuticals_20110601.pdf
- INTERNET 3: <http://www.budapestwatersummit.hu/ezer-viz-orszaga/ivovizkincs/innovacio-a-gyogyszermaradvanyok-eltavolitasaban-384/>

REMOVAL OF MICROPOLLUTANTS FROM DIFFERENT WATERS

Renáta Gerencsér-Berta, Ildikó Galambos

*Soós Ernő Water Technology Research and Development Center
Üllő u. 3, H-8800 Nagykanizsa, berta.r@sooswrc.hu*

Micropollutants in different waters are a growing worldwide problem and with it grows concern for long-term hazard to the ecosystem. Their effects have been investigated in many large-scale studies over a long period of time, and the results are worrisome. Most water resource recovery plants are not built to remove these pollutants, yet solutions are available to effectively treat them. Micropollutants are persistent and bioactive, which means that they are not completely biodegradable and cannot be removed with conventional water treatment technologies. It is believed that the continued release of micropollutants in effluents can cause long-term hazards because the contaminants are bioaccumulating and are even forming new mixtures of water but not only in waste water even in drinking water too. Still, the exact overall effects of micropollutants are not fully known, since not only the active ingredients are in the water but also their metabolites and the degradation pathways are not always detected. The goal of this field is found a new, effective treatment process to remove the micropollutants too. The task can be approached from wastewater or drinking water side too.

AZ EURÓPAI UNIÓHOZ TÖRTÉNT CSATLAKOZÁS HATÁSA A HAZAI SZENNYVÍZTISZTÍTÁSRA ÉS ISZAPKEZELÉSRE

Ligetvári Ferenc¹, Zsabokorszky Ferenc²

¹ AQUAPROFIT Zrt. 1013 Budapest. Krisztina krt. 32

² ENQUA Kft. 1073 Budapest, Erzsébet krt. 40-42.

E-mail: zsabo.ferenc@enqua.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Magyarország 2004-ben csatlakozott az Európai Unióhoz. Ettől az időszaktól számíthatjuk egy új korszak kezdetét. A jogharmonizációs folyamatok lezárása és az új kibocsátási szabványok, határértékek érvénybe lépését követően az EU-s támogatásokkal megindultak a szennyvíztelep beruházások, rekonstrukciók. Elkészült Keletközép-Európa legnagyobb környezetvédelmi beruházása - a Budapesti Központi Szennyvíztisztító telep - 300 000 m³/nap kapacitással. Új iszapkezelési megoldások jelentek meg. A képződő iszap mennyisége megkétszereződött az elmúlt 20 évben. Az iszaphasznosítás szennyvíztelepen kívüli folyamata ugyanakkor teljes egészében a privát szektor ellenőrzése alá került, kiszolgáltatva a piaci viszonyoknak. A kezelési költségek az egekbe szöktek, meghaladva a nyugat-európai hasonló költségeket. Új politikai prioritások: az állami befolyás növelése, nagyobb - korábban privatizált - szolgáltatók állami kivásárlása, a szétaprózódott szolgáltatók reintegrációja, törvényi kötelezettséggel a közmű - gáz, áram, távfűtés víz-csatorna - szolgáltatási díjak csökkentése. A hasznosítást a 2015-ben elkészült új stratégiai vizsgálat megállapításaival összhangban kell kezelni. Ki kell küszöbölni a tervszerű és a gazdaságos hasznosítást gátló spontán szabadpiaci elemeket.

BEVEZETÉS

Magyarország több közép- és kelet-európai országgal együtt 2004-ben csatlakozott az Európai Unióhoz. Ettől az időszaktól számíthatjuk egy új gazdasági és technikai korszak kezdetét. A jogharmonizáció lezárása és az új kibocsátási szabványok, határértékek érvénybe lépését követően az EU-s támogatásoknak köszönhetően megindultak a szennyvíztelep beruházások, ill. rekonstrukciók. A csatornázott területek aránya közel 30 %-kal nőtt és Közép-Európa legnagyobb környezetvédelmi beruházása is elkészült (Csepelen) a Budapesti Központi Szennyvíztisztító-telep közel 300 000 m³/nap kapacitással. Új iszapkezelési megoldások is megjelentek, a képződő iszap mennyisége közel megkétszereződött az elmúlt közel 20 évben.

A CSATORNÁZÁS ÉS A SZENNYVÍZTISZTÍTÁS FEJLŐDÉSE

A szennyvízelvezető hálózat és a tisztító telepek építése nem követte az ivóvíz-elátás fejlődését. A vezetékes vízzel a lakások 76%-át látták el, míg a lakásoknak mindössze 41,3%-át kötötték be a csatornába. Ezt a jelentős elmaradásunkat az EU-s támogatásoknak köszönhetően sikerült jelentősen csökkenteni. Mára a vízellátás elérte a lakosság közel 100%-át. A szennyvíztisztítás és a csatornázottság aránya elérte 2013-ban elérte országosan 82%-os arányt, ebből 8 % nem kötött rá a közcsatornára (JUHÁSZ,

2013). Ez a fejlődés a fővárost és a városokat érintette elsősorban. 2015 végéig el kell érni a 2000 FE (felhasználói egyenérték) feletti települések teljes csatornázottságát és a biológiai tisztítási fokozatot. Tekintettel arra, hogy a Duna medence - így Magyarország is - érzékeny területnek minősül, ezért a szennyvíztisztító-telepek 80%-ában a tápanyag eltávolításra rendezkedtek be.

2000 FE alatti települések

Jelentős *elmaradásunk* van a 2000 felhasználói egyenérték (FE) alatti településeken. Az EU általi és a nemzeti támogatás kidolgozása ezekre a településekre folyamatban van, összhangban az elkövetkező hétéves tervezési időszakokkal. Magyarország *településszerkezetére* a kistelepülések nagy száma jellemző. A 2000 lakos alatti települések aránya 75,3%, ezekben mindössze a lakosság 17% lakik. Ezekre a településekre jellemző a fiatal életkorúak elvándorlása. Az elkövetkező években arra kell törekedni, hogy olyan szennyvíz-elvezetési és tisztítási beruházások létesüljenek, amelyek megfelelnek ezen települések jelenlegi létszámának, és a jövőben *bővíthető legyen*.

A vízmű- és szennyvíz szolgáltatások költségei eltérő mértékűek. A legnagyobb mennyiségű vízszolgáltatás a fővárosban történik, ezért az itteni szolgáltatások irányadóul szolgálnak.

Víz- és szennyvízkezelés árának alakulása Budapesten az elmúlt 9 évben

Vízszolgáltatás: 2005-ben: 131,6 +15 % áfa = HUF 151,34 / m³

2014-ben: 172,4 +27 % áfa = HUF 218,95 / m³

növekedés: 44,67%

Szennyvíztisztítás: 2005-ben: 186,1 +15 % áfa = HUF 214,02 / m³

2014-ben: 300,2 +27 % áfa = HUF 381,29 / m³

növekedés: 78,16%

Az iszapkezelési - szennyvíztelepen kívüli - folyamatok nagy részben a privát szektor ellenőrzése alá került, kiszolgáltatva a piaci viszonyoknak. Ennek következtében a kezelési költségek lényegesen megnöttek, meghaladva a nyugat-európai költségeket.

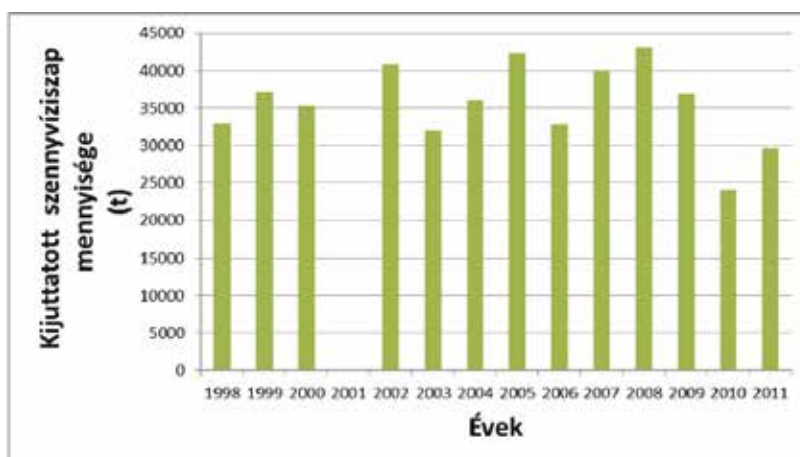
A szennyvíztelepekről kikerülő szennyvizek és iszapok különböző hasznosítására kerül sor. A legköltségesebb megoldás az égetés. A komposztálás ugyancsak jelentős költségekkel valósul meg. A legegyszerűbb és egyben legolcsóbb megoldás a közvetlen kijuttatás. Azonban ennek számtalan akadálya jelentkezik (1. táblázat, 1-4. ábra).

A MEZŐGAZDASÁGI HASZNOSÍTÁST HÁTRÁLTATÓ TÉNYEZŐK

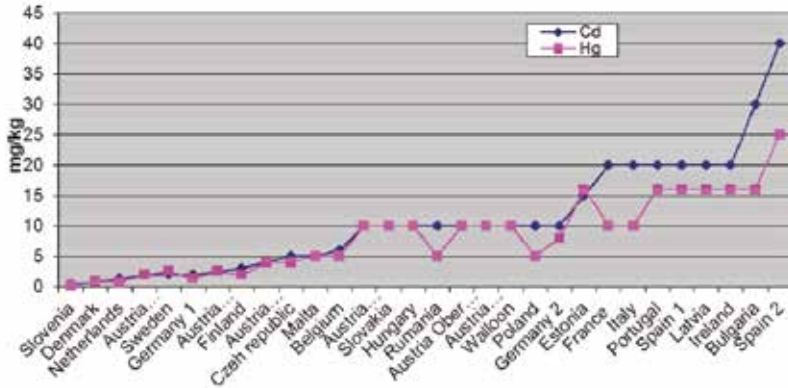
A szerves toxikus elemek – nehézfémek – határértékei folyamatosan szigorodtak az évek során, ill. megjelentek a mérgező szerves vegyületek határértékei – TPH, PCB, PAH – 2001-ben, sőt 2016-ban további szigorítás lép érvénybe (1. táblázat). Ennek elsősorban a mezőgazdasági hasznosítás háttérbe szorítása lehet a célja. Annak ellenére, hogy számos hazai vizsgálat igazolta az iszaphasznosítás kedvező hatását a talaj termékenységére, a termés növekedésére. Ugyanakkor előtérbe kerültek gyógyszermaradványok megjelenését igazoló publikációk, közlemények, amelyek arra elegendőnek bizonyultak, hogy félelmet, tiltakozást kiváltva tovább hátráltassák a hasznosítást.

I. táblázat: Toxikus elemek határértékeinek változása

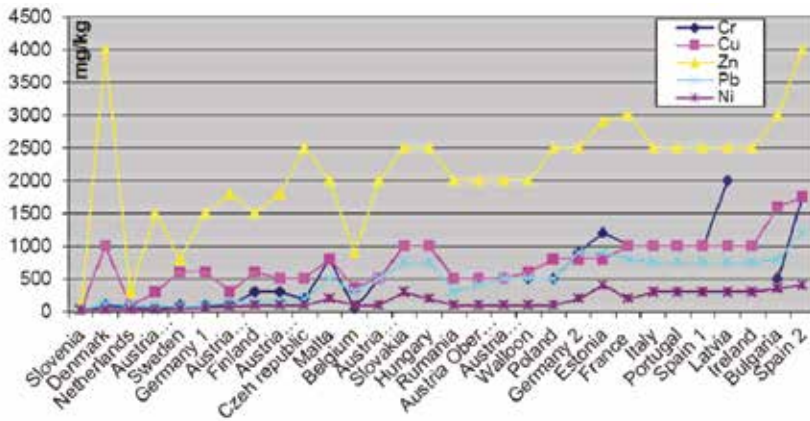
Nehézfémm	Korábbi határértékek (1990)	86/278 EEC	Jelenlegi hazai határértékek (50/2001. Korm. rend.)	Tervezett hazai határértékek (2016)
	mg/kg szárazanyag			
Cd	15	20-40	10	0,8
âCr/Cr VI	-	-	1000	100
Cu	1000	1000-1750	1000	1000
Ni	200	300-400	200	30
Pb	-	750-1200	750	120
Zn	3000	2500-4000	2500	2500
Hg	10	16-25	10	0,8
âPAH	-	-	10	3
âPCB	-	-	1	1
TPH	-	-	4000	4000
Mo	20		20	20
As	-		75	75
Co	-		50	50
Se	-		100	100



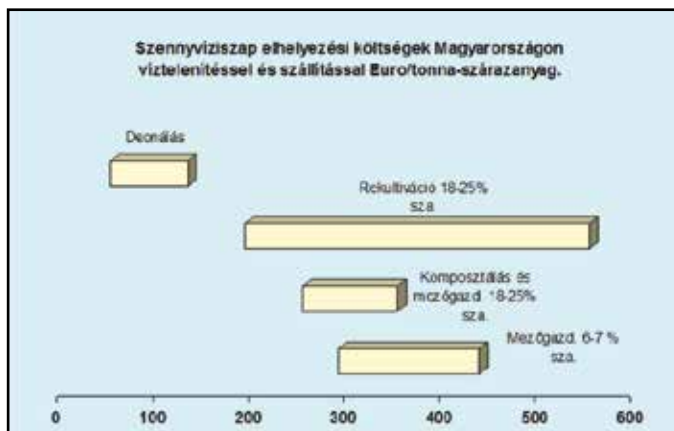
1. ábra: A szennyvíziszap mezőgazdasági hasznosítása (Forrás: BERÉNYI ÜVEGES, 2013).



2. ábra: Nehézfém határértékek az EU országokban mezőgazdasági hasznosítás esetén (mg/kg) 2010 I. (Forrás: BERÉNYI ÜVEGES, 2013).



3. ábra: Nehézfém határértékek az EU országokban mezőgazdasági hasznosítás esetén (mg/kg) 2010. II. (Forrás: BERÉNYI ÜVEGES, 2013).



4. ábra: Hasznosítási költségek Magyarországon: Euro/t-szárazanyagban számítva víztelenítési és szállítási költségekkel (Forrás, ZSABOKORSZKY, 2012).

Az mezőgazdasági hasznosítás csökkenését jól mutatja az 1. ábra. A mélypont a 2010-ben jelentkezett 2011-ben kismértékű növekedés látható, azonban ekkor sem érte el az 1998 évi szintet. Ugyanezen időszak alatt ugyanakkor növekedett a szennyvíziszap mennyisége hazánkban.

A 2. és 3. ábra a szennyvíziszapban megengedhető nehézfém határértékeket hasonlítja össze az EU országaiban mezőgazdasági hasznosítás esetén. Megfigyelhető hogy egyes országokban – így pl. Ausztriában, Spanyolországban – több határérték van érvényben. Ezt a gyakorlatot hazánkban is alkalmazni kellene a talajtani, termőhelyi sajátosságok figyelembe vételével.

A 4. ábra a különböző hasznosítási módok költségeit hasonlítja össze úgy, hogy figyelembe veszi az egyes módokhoz tartozó víztelenítési módszerek és a hozzá tartozó szállítási költségeket, mindezt szárazanyag tonnában kifejezve. Az egyes hasznosítási módoknál igyekeztünk átlagos szállítási távolságokkal számolni, feltüntetve az alkalmazott szárazanyag tartományt (sza.).

Deponálás: Általában a szennyvíztelepen történik nincs szállítási és kezelési költség, ugyanakkor a jelentkező manipulációs és egyéb költség megjelenik és terheli a telepet.

Rekultiváció: erőműi, bányászati zagyterek lefedése, növényesítése. Ennek a hasznosítási módnak a költsége elsősorban a szállítási költségek miatt magas, mert távol helyezkedik el a hasznosító terület a szennyvízteleptől. Ugyanakkor a komposztálást itt is el kell végezni, de a hasznosításból elmaradásból eredően nincs a talaj termőképesség, ill. a terméstartósság növekedéséből eredő bevétel.

Komposztálást követő mezőgazdasági hasznosítás: Alacsonyabb szállítási költségek mellett a hasznosított komposztból árbevétel jelentkezik, ami csökkenti a költségeket.

Folyékony iszap mezőgazdasági hasznosítása talajra öntözéssel, vagy injektálással: Hazánkban inkább az injektálást alkalmazzák, a komposztáláshoz képest magasabb költséget a kijuttatás magas fajlagos költségei okozzák.

GAZDASÁGI-POLITIKAI VÁLTOZÁSOK BEFOLYÁSOLÓ HATÁSA

A magyarországi közműdíjak a 2010-es évek végére elérték a Közép-Európában legmagasabb szintet. Ez annak a folyamatnak az eredménye, hogy a közműdíjak növekedése az elmúlt 20 évben rendszeresen meghaladta a lakossági jövedelmek növekedésének ütemét.

A szolgáltatási díjak csökkentésére törvényekkel kötelezték a szolgáltatókat, amelyeket több lépcsőben vezettek be és mértéke az említett területeken 10-20% között változott.

A víziközmű-szektorban ugyanezen idő alatt elindult egy másik folyamat, amelyik az 1990-es politikai átmenet követő szétaprózódást visszafordította. Az új víziközmű-törvény 2012 évtől előírta a legalább 150 000 lakos ellátásának megfelelő szolgáltatók létesítését, gyökeresen átalakítva az eddigi 400 db. üzemeltetői szerkezetet. Jelenleg mintegy 50 üzemeltető rendelkezik új engedéllyel.

Ezzel a szabályozással a szektor hatékonyságának növekedést az üzemeltetés hatékonyabb ellenőrzését, egységes ármegállapítást kívánnak elérni, ezt szolgálja a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal létrehozása is.

A szakma által régóta hiányolt stratégia született meg az idén. Az OVF megbízásából 2015-ben elkészült a „Stratégiai felülvizsgálat, szennyvíziszap-hasznosítási és -elhelyezési projekt-fejlesztési koncepció” rövid és középtávon, mely kormányzati elfogadás előtt áll.

KÖVETKEZTÉSEK ÉS JAVASLATOK

A szennyvíztisztítási költségek jelentős hányadát teszi ki az iszapkezelés, ami elérheti annak 40-50%-át. A költségek alakulása szempontjából lényeges az alkalmazandó technológia megválasztása. A hasznosítást az idén elkészült új stratégiai vizsgálat megállapításaival összhangban kell kezelni. Ki kell küszöbölni a tervszerű és a gazdaságos hasznosítást gátló spontán szabadpiaci elemeket. Egyensúlyt kellene teremteni a mezőgazdasági és a rekultivációs hasznosítás között. Növelni kellene a mezőgazdasági hasznosítást a kimerülőben lévő - az újrahasznosítást nem szolgáló - rekultiváció rovására. Minden egyes tagországnak meg kell találni a saját adottságaihoz és lehetőségeihez leginkább megfelelő iszaphasznosítási módszert. A szennyvíztelepi iszapkezelést és a hasznosítást a telepen kívül egységes folyamatnak kell tekinteni és megtervezni. A toxikus elemek határértékeinek további szabályozását összhangba kellene hozni a különböző adottságú mezőgazdasági területek teherbíró képességével a hatékonyabb mezőgazdasági hasznosítás érdekében.

IRODALOMJEGYZÉK

JUHÁSZ E., 2013. Települési szennyvíziszapok kezelése. Környezetvédelmi Szolgáltatók és Gyártók Szövetsége, Budapest

BERÉNYI ÜVEGES J., 2013. A szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának jogi szabályozása és hatósági tapasztalatai. Szennyvíziszap 2013, KSZGYSZ konferencia kiadvány, Budapest.

ZSABOKORSZKY F., 2012. Present and future sewage sludge treatment in Hungary and its energetic utilisation. European Conference on Sludge Management, ECSM 2012, Leon, Spain, Conference Proceedings.

THE EFFECT OF EU ACCESSION ON WASTEWATER TREATMENT AND SLUDGE UTILIZATION

Ferenc Ligetvári¹, Ferenc Zsabokorszky²

¹ *AQUAPROFIT Co. H-1013 Budapest, Krisztina Blvd. 32*

² *ENQUA Ltd. H-1073 Budapest, Erzsébet Blvd. 40-42.*

E-mail: zsabo.ferenc@enqua.hu

Sludge utilisation makes up a substantial proportion of wastewater treatment costs: as much as 40–50%. The choice of treatment technique is thus very important, and must harmonise the possibilities with the demands. Sludge treatment should be managed at the level of national strategy. Free-market elements that inhibit rational and economic utilisation should be eliminated. A balance should be struck between agricultural utilisation and the recultivation. Agricultural utilisation should be increased at the expense of expensive and less efficient recultivation. Each member state should find the sludge utilisation method that best suits its needs and capabilities. Sludge treatment at the wastewater works and utilisation elsewhere must be viewed and planned as an integrated process. Future regulation of toxic elements should be made consistent with the capacity of differently-endowed agricultural areas to ensure efficient agricultural utilisation.

TÉRSÉGÜNK SZENNYVÍZ-CSATORNÁZÁSÁNAK ÉS SZENNYVÍZ-TISZTÍTÁSÁNAK HELYZETE

Veres József

*Felső-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság, 4400 Nyíregyháza, Széchenyi u. 19.
E-mail: veresj@fetivizig.hu*

ÖSSZEFOGLALÁS

Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében a szennyvízcsatornázás az ország más régióihoz képest is jelentős késéssel indult az 1960-as években. A megye szakmai szervezetei szem előtt tartották a csatornázás fontosságát, de ennek ellenére a közüzemi vízellátás fejlesztése mellett a csatornázás nem kapott kellő hangsúlyt. 2013-ban a Felső-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság területén a 222 településből csak 117 településen volt működő szennyvízcsatorna-hálózat. A szennyvízes fejlesztések irányát a Magyarország Európai Unióhoz való csatlakozását követően a Nemzeti Települési Szennyvízelvezetési-és Tisztítás Megvalósítási Program határozta meg. A programban 2000 lakosegyenérték (LE) fölötti szennyvízelvezetési agglomerációk szerepelnek. A megye településszerkezeti adottságai alapján, megállapítható, hogy az országos átlaghoz képest is magas a 2000 LE alatti településeken élő lakosság aránya. Az nemzeti program végrehajtása mellett a kistelepülések szennyvízkezelésének megoldása is feladat. 2007-2014 közötti időszakban az uniós források segítségével az igazgatóság működési területén 61 településen mintegy 52,5 Mrd Forint értékű fejlesztés valósult meg. A szennyvíziszap kezelés terén is történt előrelépés azonban a vidéki szennyvíztisztító telepek esetében a komposztálás és biogáz hasznosítás feltételeinek kiépítése még a megoldásra vár.

BEVEZETÉS

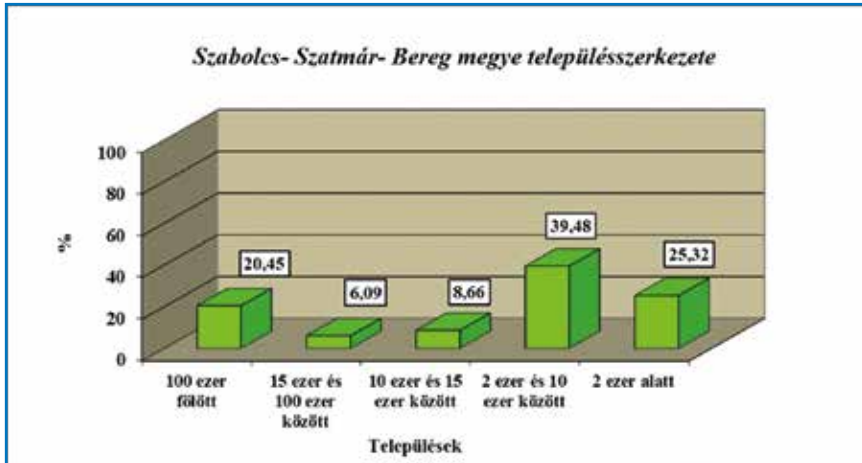
2015. december 31. a vízi-közmű szakterület számára fontos dátum, mivel eddig az időpontig be kell fejeznünk a nemzeti szennyvíz programot. A szennyvízközmű ellátottság 81 %-os lesz 2015 végére, ami kb. 6 %-os elmaradottságot jelent az országos átlaghoz képest. A térségben keletkező szennyvizek tisztításával kapcsolatosan 2015 után is jelentős feladataink vannak. A Szabolcs- Szatmár- Bereg megyében élő lakosság több mint 25 %-a 2000 lakos-egyenérték (LE) alatti településeken él, akiket ugyanúgy megillettnek az egészséggel és egészséges környezettel kapcsolatos alapvető emberi jogok.

Az igazgatóság működési területén jelenleg 73 db 2000 LE alatti település vár arra, hogy szennyvízkezelése megoldódjon. Sajnos a nemzeti szennyvíz programban szereplő feladatainkat nem tudjuk határidőre teljesíteni, ugyanis vannak szennyvízelvezetési agglomerációk, ahol a beruházások még nem kezdődtek el. A felszíni vizek jó állapotának elérése érdekében vízgyűjtő-gazdálkodási terv feladatokat határoz meg a hidraulikailag túlterhelt, valamint a nem megfelelő technológiájú szennyvíztisztító telepek esetében.

Az öregedő szennyvíztisztító telepek és gyűjtőhálózatok rekonstrukciója egy XXI. századi víziközmű infrastruktúra kialakítása hatalmas kihívást jelent az ágazat számára.

A szennyvízkezelést meghatározó környezeti tényezők

Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében 229 település, a FETIVIZIG működési területén pedig 222 település található. A megyeszékhely szerepét betöltő Nyíregyházán kívül a megyében 27 város, 15 nagyközség és 186 község van. A 2014. január 1-jei KSH adat szerint a megye összes lakosainak száma: 578.004 fő. A 2000 fő lakosszám alatti települések száma a megyében 155, de ezen belül 120 településen a lakosszám az 1000 főt sem éri el.



1. ábra: Szabolcs-Szatmár-Bereg megye településszerkezete

Az 1. ábra szemlélteti a település kategóriánként az ott élő lakosok számának arányát. Megyénkben magas a kistelepülések száma. A 2000 lakosszám alatti településeken a megye összlakosságának több mint 25 %-a él, ez az arány országosan 16,9 %. Szabolcs-Szatmár-Bereg megye kétharmada ár- és belvízzel veszélyeztetett terület és ezeken a területeken magas talajvízállás nehezíti a települések szennyvízcsatornázását vagy a szakszerű közműpótlók alkalmazását. A szennyvíztisztító telepek tisztított szennyvízének befogadója számos esetben országos, vagy nemzetközi jelentőségű védett természet területen helyezkedik el.

Helyzetelemzés

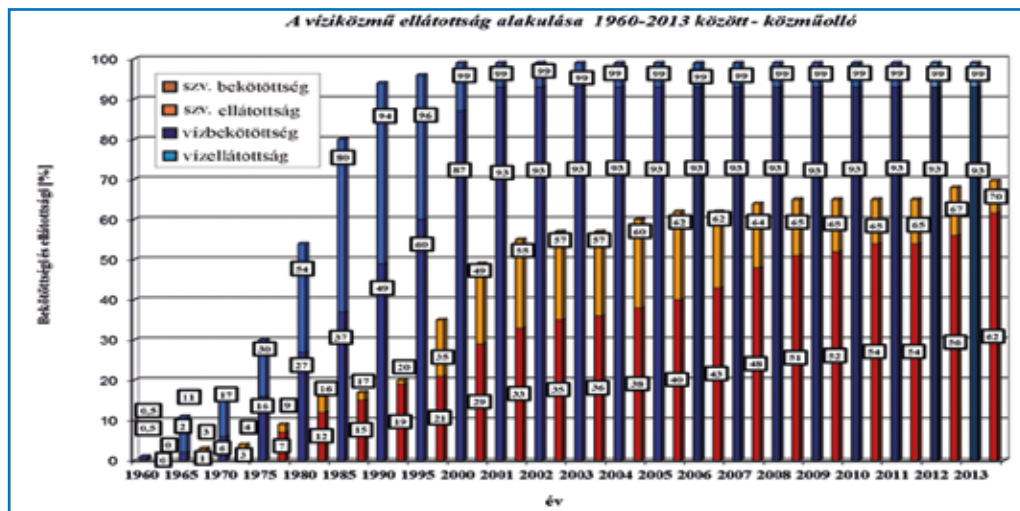
Az 1960-as évek előtt közüzemi szennyvízelvezetés a megyében nem volt. A megye csatornázása a 60-as évek elejétől fejlődésnek indult ugyan, de egyre nőtt a különbség a vízellátás és csatornázás kiépítettsége között. Az 1990-es évekig 19 településen valósult meg részleges - gravitációs rendszerű - csatornázás és az összegyűjtött szennyvizet 16 csak mechanikai és mechanikai-biológiai fokozattal rendelkező telepen tisztították meg. A megvalósított csatornázás a megyében 20 %-os ellátottságot jelentett. 1990-től a közüzemi vízművesítés befejezésével a szennyvízelvezetés és kezelés megoldása került előtérbe. A csatornázás a megyében az önkormányzatokat támogató céltámogatási törvény életbelépésével 1991 után felgyorsult, így 1996 elejére a megye csatornaellátottsága elérte a 34-35 %-ot.

A keletkező szennyvizek gyűjtésének, tisztításának megoldása Magyarország Európai Unióhoz való csatlakozásának egyik kulcskérdése volt. 2002-ben elkészült a

Szabolcs- Szatmár- Bereg megyei Szennyvíz- elhelyezési Program, melynek legfőbb célkitűzése az volt, hogy a szennyvízelhelyezés területén érintett, minden település részére adjon szakszerű megoldási lehetőséget, figyelembe véve a települések földrajzi elhelyezkedését, természeti, geológiai, gazdasági viszonyait és a helyi sajátosságokat.

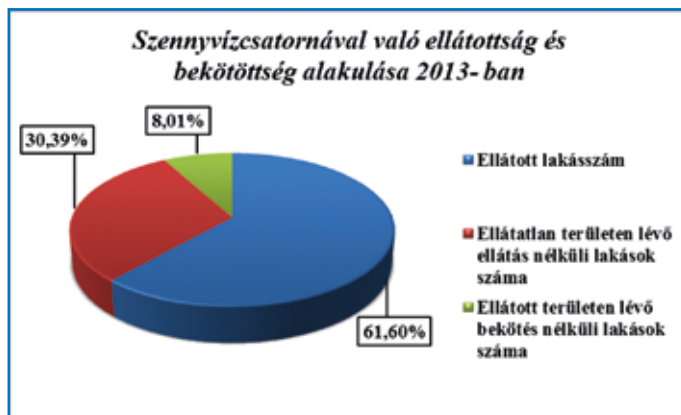
A program megvalósításához a forrást a települések pályázat útján nyerhették el. Kezdetben a KAC, KKA, KÖVICE, később KEOP pályázatok keretében (2014-től KEHOP pályázatok).

A vízellátás és szennyvízcsatornázás főbb mutatóit (ellátottság és bekötöttség) a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra: A közmű ellátottság alakulása 1960-2013 között - közműöllő

A folyamatban lévő projektek befejezésével 2015 decemberére az ellátottság 11 %-kal fog nőni és eléri a 81 %-ot. A nemzeti programban előirányzott ellátottsági arány ezzel szemben 82,4 %.



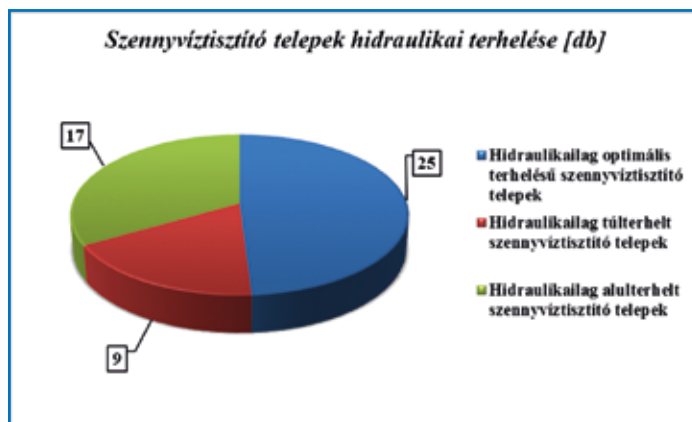
3. ábra: Szennyvízcsatornával való ellátottság és bekötöttség alakulása 2013-ban

A megyei települések döntő többségében elválasztó rendszerű gravitációs gyűjtőhálózat valósult meg. Kisnyomású rendszer négy településen üzemel, míg a két rendszer kombinációját a csatornázott települések 10 %-ánál alkalmazták. Vákuumos csatornázás nem üzemel. 2013-ban működési területünkön 117 településen működik szennyvíz-csatorna hálózat. Az igazgatóság működési területén lévő lakások 70 %-a rendelkezik szennyvíz csatornahálózatra való rákötési lehetőséggel. Az ellátott területen lévő bekötés nélküli lakások aránya 8 %, a korábbi évekhez képest csökkenő tendenciát mutat, ami a talajterhelési díj ösztönző erejének köszönhető. Az ellátottság és bekötöttség arányát az 3. ábra szemlélteti.

Szennyvíztisztító telepek működése

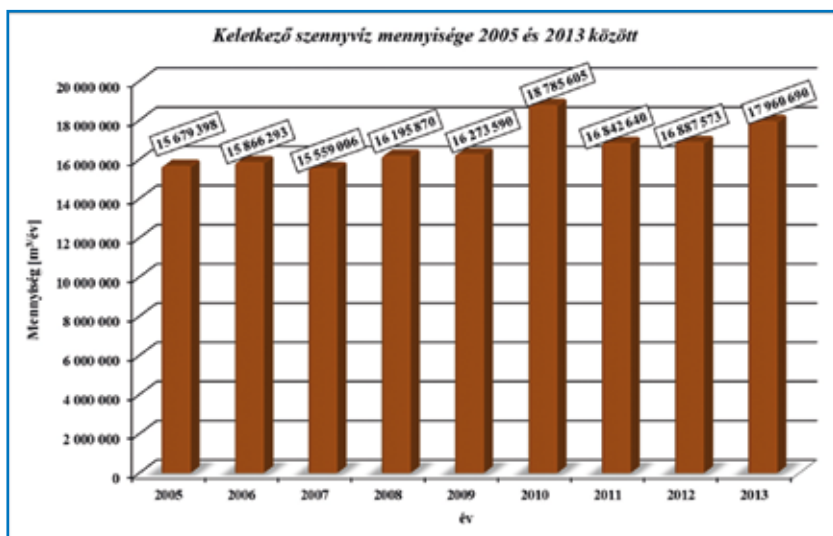
Az üzemelő szennyvíztelepek száma 52 db. A szennyvíztisztító telepek mesterséges biológiai technológiával üzemelnek, egy részük tápanyag eltávolítással is rendelkezik. Kizárólag természetes tisztítási technológiával jelenleg már csak három szennyvíztisztító telep üzemel, a szakolyi és nagycserkeszi nyárfás szennyvíztisztító telep, valamint a magosligeti természet-közeli gyökérszénnyvíztisztító telep.

2013-ban a szennyvíztisztító telepek nagy része nem tudta teljesíteni a kibocsátási határértékeket az alábbi vízkémiai paraméterek tekintetében: szerves anyag (BOI_5 , KOI_{dk}), összes nitrogén, ammónia-nitrogén, összes foszfor. A 2013-as BOI_5 statisztikai adat-szolgáltatás alapján az alábbi 4. ábra mutatja be az igazgatóságunk működési területén található szennyvíztisztító telepek hidraulikai leterheltségét.



4. ábra: Szennyvíztisztító telepek hidraulikus terhelése [db]

A csatornahálózatok működési problémáját jól érzékelteti az 5. ábra. A csapadékos időszakokban pl. 2010-ben és 2013-ban a szennyvízmennyiségeknél kiugró növekedés tapasztalható, ez a szennyvíz-csatornahálózatba kerülő csapadék és talajvíznek köszönhető.



5. ábra: Keletkező szennyvíz mennyisége 2005 és 2013 között

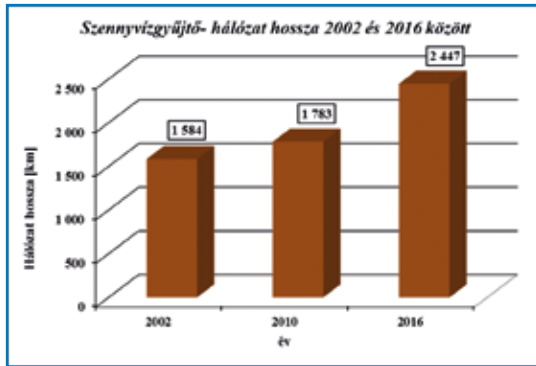
Üzemeltetési viszonyok alakulása

Az 1990-es évekig a vízi-közművek állami tulajdonban voltak. A megyében az üzemeltetést a Szabolcs-Szatmár- Bereg megyei Víz- és Csatornamű Vállalat (SZAVI-CSAV) látta el.

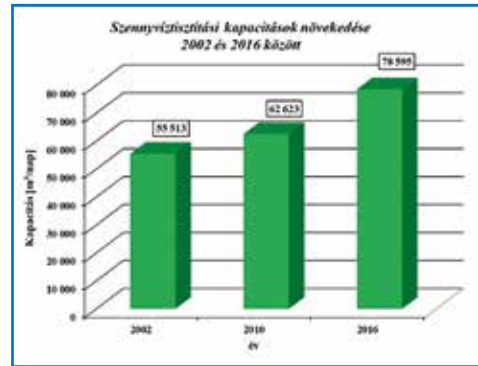
A rendszerváltás egyik legfontosabb törvénye az 1990. évi LXV. törvény „A helyi önkormányzatokról”, amely alapjaiban változtatta meg a vízi közszolgáltatás tulajdonosi – szervezeti struktúráját azzal, hogy az egészséges ivóvízellátást a helyi önkormányzatok kötelező feladatává tette. A feladat ellátásához a feltételeket is biztosítani kellett: az állami tulajdonban lévő vízi-közműveket önkormányzati tulajdonba kellett adni. Ennek következtében az üzemeltető szervezetek száma a 90-es években nagymértékben megnövekedett, ami 2000-ben érte el a legmagasabb szintet, a 32-t, de csak néhány szervezet felelt meg az üzemeltetés feltételeinek. Az évek során ez a folyamat megfordult, és lassan megkezdődött az üzemeltetők integrálódása. 2014-re működési területünkön a korábbi 25 üzemeltető szervezetből hat szervezet maradt.

Szennyvízközmű fejlesztések 2002-2015 között

A szennyvízgyűjtő- hálózat és tisztítókapacitás kiépítésének ütemét láthatjuk az 6. és 7. ábrákon. A 2007-2014 Uniós költségvetési időszakban jelentős növekedés következett be. 663 km gerincvezeték és 16 000 m³/nap tisztítókapacitás épül ki 2010 és 2015 között.



6. ábra: Szennyvízgyűjtő hálózat hossza 2002 és 2016 között



7. ábra: Szennyvíztisztítási kapacitások növekedése 2002 és 2016 között

Jövőben végrehajtandó fejlesztések

A nemzeti programhoz tartozó települések esetén az alábbi 2015 után végrehajtandó feladatok vannak:

- Csatornahálózat kiépítése (Aranyosapáti, Jánd).
- Meglévő csatornahálózat bővítése (Gávavencsellő, Fehérgyarmat, Balkány, Tunyogmatolcs, Géberjén, Győrtelek és Nagycserkesz).
- Túlterhelt szennyvíztisztító telepek bővítése, technológiai korszerűsítése (6 telep esetében).
-

2000 LE alatti települések szennyvízkezelésének megoldása

A települések szennyvízkezelésére az alábbi műszaki megoldások lehetségesek:

- A települések önálló csatornázása és szennyvíztisztító telep (mesterséges vagy természet közeli technológia) kiépítése.
- A települések csatornázása térségi rendszerekbe való integrálással, figyelembe véve a már meglévő tisztítási kapacitásokat is.
- Szakszerű közműpótlók alkalmazása

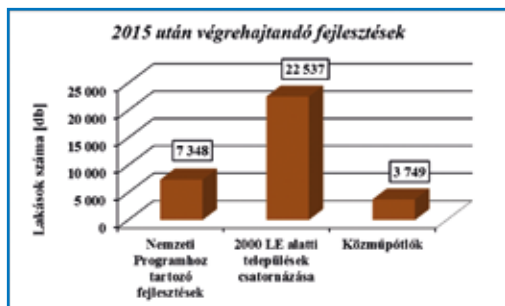
A települések csatornahálózatainak kialakításánál a térségi megoldásokat kell alkalmazni.

A műszaki megoldások kiválasztásánál figyelembe kell venni a talajtani, talajvíz adottságokat, az üzemelő és távlati ivóvízbázisok védőterületeit és a meglévő, kivitelezés alatt álló és tervezett árvízi tározók elhelyezkedését.

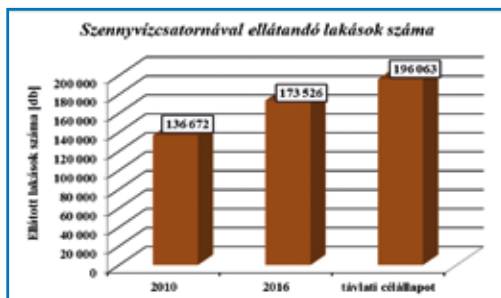
A műszaki és gazdaságossági szempontokat figyelembe véve a jövőbeli fejlesztések az alábbi számadatokkal jellemezhetőek. A szennyvízcsatornával és közműpótló berendezésekkel ellátott lakások számát a 8. és 9. ábra mutatja be.

A csatornahálózattal ellátandó 2000 LE alatti településeken 22 537 lakás található. A 2007-2014 EU költségvetési ciklusban finanszírozott beruházások 36 854 lakás csatornázását oldották meg.

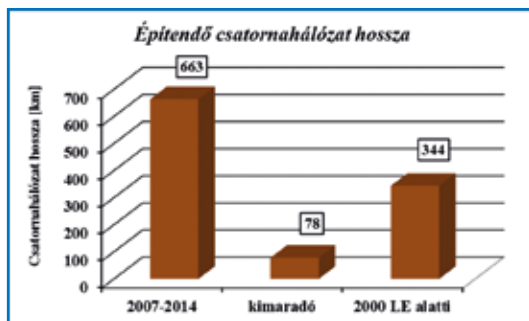
A 10. és 11. ábrákon, az építendő csatornahálózat hossz és tisztító kapacitás látható. A jövő kihívása a szennyvíztisztítás költségeinek csökkentése, ezért ahol lehetséges, gondolkodni kell a rendszerek integrációiban a meglévő szennyvízrendszerek esetében is. Az egy település, egy szennyvíztelep helyett a térségi rendszerek üzemeltetése sokkal gazdaságosabb. Jelentősebb rekonstrukciót igénylő telepek esetében a másik rendszerhez való kapcsolódási lehetőséget is vizsgálni szükséges.



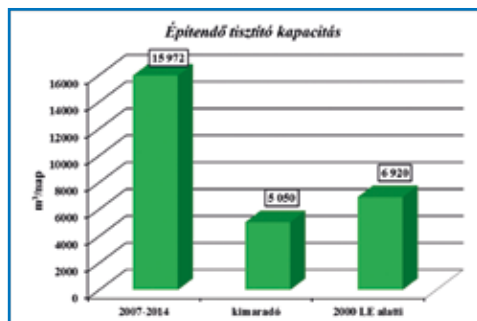
8. ábra: 2015 után végrehajtandó fejlesztések



9. ábra: Szennyvízcsatornával ellátandó lakások száma



10. ábra: Építendő csatornahálózat hossza

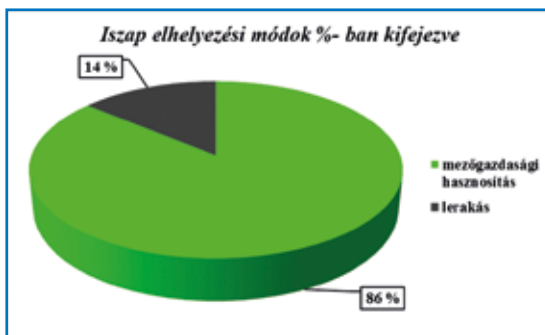


11. ábra: Építendő tisztító kapacitás

A fejlesztések költségigénye a mai árakon számolva kb. 45-50 Mrd forint, amit az érintett településeken lakók önerőből nem tudnak finanszírozni. Ezek csak pályázati lehetőségek és támogatások igénybevételel valósulhatnak meg.

Szennyvíziszap-kezelés

Jelenleg a nyíregyházi agglomerációban működő I. szennyvíztisztító telep működik iszapcentrumként. Nyírbátorban 2 Mrd Ft értékű beruházással hozott létre a Bátor Trade Kft. egy biogáz üzemet, amely fogad kommunális szennyvíziszapot is. A Nyíregyháza II. szennyvíztisztító telepen a 2013. évben valósult meg az iszaprohasztó és biogáz hasznosító egység a telep rekonstrukciós munkáival egy időben. A Települési Szennyvíz Információs Rendszerben szereplő adatok alapján a működési területünkön lévő szennyvíztisztító telepeken keletkező iszapok zömében mezőgazdasági. A keletkező szennyvíziszap elhelyezési módjait a 12. ábra mutatja be.



12. ábra: Iszap elhelyezési módok %-ban kifejezve

A keletkező szennyvíziszap komposztálását és mezőgazdasági hasznosítását az alábbi tényezők nehezítik:

- Szigorú jogszabályi előírások - 50/2001. (IV. 3.) Kormányrendelet.
- Kedvezőtlen talajadottságok, pl. magas nehézfém háttérszennyezettség.
- A szennyvíztisztító telepeken nem áll rendelkezésre megfelelő komposztáló egység, az előállított termék nem megfelelő.
- A gazdálkodók elzárkózása a komposzt hasznosításától.

Jól működő, korszerű komposztálás van a nyíregyházi és kisvárdai telepeken. KEOP forrásból fejlesztik a nyírbátori telep komposztálóját. Sajnos annak ellenére, hogy pályázati forrás állt rendelkezésre a 2007-2014 közötti időszakban a szennyvíziszap kezelés megoldására, ilyen jellegű pályázat nem készült a megyében. A korábbi üzemeltető szervezeti struktúra miatt a térségi iszapkezelési megoldások nem jöhettek létre.

A szennyvíziszap-kezelés, hasznosítás terén az alábbi megoldandó feladatok vannak:

- A működő szennyvíztisztító telepek iszapvonalának korszerűsítése (víztelenítés és komposztálás).
- Biogáz hasznosítás feltételeinek megteremtése a tervezett iszapcentrumokban
- Kutatások, kísérletek az iszap mezőgazdasági hasznosításának elősegítése érdekében.
- Az illegális lerakások, felszíni vízfolyásokba való bevezetések visszaszorítása.
- Egy iszapkezelési koncepció készítése, figyelembe véve a térségben keletkező más biológiailag bontható hulladékok problémáját is.

A szennyvíziszap kezelés (komposztálás, iszaprothasztást és biogáz hasznosítást) térségi rendszerek kialakításával kell megoldani. A NYÍRSÉGVÍZ Zrt. működési területén alkalmazott megoldáshoz hasonlóan a városi körpontokban kialakított iszapcentrumokban szállítanak be a kisebb telepekről az iszapot. A keletkező szennyvíziszap rothasztására a meglévő rothasztók mellett további három rothasztó (Fehérgyarmat, Kisvárd, Mátészalka) megvalósítása javasolt.

A rothasztás mellett szükséges a komposztálás fejlesztése is. A komposztálást is térségi rendszerek kialakításával célszerű megoldani. A távlatban keletkező iszap mennyiségét a 13. ábra szemlélteti.

Felhasznált adatok:

A dolgozat készítése során a Felső-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság kezelésében lévő Települési Szennyvíz Információs Rendszer (TESZIR) adatait használtuk fel.



13. ábra: Keletkező szennyvíziszap mennyisége

A SZENNYVÍZISZAP-KOMPOSZT MEZŐGAZDASÁGI FELHASZNÁLÁSÁNAK TALAJVÉDELMI ENGEDÉLYEZÉSI FOLYAMATA

Sipos Tibor¹, Tóth Attila¹

¹ Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Kormányhivatal Élelmiszerlánc-biztonsági és Földművelésügyi Főosztály Növény- és Talajvédelmi Osztály, 4400 Nyíregyháza, Kótaji u 33.

E-mail: szabolcs-nti@nebih.gov.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Az illetékes növény- és talajvédelmi hatóság - a talajtani-talajvédelmi szakértő által készített talajvédelmi terv alapján – engedélyezi a szennyvízelvezető művel összegyűjtött és a szennyvíztisztító műben tisztított szennyvíz, illetve iszap és kezelt iszap, ideértve a szennyvíziszap komposzt mezőgazdasági területre történő kijuttatását, illetve felhasználásának szakmai feltételeit. A szabályozás célja, hogy a kezelt szennyvizek, szennyvíziszapok, szennyvíziszap komposztok mezőgazdasági területen való szakszerű felhasználásával elkerülhetővé váljanak a talajra, a felszíni és felszín alatti vizekre, valamint az emberek egészségére, a növényekre és az állatokra gyakorolt káros hatások (50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet). A kezelt szennyvíziszap, illetve szennyvíziszap komposzt termőföldön történő hasznosításához az illetékes talajvédelmi hatóság által kiadott eseti engedélyek érvényességi ideje max 5 év. Az eseti engedélyek körébe nem tartoznak bele a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal (továbbiakban: NÉBIH) Növény-, Talaj és Agrárkörnyezet-védelmi Igazgatósága által kiadott forgalomba hozatali és felhasználási engedéllyel rendelkező termékek.

BEVEZETÉS

Szennyvíziszap és szennyvíziszap-komposzt csak előzetes kezelés után kerülhet ki termőföldre. A kezelés jelenthet biológiai, kémiai, illetve hőkezelést, vagy más megfelelő eljárást (így különösen szennyvíziszap felhasználásával történő biogáz előállítás, komposztálást), továbbá a települési folyékony hulladék tartós, legalább 6 hónapig tartó tárolását és/vagy kémiai kezelését. Szennyvíziszap-komposztot a megfelelő minőség elérése érdekében biohulladékok és ásványi eredetű adalékok keverésével komposztáló telepen kell előállítani.

Az engedélyezési eljárások

Szennyvíziszapok, szennyvíziszap-komposztok vonatkozásában a közigazgatási (hatósági) engedélyek, engedélyezési eljárások két alapvető formáját különböztetjük meg.

1./ NÉBIH Növény-, Talaj és Agrárkörnyezet-védelmi Igazgatósága által kiadott forgalomba hozatali és felhasználási engedély

2./ az illetékes talajvédelmi hatóság által kiadott eseti engedély

Az *első esetben* a NÉBIH, mint élelmiszer-felügyeleti szerv (továbbiakban: engedélyező hatóság) az ügyfél kérelmére a 36/2006. (V.18.) FVM rendelet (a termésmenvelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásról) előírásainak

megfelelően laborvizsgálati eredményekre alapozva engedélyezi a vizsgált termék, mint termélnövelő anyag forgalmazását és mezőgazdasági területen történő felhasználását. Az engedély érvényességi ideje maximum 10 év. Megyénkben két ilyen típusú engedély van érvényben.

A Nyírségvíz Zrt. (4400 Nyíregyháza, Tó út 5.) által előállított Nyírkomposzt és Nyírkomposzt plusz. Ezen termékek vonatkozásában hatóságunk rendszeresen (évente, félévente) vesz mintát és ellenőrzi a minőségi feltételeknek való megfelelést. A laboratóriumi vizsgálatokat a garantált hatóanyag-tartalomra vonatkozóan a NÉBIH Szolnoki Talajvédelmi Laboratóriuma (5000 Szolnok, Vízpart krt. 32.), míg a csirázásgátló hatásra és mikrobiológiai vizsgálatokra vonatkozóan NÉBIH Pécsi Talajbiológiai Laboratórium (7634 Pécs, Kodó dűlő 1.) végzi. A vizsgálati eredmények alapján a talajvédelmi hatóság a termék forgalmazását, felhasználását engedélyezi, illetve felfüggeszti, megtiltja, valamint forgalomba hozatali és felhasználási korlátozásokat írhat elő.

A második esetben a növény- és talajvédelmi osztály, mint elsőfokú talajvédelmi hatóság eseti engedélyt ad ki a kezelt szennyvíz, szennyvíziszap, szennyvíziszap-komposzt vonatkozásában az 50/2001. (IV. 3.) Kormányrendelet (a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól) előírásainak figyelembevételével.

Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében az elmúlt 3-5 évben kezelt szennyvíziszap mezőgazdasági területen történő felhasználását közel 450 ha-on, míg szennyvíziszap komposzt termőföldön történő hasznosítását 260 ha-on engedélyeztük (1. táblázat).

1. táblázat: Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében kijuttatásra engedélyezett területek (2015. októberi aktuális állapot)

	ENGEDÉ- LYEK SZÁMA (db)	TERÜLETNAGY- SÁG (ha)	KIJUTTATOTT ANYAG MENNYISÉGE (m ³)	TALAJ TER- HELHETŐSÉGE (m ³ /ha/év)
SZENNYVÍZI- SZAP	8	450	6512	6,4-37,5
SZENNYVÍZI- SZAP KOM- POSZT	3	260	1506	2,5-7,3
ÖSSZESEN	11	710	8018	-

A talajvédelmi engedélyezési eljárás folyamata

A kérelmet az ügyfél (földtulajdonos/földhasználó, vagy a szennyvíztisztító mű kezelője) nyújtja be a talajvédelmi hatóság felé.

A kérelemnek tartalmaznia kell a talajvédelmi tervet, mint alapidokumentumot. Talajvédelmi tervet csak olyan talajvédelmi szakértő készíthet, aki a szakértői névjegyzékben szerepel. A talajvédelmi terv formai és tartalmi követelményeit a 90/2008. (VII. 18.) FVM rendelet (a talajvédelmi terv készítésének részletes szabályairól) írja elő.

A tervet a kijuttatással érintett terület talajvizsgálati eredményeire, valamint a felhasználni kívánt szennyvíziszap/szennyvíziszap-komposzt összetételére vonatkozó

eredményeire alapozva kell elkészíteni figyelembe véve a termesztett növények tápanyag igényét.

A talajvédelmi terv legfontosabb része a talajterhelhetőségi számítások elvégzése, mert ez mutatja meg, hogy a különböző szántóföldi- és gyümölcs kultúrák alá mennyi szennyvíziszap/ szennyvíziszap-komposzt helyezhető el (m^3/ha , m^3 szárazanyag/ha).

A talajvédelmi terv készítésénél további kritikus pont lehet a szennyvíziszapban/ komposztban mért nehézfém-tartalom és a mikrobiológiai vizsgálatok eredménye. Ezen paraméterekre a megengedett határértékeket az 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet 5. számú melléklete tartalmazza (2. táblázat).

Amennyiben a szennyvíztisztító mű kezelője az engedélyes, úgy szükséges a földtulajdonos/földhasználó írásbeli hozzájárulása is a termőföldön történő hasznosításhoz.

2. táblázat: Szennyvíziszapban és szennyvíziszap komposztban megengedett mérgező elemek és káros anyagok határértékei mezőgazdasági felhasználás esetén

Paraméter	Szennyvíziszap határérték mg/kg szá.	Szennyvíziszap komposzt határérték mg/kg szá.
As	75	25
Cd	10	5
Co	50	50
SCr	1000	350
Cr VI.	1	1
Cu	1000	750
Hg	10	5
Mo	20	10
Ni	200	100
Pb	750	400
Se	100	50
Zn	2500	2000
SPAH	10	5
SPCB	1	0,5
TPH	4000	1000
<i>Mikrobiológiai határértékek:</i>		
Humán parazita bélféreg peteszám	–	25 g negatív
Salmonella sp.	–	2x5 g negatív
Fekál coliform	–	500/g
Fekál streptococcus	–	500/g

Az engedélyezési eljárás igazgatási szolgáltatási díj (eljárási díj) köteles! A talajvédelmi hatóság részére szennyvíziszap termőföldön történő hasznosítása esetén 144.000,- Ft-ot, míg szennyvíziszap-komposzt felhasználása esetén 110.000,- Ft-ot kell befizetni.

Kezelt szennyvíz, vagy szennyvíziszap mezőgazdasági területre történő kijuttatása esetén az eljárásba a következő szakhatóságokat kell bevonni:

- területileg illetékes népegészségügyi hatóság (szakhatósági hozzájárulást ad ki),
- területileg illetékes vízvédelmi hatóság (szakhatósági hozzájárulást ad ki),

- területileg illetékes környezet- és természetvédelmi hatóság (szakkérdésben nyilatkozik).
A vízvédelmi, illetve a környezet- és természetvédelmi hatóság részére 14.000,- Ft igazgatási szolgáltatási díjat köteles befizetni az engedélyes.

A talajvédelmi hatóság által kiadott engedély maximum 5 évig érvényes!

Az elkészült határozatot a területileg illetékes jegyzővel is közölni kell. A szennyvíziszap-komposzt mezőgazdasági felhasználásának engedélyezési folyamata annyival egyszerűbb, hogy az eljárásba nem kell szakhatóságokat bevonni, illetve alapidokumentumként elegendő egy egyszerűsített talajvédelmi terv is, ugyanakkor mellékelni kell a komposztáló telep hulladékkezelési engedélyét.

A kijuttatásra és felhasználásra vonatkozó legfontosabb előírások

- Termőföldön szennyvíziszap nem tárolható!
- Szennyvíziszap-komposzt a tábla szélén max. 2 hónapig tárolható!
- A szennyvíziszapot talajfelszín alá kell kijuttatni (pl: injektálás), vagy felszíni kijuttatásnál azonnal be kell dolgozni!
- A kijuttatott anyag mennyiségéről, felhasználásáról naprakész kimutatást kell vezetni!
- Nitrátérzékeny területen október 31. és február 15. között szennyvíziszap/komposzt nem juttatható ki!
- A munkálatok megkezdését és várható befejezését a talajvédelmi hatóság felé be kell jelenteni!
- A munkálatokat a hatóság bármikor ellenőrizheti (1. ábra)!



1. ábra: Szennyvíziszap kijuttatása Nyírkáta határában

Szennyvíziszap felhasználása *tilos*:

- zöldség- és gyümölcsnövények termesztése esetén
- talajjal érintkező gyümölcsök (pl. szamóca) termesztése esetén,
- rét és legelő művelési ágú területeken,
- védett természeti területen (pl. Natura),
- ökológiai gazdálkodásban,
- ivóvízbázis védőterületén,
- vízjárta mezőgazdasági területeken,
- lakott területtől 300 méteren belül.

IRODALOMJEGYZÉK

36/2006. (V.18.) FVM RENDELET a termésnövelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásról

50/2001. (IV. 3.) KORMÁNYRENDELET a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól

90/2008. (VII. 18.) FVM RENDELET a talajvédelmi terv készítésének részletes szabályairól

63/2012. (VII. 2.) VM RENDELET a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, valamint a megyei kormányhivatalok mezőgazdasági szakigazgatási szervei előtt kezdeményezett eljárásokban fizetendő igazgatási szolgáltatási díjak mértékéről, valamint az igazgatási szolgáltatási díj fizetésének szabályairól

59/2008. (IV.29.) FVM RENDELET vizek mezőgazdasági eredetű nitrátszennyezéssel szembeni védelméhez szükséges cselekvési program részletes szabályairól, valamint az adatszolgáltatás és nyilvántartás rendjéről

2007. évi CXXIX. TÖRVÉNY a termőföld védelméről

SOIL CONSERVATION ORIENTED AUTHORIZATION PROCESS FOR THE AGRICULTURAL UTILIZATION OF SEWAGE SLUDGE

Tibor Sipos¹, Attila Tóth¹

*¹Government Office of Szabolcs-Szatmár-Bereg county, Plant Protection and Soil Conservation
Division of the Department of Food Chain Safety and Agriculture
Kótaji str. 33., H-4400 Nyíregyháza, Hungary*

The delivery of the wastewater collected by the wastewater collection system and treated in the treatment plant and of the sewage sludge and treated sewage sludge including composted sewage sludge to agricultural areas, and the conditions of their utilization is being authorised by the competent authority in plant protection and soil conservation based on a soil conservation plan prepared by a registered expert. The purpose of the regulation is that by the proper utilization of the treated wastewater, sewage sludge and sewage sludge compost it may be possible to avoid adverse and harmful effects for the soil, the surface and underground waters, people's health as well plants and animals. The authorization issued by the competent authority for soil protection for the utilization of the sewage sludge and sewage sludge compost on agricultural land is valid for a period of up to five years. The scope of these permissions do not include products that possess marketing authorisation and licence issued by Plant, Soil and Agricultural Environmental Protection Department of the National Food Chain Safety Office.

A MAGYARORSZÁGI POTENCIÁLIS SZENNYVÍZISZAP ELHELYEZÉS TÉRSÉGI VIZSGÁLATA

Tamás Péter¹, Kerecsi György²

¹ Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék 4028.

Debrecen Ótemető u.2-4., E-mail: poi3poi@gmail.com

² Debreceni Egyetem, Mezőgazdasági-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar,
Víz és Környezetgazdálkodási Intézet, 4032 Debrecen, Böszörményi u. 138.

ÖSSZEFOGLALÁS

A vízellátás és csatornázás a világ más területeihez hasonlóan a legnagyobb környezeti iparág Magyarországon, amely egyben stratégiai potenciált is jelent. A vízellátási és szennyvíztisztítási részmegoldások sikeressége nem jelenti egyértelműen a teljes program sikerét. Ebben a vizsgálatban a szennyvíziszap kezelési és elhelyezési tervezést regionális és települési szinten végeztük. A vizsgálatba vont adatforrások 3 nagy csoportja a következő volt: természeti erőforrások; épített környezet és humán környezet. Ezeket a jogszabályban rögzített határfeltételek (kizárt területek, védőtávolságok) alapján integráltuk. Összehasonlítottuk a jelenlegi szennyvíziszap kezelési agglomerációk helyzetét a mezőgazdasági elhelyezésre potenciálisan alkalmas területek térbeli eloszlásával. Megállapítható hogy a környezetvédelmi hatóságok által készített agglomerációs tervben szereplő 80780 km² -ből mindösszesen 20072 km² alkalmas potenciálisan a szennyvíziszapok elhelyezésére. A 150 000 LE feletti tisztító telepek 80%-a nem rendelkezik elegendő elhelyező területtel. Ezeknek a telepeknek az iszapok égetésére vagy a tervezetnél jelentősen nagyobb logisztikai költségre kell számítaniuk a közeljövőben. Több telepen viszont főleg a 15-5000 LE tisztítású kapacitású dél-alföldi területeken viszont a folyékony iszap injektálása vagy komposztálás egyaránt hatékony iszap elhelyezési eljárás lehet.

BEVEZETÉS

A szennyvíztisztítás klasszikus gyakorlata szó szerint „csővégi technológiának tekinthető”, amely mára szemléletében gyökeresen kezd megváltozni. A víztakarékosság növelése érdekében számos európai országban támogatják, vagy éppen kötelezően előírják az ún. forrás-szabályozást, azaz a keletkezés helyén törekszenek a vízkészletek többcélú felhasználásra (TAMÁS és FILEP, 1994).

A Nemzeti Települési Szennyvízelvezetési és –tisztítási Megvalósítási Program (NTSZTMP) az ország valamennyi agglomerációjának összes terhelését a 2015 évi célidőszakig 14,18 millió LE nagyságra prognosztizálta és a nem közcsatornára kötött iparral együtt (711 000 LE) ez az érték várhatóan 14,89 millió LE-re növekszik.

Az eddigiekből következik, hogy a vízellátás és csatornázás közötti első közmű olló, illetve a csatornázás és szennyvíztisztítás közötti második közmű olló fokozatosan zárul, míg a szennyvíztisztítás és az iszapkezelési kapacitások megléte közötti harmadik közmű olló nyílása vagy stagnálása várható. Ezzel a felszíni és felszín alatti vizek minőségének javulása mellett az iszapkezelés növekvő megoldatlansága válik kritikussá. A képet az is tovább árnyalja, hogy a szennyvíztisztítási fokozatok az EU irányelvek alapján döntően a biológiai bontásig épülnek ki. Ez azzal az ellentmondással is járhat

vízgyűjtőktől eltérően, hogy a kémia tisztítás hiányában a foszforterhelés növekedése várható, mivel a csatornázás növekedése eddig nem észlelt újabb terheléseket jelentenek a befogadókra nézve.

Az alábbiak során megvizsgáljuk milyen feltételek mellett képesek a szennyvíztisztítási fejlesztési kapacitások eleget tenni a feladatuknak az iszap-elhelyezési lehetőségek figyelembe

ANYAG ÉS MÓDSZER

Jelenleg 458 szennyvíztelepen végeznek valamilyen minőségű iszapkezelést. A kikerülő mennyiség 221450 t/száranyag/év volt. A szennyvizek megfelelő tisztításának természetes mellékterméke a szennyvíziszap. Ha a csatornába vezetett szennyvizek jogszabályoknak megfelelő minőségűek és a mai kor követelményeinek megfelelő tisztítás-technológiákat alkalmaznak, az iszap mezőgazdasági szempontból értékes szerves tápanyag, amelyet célszerűen lenne visszajuttatni a termőtalajba. Az NTSZTMP szerint az iszapokból jelenleg 43,5%-ot mezőgazdasági területre, 47,2%-ot lerakóba (depóniába) szállítottak, míg a maradék 9,3% egyéb (jobbára ismeretlen) helyre került. 2015-re az iszap mennyisége a megvalósuló beruházások miatt 390549 t/száranyag/év –re tervezett, amelyből 65% kerülne mezőgazdasági elhelyezésre a lerakás 36%-os aránya mellett. Égetéssel lényegében anyagi okok miatt nem számol a program.

Az NTSZTMP alapján a hatékony kezelés érdekében szennyvíz agglomerációkat hoztak létre a települések. A szennyvízelvezetési agglomeráció „olyan területet jelent, ahol a népesség és/vagy a gazdasági tevékenység elegendően koncentrált ahhoz, hogy a települési szennyvizet összegyűjtsék és egy települési szennyvíztisztító telepre vagy végső kibocsátási pontra vezessék”. A szennyvízelvezetési agglomeráció állhat egy (közigazgatásilag önálló) településből, illetve többől is.

A mezőgazdasági művelési rendszerek mesterséges szétszakítása miatt a szabad területekért folytatott versenyben a földterületek hiányában az állattenyésztő telepek is komoly hasznosítási gondban vannak, mivel a kisebb kockázatot jelentő hígtrágya elhelyezésére sincs mindig mód. A Vízgazdálkodási terv 1. kiemelni, hogy a Nitrát- Akcióprogram keretében 2002 és 2007 között a 8380 nyilvántartott nagy létszámú állattartótelep közül mintegy 3000 korszerűsítése történt meg.

Az iszap mezőgazdasági területen hasznosítással egybekötött elhelyezését nagyon részletes EU irányelven alapuló kormányrendelet szabályozza (SIMON et al. 2012). A szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól az 50/2001. (IV.3.) Korm. rendelet rendelkezik. A rendeletnek megfelelően a mezőgazdaságban csak megfelelően kezelt szennyvíziszap helyezhető el. Ez engedélyhez kötött tevékenység, amelyet talajtani szakvélemény alapján a közegészségügyi hatóság hozzájárulásával lehet végezni.

Több magyarországi kutatás különösen a biomassza előállításban rejlő lehetőségeket támasztja alá (SIMON et al. 2000, 2013), mivel ebben az esetben jelentősen lehet a nehézfém-szennyezés kockázatát csökkenteni (TAMÁS ÉS FILEP, 1995.)

Vizsgálataink során a 2006-os agglomerációs tervet vizsgáltuk felül. Az általunk végzett GIS alapú Térbeli Döntéstámogatási Rendszer a szennyvíziszap-elhelyezés módszertani és térbeli döntéstámogatási feladatait elemezte TAMÁS és FEHÉR (2010) által kidolgozott határfeltételek alapján.

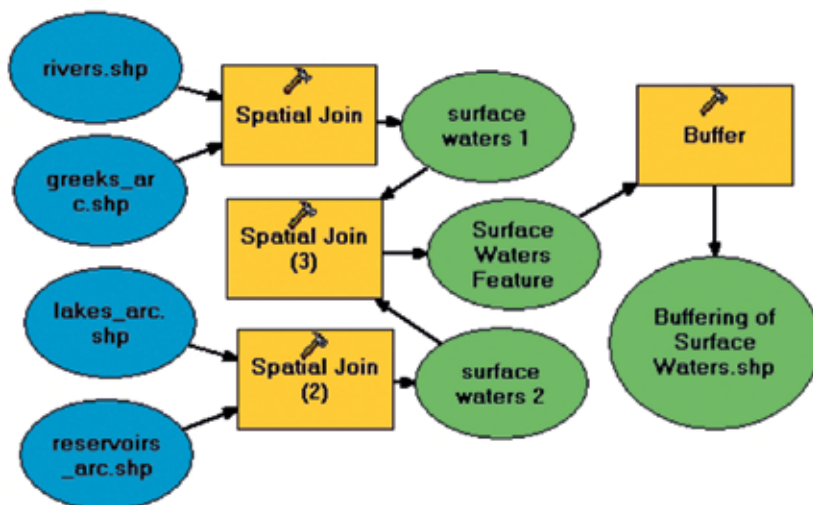
Az értékeléshez az illetékes kormányhivatal referencia adatokat bocsájtott a rendelkezésünkre.

A szennyvíziszap kezelési és elhelyezési tervezést regionális és települési szinten végeztük. A vizsgálatba vont adatforrások 3 nagy csoportja a következő volt: természeti erőforrások; épített környezet és humán környezet. Ezeket a jogszabályban rögzített határfeltételek (kizárt területek, védőtávolságok) alapján integráltuk. Összehasonlítottuk a jelenlegi szennyvíziszap kezelési agglomerációk helyzetét a mezőgazdasági elhelyezésre potenciálisan alkalmas területek térbeli eloszlásával.

Vizsgálatuk a gazdaságosan kezelhető iszap agglomerációk, üzemeltetési méreteinek (szállítási távolság, vonzáskörzet nagysága stb.) regionális megoszlását. Fgyelembbe vettük az ipari üzemek csatornahálózatba történő szennyezőanyag kibocsátásait annak érdekében, hogy a keletkező szennyvíziszap újrahasznosíthatósága minél nagyobb arányban biztosítható legyen.

EREDMÉNYEK

Az elkészített GIS makro programmodell egy paraméterezett tudásbázison alapuló térbeli elemzési rendszer alkalmazását tette lehetővé. Ennek egy részletét mutatja be az 1. ábra.



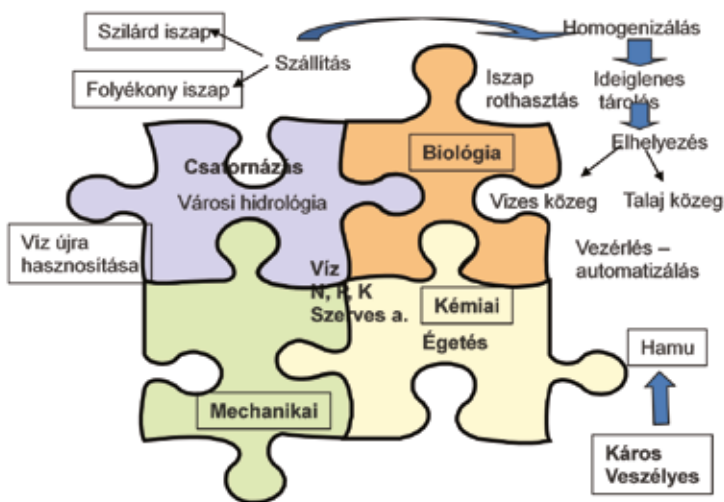
1. ábra: Felszíni vizek védőtávolságainak kiszámítása során alkalmazott döntéstámogatási modellrészlet (saját szerkesztés)

Input: rivers = folyók; greeks_arc = patakok; lakes_arc = tavak; reservoirs_arc = tározók; műveletek: spatial join = térkapcsolat; buffer = védőtávolság számítás; *output:* surface waters = felszíni vizek; buffering of surface waters = védőtávolság a felszíni vizektől

A szennyvíztisztításra kötelezett 2436 települések közigazgatási területe az ország területének (93036 km²) 86%-a (80780 km²), amelyből ténylegesen beépített 4548 km². Szennyvíztisztítási agglomerációk száma 1023, így átlag 2,4 település került azonos agglomerációba, ahol területük átlaga 78.9 km² nagy szórással (SZD= 87,9).

A kizáró feltételek közül a legnagyobb régiókat az eredeti agglomerációs tervből az EU Nitrát Direktívája alapján nitrát érzékenynek nyilvánított 1488 település 42985 km²-nyi területe zárta ki. A vizsgálat eredményeként a potenciálisan elhelyezésre alkalmas mezőgazdasági területek (PEAMT) nagysága 23749 km² ebből 657 település melyek 4416 km²-nyi területe csak mennyiségi korlátozással alkalmas iszap elhelyezésre. A szállítási távolságok optimalizálása során meghatároztuk, hogy a 3625 km² elhelyezésre alkalmas terület szállítási távolsága meghaladja a 10 km-t. A PEAMT alakja és mérete sem mindig alkalmas az elhelyezésre a 10 ha-nál kisebb területek nagysága 25242 ha volt, ahol az elhelyezés logisztikai okokból drágább lesz, mint a nagyobb farmokon. Megállapítható hogy a környezetvédelmi hatóságok által készített agglomerációs tervben szereplő 80780 km² -ből mindösszesen 20072 km² alkalmas potenciálisan a szennyvíziszapok elhelyezésére. A 150 000 LE feletti tisztító telepek 80%-a nem rendelkezik elegendő elhelyező területtel. Ezeknek a telepeknek az iszapok égetésére vagy a tervezetnél jelentősen nagyobb logisztikai költségre kell számítaniuk a közeljövőben. Több telepen viszont főleg a 15-5000 LE tisztítású kapacitású dél-alföldi területeken viszont a folyékony iszap injekciója vagy komposztálás egyaránt hatékony iszap elhelyezési eljárás lehet. A területi tervezés módszertani kérdései kapcsán megállapíthatjuk, hogy a bevezetőben említett klasszikus csővégi szemlélet helyett egy integrált tisztább termelési rendszert kellene az ágazatban megvalósítani.

A 2. ábra alapján a városi csatornázás során csak a minimálisan szükséges szennyvízterhelésre kellene törekedni, a vizek helyben történő felhasználása mellett. A tisztítóműben olyan tisztítási technológiát kellene alkalmazni ahol nem csak a jogszabályi határértékeket veszik figyelembe, hanem egy proaktív szemlélettel már az mezőgazdasági elhelyezés szempontjából minőségjavító megoldásokat is. Az iszapelhelyezés magas szintű automatizálási - információs háttérrel ellátott, logisztikai agrokémia rendszerek létrehozását kívánja meg, amelyhez min. 50-100000 LE nagyságú telepek agglomerációja szükséges. Az agglomerációknak saját földtulajdonra és/vagy tartós bérletre kell törekedniük, stratégiai partnerekkel. Ezzel a hulladékból terméket tudunk előállítani. A környezeti kockázatokat minimalizálva egyúttal új zöld technológiák alapját megteremteni.



2. ábra: Integrált vízkészlet-gazdálkodási rendszer kapcsolati rendszere (saját szerkesztés)

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A környezeti iparágak megteremtésekor általánosságban, csak azok jó oldalát szokás megemlíteni. Azonban a helytelenül megválasztott megoldásokkal ez az iparág is a hagyományos ágazatokhoz hasonló környezeti kockázatokat okozhat. Azokban az esetekben ahol a „termék” egy eredeti formájában kimerülőben lévő semmi mással nem pótolható környezeti erőforrás, azaz a tiszta vízkészlet, különösen nagy a jelenkor döntéshozóinak a felelőssége. A vízellátás és csatornázás a világ más területeihez hasonlóan a legnagyobb környezeti iparág Magyarországon, amely egyben stratégiai potenciált is jelent. A vízellátási és szennyvíztisztítási részmegoldások sikeressége nem jelenti egyértelműen a teljes program sikerét. A vízdíjak jelentős növekedése számos társadalmi feszültség forrása már ma is, amely régióként eltérő mértékben várhatóan tovább növekszik. A mostani beruházásokkal kapcsolatban meg kell említeni a most nem elemzett ipari háttér helyzetét is. A tízmilliós ország részére gazdaságos sorozatgyártó kapacitást nem célszerű kialakítani, ezt a globális piacon kell beszerezni. A jövőben a szolgáltatások díjában is megjelenő amortizációs díjak szintén áremelést gerjesztenek. Így különösen fontos hogy a ma épülő berendezések a elkövetkezendő 25 év szigorodó környezeti követelményeinek is tegyenek eleget. A korszerűség megítélésének nem lehet egyedüli kritériuma a műszaki megfelelés. A hosszú távú megoldásnak az adott vízgyűjtő természeti feltételeit, az ott élők gazdasági teherviselő képességét és az alkalmazott technológiák társadalmi elfogadhatóságát egyaránt ki kell elégíteniük. Ez az iszapok újrahasznosítási lehetőségeire fokozottan is igaz, amely regionálisan és településenként is lokálisan optimalizált megoldást igényel.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők a kutatási alapadatok biztosításáért köszönetet mondanak a Belügyminisztérium és az AQUAPROFIT Zrt. munkatársainak.

IRODALOMJEGYZÉK

- SIMON L., PROKISCH J., GYŐRI Z., 2000. Szennyvíziszap komposzt hatása a kukorica nehézfém-akkumulációjára. *Agrokémia és Talajtan* 49: 247-255.
- SIMON, L., GY. VINCZE, CS. VARGA, B. SZABÓ, J. KONCZ, 2012. Passive phytoextraction of toxic elements from sewage sludge compost by *Salix viminalis* energy plants. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 47: 285-291.
- SIMON, L., B. SZABÓ, M. SZABÓ, GY. VINCZE, CS. VARGA, ZS. URI, J. KONCZ, 2013. Effect of various soil amendments on the mineral nutrition of *Salix viminalis* and *Arundo donax* energy crops. *European Chemical Bulletin* 2(1). 18-21.
- TAMÁS, J., FEHÉR, J. 2010. Decision support for sludge disposal strategy development to resolve urban and regional water resources management conflicts. *Water Practice & Technology*. IWA Publishing. ISSN 1751-231x. 5:3. 1-9.
- TAMÁS, J., FILEP, GY., 1994. Heavy metals in sewage sludge. In: Kun, G. K. (ed.) *Environmental Problems and Possible Solutions in the Carpathian Basin*. Pollution and Water Resources Columbia University Seminar Series XXVIII. 93-112.
- TAMÁS, J., FILEP, GY., 1995. Nehézfémforgalom vizsgálata szennyvíziszapokkal terhelt mezőgazdasági területeken. *Agrokémia és Talajtan*, MTA, Budapest, 44. 3-4. 419-427.

SPATIAL ANALYSIS OF POTENTIAL HUNGARIAN SEWAGE SLUDGE DISPOSAL

Tamás Péter¹, Kerecsi György²

¹ Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék 4028.

Debrecen Ótemető u.2-4. E-mail: poi3poi@gmail.com

² Debreceni Egyetem, Mezőgazdasági-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar,
Víz és Környezetgazdálkodási Intézet, 4032. Debrecen , Böszörményi u. 138.

Water supply and sanitation industries are the most important industrial branches that are also mean strategical potential for water industry. Success of partial solutions of waste water treatments are not equal with success of full project. In this case study sewage sludge disposal was evaluated by GIS method. The utilized data sources were next: natural resources, urban environment and human environment. These were integrated on the basis of Hungarian law regulations (excluded areas, buffer zones). We compared the spatial patters of present agricultural sludge disposal agglomeration areas with potentially suitable areas. It can be laid down as a fact that from total 80780 km² the permitted disposal areas of environmental authority only 20072 km² suitable sludge disposal. 80% of the larger than 15000 HU capacity waste water treatment plants have not enough area to reutilize sewage sludge. These plants have to consider sludge incineration with higher operational and logistic cost. Mainly for smaller waste water treatment plants (<15000 HU) the liquid sludge injection and composting are equally optimally applicable post treatment technology.

2. A SZENNYVÍZ- ÉS SZENNYVÍZISZAP- KEZELÉS ÉS HASZNOSÍTÁS LEGÚJABB HAZAI TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEI

KUTATÁS-FEJLESZTÉSI PROGRAM A SZENNYVÍZBŐL ÉS A SZENNYVÍZISZAP-KOMPOSZTBÓL TÖRTÉNŐ GYÓGYSZERMARADVÁNY ELTÁVOLÍTÁSRA

Balázsy Sándor¹, Tóth Gábor², Mészáros József²

¹ Balázsy Kutatási, Oktatási és Szolgáltató Bt.
4400 Nyíregyháza, Jósa András út.10

² NYÍRSÉGVÍZ Nyíregyháza és Térsége Víz- és Csatornamű Zrt.
4401 Nyíregyháza, Tó u. 5.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az utóbbi évtizedekben, a társadalomban exponenciálisan növekedett, a mesterségesen előállított termékek, többek között a gyógyszerek mennyisége. A szervezetbe jutott hatóanyagoknak kis része átalakul, nagyobb részt azonban kiürül a szervezetből. Irodalmi adatok, illetve saját mérések alapján a szervezetből távozó gyógyszerhatóanyagok szennyvizekben koncentrálnak, és a szennyvíztisztítás során csak részben, vagy egyáltalán nem bomlanak le. A felszíni- és talajvízbe kerülve az élővilágra károsító hatást fejthetnek ki. A NYÍRSÉGVÍZ Zrt. innovatív kutatása során célul tűzte ki a nem szteroid gyulladá- és fájdalomcsillapító anyagok szennyvízből mikrobiológiai úton történő eltávolításának vizsgálatát, valamint beillesztését és bevezetését a modern eleveniszapos szennyvíztisztítási technológiákba. A *diclofenac*, *ibuprofen*, *ketoprofen* és *naproxen* gyógyszermaradékok eltávolítására alkalmas baktériumokat nyers szennyvízből izoláltuk, majd a megfelelő hatékonyságú törzseket szelektáltuk. A felszaporítást követően a léptékarány elvét szem előtt tartva, laboratóriumi-, félüzemi- és üzemi kísérletekben tanulmányoztuk az eltávolítás hatásosságát.

BEVEZETÉS

A közeljövőben az egész világnak, beleértve Európát is, talán az eddigi legnagyobb problémával kell szembenézni; a tiszta ivóvíz hiányával, így a korlátozott vízforrások és azok minősége nagyon fontos gazdasági tényező lesz. A tudománynak ezt a problémát kell mielőbb kiküszöbölnie, és megoldást találnia, mielőtt a tiszta ivóvíz teljesen elfogyne és a talajok, valamint a természetes vizek menthetetlenül elszennyeződnek (POSEIDON, 2006).

Ma az Európai Unióban körülbelül 3000 különböző gyógyszerhatóanyagot tartalmazó készítmény van forgalomban. A gyógyszerek felhasznált mennyiségében az utóbbi évtizedekben jelentős növekedés figyelhető meg (KRAIGHER et al., 2008). A gyógyszerhatóanyagok közül a legnagyobb mennyiségben a nem szteroid típusú fájdalom- és

gyulladáscsökkentő gyógyszerek, rövidítve NSAID (Non-Steroidical Anti-Inflammatory Drugs) vegyületek (pl. acetilszalicilsav (aszpirin), para-acetaminofenol – hétköznapi nevén *paracetamol*, *diclofenac*, *indometacin*, *ibuprofen*, *phenilbutazon*, *ketoprofen*, *aminophenazon*, *naproxen* stb.) kerülnek felhasználásra. A változatlan szerkezetben maradt gyógyszereket, a keletkezett metabolitjaikat a szervezetünk kiüríti, így a kiválasztott gyógyszermaradványok a vizelettel és salakanyaggal bekerülnek a szennyvízbe. Ha ezek a gyógyszermaradványok eltávolítása a szennyvíztisztítás során csak részlegesen valósul meg, akkor a maradék mennyiség bejuthat a környező vizekbe és a talajvízbe. A hatóanyagok vizsgálata csak az utóbbi 10-15 évben vált lehetővé, a kimutatásukra alkalmas, rutinszerű analitikai módszerek pedig csak ekkorra váltak elterjedté, a környezetben viszonylag kis koncentrációjú előfordulásuk miatt.

Míg korábban elfogadott volt az a nézet, hogy a szennyvizekbe kerülő gyógyszermaradványok mennyisége elhanyagolható, így hatásuk sem jelentős, úgy mára a gyógyszermaradványok okozta környezeti ártalmakra egyre több irodalmi adat áll rendelkezésre. A gyógyszerek többségével elvégzett ökotoxikológiai vizsgálatok kimutatták, hogy kis, ún. „környezeti” koncentrációban ritkán okoznak akut mérgező hatást, mindazonáltal a krónikus hatásokat még vizsgálni kell (FENT et al., 2006). A gyógyszer-származékoknak a környezetben történő megjelenése, az általuk okozott nemkívánatos hatások növekvő aggodalomra adnak okot. Az elvégzett vizsgálatok azt valószínűsítik, hogy az élővizekbe kerülő gyógyszer-származékok, hormonok, kedvezőtlenek a vízben élő szervezetekre, a táplálékláncre, az ökológiai egyensúlyra, sőt a megfigyelések során kiderült, hogy egyes hatóanyagok már ng/ml koncentrációban is megváltoztatják a természetes életműködést.

KÜMMERER (2009) szerint a kockázatkezelési stratégiákat a gyógyszerek szennyvízből történő eltávolítására kell fókuszálni. A jelenleg alkalmazott technikáknak, módszereknek megvannak a maga sajátos hiányosságai. AHÉL és JELIC (2011) két év alatt 72 mintavétel alkalmával érkező- és elfolyó szennyvízmintában 43 gyógyszerhatóanyagot vizsgált. A vizsgálataik során megállapították, hogy 32, érkező szennyvízmintában található gyógyszerhatóanyagból 29 kimutatható volt az elfolyó, tisztított szennyvízben is, a tanulmányozott hatóanyagok közül pedig 21 akkumulálódott a szennyvíziszapban 100 µg/kg-tól nagyobb mennyiségben. Európában 1999-ben kb. 50.000 szennyvíztisztító, működött, amely évente 8,1 millió tonna szennyvíziszapot produkált (MAGAROU, 1999). Ezek elhelyezése gondot okozhat, mivel a gyógyszerhatóanyagokon kívül tartalmazhatnak egyéb, környezetre káros vegyületeket is. Magyarország nagyvárosainak szennyvíztisztító műveibe évente nagy mennyiségű gyógyszermaradvány kerül, és a jelenleg működő szennyvíztelepi technológiák egyike sem alkalmas az összességében nagy, de az egyes szennyvizekben kis koncentrációjú gyógyszerhatóanyagok teljes kiszűrésére, hatékony eltávolítására.

KRAIGHER et al. (2008) szennyvíztisztítók eleveniszapjának szerkezetén levő gyógyszerészeti maradványok hatását vizsgálták a bakteriális közösségekre, és megállapították, hogy az eltávolítás során a fő szerep a mikrobáké. A jelenlévő mikroorganizmusok azonban nem képesek teljesen lebontani, eltávolítani a gyógyszermaradványokat. GRÖNING et al. (2007) szerint a szennyvizekben a gyógyszerhatóanyagok zömének eltávolítása kis koncentráció esetén gyorsan bekövetkezik a mikroorganizmusok jelentős adaptációja nélkül is, nagyobb koncentráció esetén viszont szembetűnően csökken

az eltávolítás hatásfoka. A hatóanyagok biológiai eliminációja a szennyvízkezelésben a mikroorganizmus közösségekkel való kölcsönhatásuk eredményeképpen nyilvánul meg, mégpedig jellemzően a szennyvíziszapon történő adszorpció (mely függ a hidrofíli-hidrofób állapottól és a részecske-mikroorganizmus közötti elektrosztatikus kölcsönhatásoktól) és a biológiai degradáció során (KÜMMERER et al., 1997; BUSER et al., 1998b).

A Nyírségvíz Zrt. innovációs fejlesztési projektjében célul tűzte ki, egyes a szennyvízben koncentrálódó nem-szteroid gyulladáscsökkentő és fájdalomcsillapító gyógyszerhatóanyagok mikroorganizmusok segítségével történő eltávolítási lehetőségének vizsgálatát, valamint a módszer beillesztését a modern, eleveniszapos szennyvíztisztítási technológiákba.

LABORATÓRIUMI KÍSÉRLETEK

A hatóanyagok kiválasztásánál szempont volt a lakosság által felhasznált mennyiség, a környezeti perzisztencia, a potenciális akut és krónikus ökológiai hatás, illetve a szennyvíztisztítási technológiák során tapasztalt eltávolítási hatékonyság. Irodalmi adatok bizonyították, hogy a legnagyobb mennyiségben felhasznált acetilszelicilsav, illetve para-acetaminofenol vegyületek az általánosan alkalmazott modern, több fokozatú szennyvíztisztítási technológiák alkalmazása során szinte teljes egészében eliminálódnak. Előbbieknek megfelelően, a szintén nagy mennyiségben értékesített és alkalmazott, viszont eltávolítás során a lebontásnak ellenállóbb, sőt bizonyos mátrixokban akkumulálódó *ibuprofen*, *diclofenac*, *ketoprofen* és *naproxen* hatóanyagok vizsgálata került középpontba. A NYÍRSÉGVÍZ Zrt. 2009-ben kezdte meg közös kísérleteit a Nyíregyházi Főiskola Biológia Intézetével a kiválasztott NSAID hatóanyagok mikrobiális eltávolításának vizsgálatára, és az eltávolításra alkalmas mikroorganizmusok izolálására.

Az izolátumok nem egy fajhoz tartoznak, hanem úgynevezett mikroba kombinációk, azaz több faj szinergikus együttműködése által válik lehetővé a kedvező tevékenység. A mikroorganizmus-kombinációk izolálása szennyvízből történt, így azok a rendszer természetes összetevői, és utólagos visszajuttatásuk nem okoz kedvezőtlen paraméter-változásokat a tisztítási folyamatban.

A laboratóriumi kísérletek során több mikroba-kombináció tesztelése történt, megfelelő mennyiségű (25-50 mg/l koncentrációjú) gyógyszerhatóanyagot tartalmazó, szaprofita-baktérium tenyésztésre alkalmas táptalajban alkalmazásával. A már említett 4 NSAID vegyület meghatározott mennyiségével kiegészített dúsító táptalajokban lévő baktériumok 3, 6, 9, 12, 15, 18 és 21 napos rázatott kultúráit vizsgáltuk. A szaporodási képességet, illetve hatóanyag koncentráció-változást HPLC analitikai módszerrel vizsgálva kerültek kiválasztásra a lebontásra alkalmas, *ibuprofen* esetében I10/10, I14/12, I14/13, I14/14; *naproxen* esetében A9/1, A9/2, *ketoprofen* esetében K8/1, míg *diclofenac* esetében D3/3 és D3/4 típusjelű mikroorganizmus kombinációk.

Laboratóriumi körülmények között, hatóanyagtól és kultúrától függően, 39-91% közötti eltávolítási hatékonyságot mértünk.

FÉLÜZEMI KÍSÉRLET

Az izolált és szelektált mikroorganizmus-kombinációk félüzemi gyógyszerhatóanyag eltávolítási képességének vizsgálatát a Nyíregyházi I. sz. szennyvíztisztító telep területén megépült szén-acél szerkezetű, 10 m³ térfogatú, kevert rendszerű, folyamatos átfolyású, fölös iszap elvétellel rendelkező, fedett, műanyag alapú festékekkel kezelt berendezésben végeztük. A berendezésbe előülepített szennyvíz került. A műtárgyak méretarányos kicsinyített másai a 22000 m³/nap kapacitású nagy telep műtárgyainak, és a tisztítási folyamat is megegyezik. A víz tartózkodási ideje 1 nap. Két hét alatt, a kémiai paraméterek folyamatos nyomon követésével, megállapítottuk, hogy a kísérleti berendezés tisztítási fokozatai stabilan beálltak, az eleven iszapban a mikroszkópos biológiai vizsgálatok szerint pedig a megfelelő működést jelző bioindikátor szervezetek is megjelentek.

A kísérleti berendezés nitrifikáló, levegőztető térrészébe oltottuk az előzetesen 2,5-3% szárazanyag tartalmú folyékony dúsító táptalajban előszaporított baktérium-törzs kombinációkat. A hatóanyag bontási képesség meghatározható az érkező szennyvíz és a tisztított vízben lévő hatóanyagok koncentráció-változása, illetve a kísérleti berendezés és a telep elfolyó vizében lévő koncentrációk összehasonlításával. A gyógyszermaradványok mennyiségi meghatározása HPLC-MS módszerrel történt.

A 2010-2011-es időszakban 4 alkalommal vizsgáltuk a gyógyszerhatóanyagok eltávolítását az előszaporított mikroorganizmus-kombinációk meghatározott mennyiségű beoltásaival. A mintavételek közvetlenül a beoltások előtt, majd azt követően 4 napon keresztül 12 óránként történtek. Mérési eredményeinket az 1. táblázatban mutatjuk be.

Az előzetes eredmények alapján, a 2015 második felében indult kísérletek célja, a szennyvíztisztítás szilárd fázis (iszap, komposzt) gyógyszerhatóanyag-tartalmának minimalizálása biológiai úton, a technológia szempontjából idegen vagy módosított mikroorganizmusok alkalmazása nélkül.

1. táblázat: Átlagos gyógyszerhatóanyag eltávolítási százalék (az érkező- és elfolyó szennyvizekben mért koncentrációk aránya)

Szennyvíztisztító telep (kontroll)		Ibuprofen	Naproxen	Diclofenac
		77,3%	91,7%	21,9%
Kísérleti, félüzemi berendezés	beoltás előtt	73,2%	92,1%	-14,1%
	beoltás után	89,2%	97,8%	37,4%

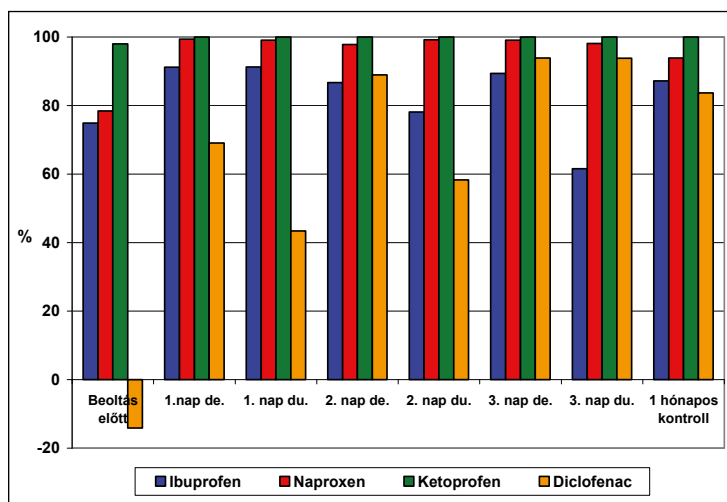
Megtörtént a fagyasztva tárolt, gyulladá- és fájdalomcsillapító hatóanyagok eliminálásában hatékony baktérium törzs-kombinációk revitalizációja, majd meghatározott térfogatra való felszaporítása. Teszteltük a mikroorganizmusok hatékonyságát laboratóriumi és félüzemi körülmények között egyaránt.

Az első kísérlet eredményeinek értékelése alapján megállapítottuk, hogy az előzetesen szelektált, izolált és felszaporított baktériumtörzs-kombinációval történő kezelés hatékony. Folyamatos üzem során a *ketoprofen* 69,5% – 95,2%-a, a *naproxen* 57,8% - 76,2%-a és az *ibuprofen* >95%-a eliminálódik, míg az érték *diclofenac* esetében -68,6%

- 0,7% közötti. A kísérleti berendezés zárt üzeművé kapcsolása, illetve a baktérium-törzs-kombinációk kétszeres mennyiségű újbóli inokulációja után a második kísérletben már mind a négy hatóanyag eltávolítása eredményesen megtörténik, átlagosan 84,4% - 99,1% közötti értékkel. A harmadik kísérlet eredményei (eltávolítási hatékonyság 76,2% - 98,3% közötti) bizonyítják, hogy zárt üzem esetében, a kísérleti-szennyvíztisztító berendezés jó hatásfokkal üzemel.

ÜZEMI KÍSÉRLET

2012. június végén a kísérlet egy 660 m³/nap kapacitású szennyvíztisztító telepen folytatódott, immár üzemi körülmények között. Az 1 m³ folyékony táptalajban előszaporított mikroorganizmus-kombinációk bejuttatása 500-500 literes mennyiségben történt a szennyvíztisztító két, egyenként 212 m³ térfogatú levegőztető medencéjébe. A beoltás előtt, illetve azt követően 3 napon keresztül 12 óránként történt mintavételek után, illetve egy hónappal a kísérlet megkezdése után kerültek meghatározásra a NSA-ID vegyületek koncentrációi (1. ábra).



1. ábra: Hatóanyagok eltávolítási arányai egy kis kapacitású szennyvíztisztító telepen

A kísérletek során több esetben meghatározásra kerültek a szennyvíziszapok különböző frakcióinak (recirkulációs-, fölös-, víztelenített- és rothasztott iszap), illetve a szennyvíziszap-komposztnak is a gyógyszer-hatóanyag koncentrációi, melyből nyilvánvalóvá vált, hogy a hatóanyagok a szennyvíziszapban jelentősen akkumulálódnak, és koncentrációjuk a komposztálás folyamata során csak kis mértékben csökken.

A korábbi vizsgálati eredmények alapján meghatározott cél értelmében, a kísérletek a szennyvíztisztítás melléktermékeként keletkező és komposztálás nyersanyagául szolgáló szennyvíziszap, illetve a kész komposzt hatóanyag-eltávolítási lehetőségeinek vizsgálatával folytatódtak. Ennek keretében minta-előkészítési és mérési módszer került kidolgozásra a HPLC-MS nagyműszeres analitikai vizsgálat alkalmazásához a Nyírségvíz Zrt. és a Nyíregyházi Főiskola laboratóriumaiban, mely lehetővé tette a komposzt- és iszap minták gyógyszerhatóanyag koncentrációjának meghatározását. A Nyírségvíz

Zrt. komposztáló telepén kialakításra került 6 db 10 m³ térfogatú komposzt-, illetve 2 db 10 m³ térfogatú szalmával kevert víztelenített iszap prizma. A baktériumtörzsek hatékony bejuttatására és elkeverésére alkalmas módszer kidolgozása után, megtörtént az előszaporított mikroorganizmusok előre meghatározott arányú és mennyiségű, különböző kombinációjának beoltása a prizmákba, mindkét mátrix esetén 1-1 kontroll prizma kivételével. A beoltást megelőzően, majd ezt követően négy héten keresztül, hetente két alkalommal történt mintavétel, prizmáknként 3-3 átlagminta formájában.

A minták feldolgozása utáni eredmények azt mutatják, hogy a baktérium-törzsek képesek a szilárd mátrixok esetén is a gyógyszermaradékok eliminálására, mégpedig bejuttatott mennyiségük növelésével egyre nagyobb hatékonysággal. A kezdeti mérések alapján úgy tűnik, hogy a szalmával kevert, víztelenített szennyvíziszap esetében, melynek maghőmérséklete és nedvességtartalma is magasabb, az eltávolítás nagyobb hatékonysággal megy végbe, mint kész komposzt esetében.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A kísérleti eredmények tükrében, célszerű lehet a további kísérleteket a komposztálás folyamatának kezdeti mátrixául szolgáló, szalmával elkevert víztelenített iszapra összpontosítani. Ennek megfelelően a komposztáló telepen kialakítani a mikrobiális eltávolítás térszínéül szolgáló prizmákat, melybe az előre meghatározott mennyiségű, és különböző kombinációjú előszaporított baktériumtörzs-kombinációval történő kezelések hatásának vizsgálata válhat lehetővé. Eredményes kísérlet esetén meghatározhatóvá válik a hatékony elimináláshoz szükséges, különböző hatóanyagok eltávolítását végző baktériumtörzsek optimális mennyisége és egymáshoz viszonyított aránya.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton fejezzük ki köszönetünket Cziáky Zoltánnak és Sinka Lászlónak, a Nyíregyházi Főiskola Agrár és Molekuláris Kutató és Szolgáltató Intézete munkatársainak, az LC-MS mérések kivitelezéséért.

IRODALOMJEGYZÉK

- AHEL, M., JELICIC, I., 2001. Phenazone analgesics in soil and groundwater below a municipal solid waste landfill. In: Daughton, C.G., Jones-Lepp, T. (eds.), *Pharmaceuticals and Personal Care Products in the Environment: Scientific and Regulatory Issues*. Symposium Series 791, American Chemical Society, Washington DC, pp. 100–115.
- BUSER, H.R., POIGER, T., MÜLLER, M.D., 1998b. Occurrence and fate of the pharmaceutical drug diclofenac in surface waters: rapid photodegradation in a lake. *Environmental Science and Technology* 32 (22), 3449–3456.
- FENT, K., WESTON, A.A., CAMINADA, D., 2006. Ecotoxicology of human pharmaceuticals. *Aquatic Toxicology* 76: 122-159.
- GRÖNING, J., HELD, C., GARTEN, C., CLAUSNITZER, U., KASCHABEK, S.R., SCHLÖMANN, M., 2007. Transformation of diclofenac by the indigenous microflora of river sediments and identification of a major intermediate. *Chemosphere* 69: 509-516.
- KRAIGHER, B., KOSJEK, T., HEATH, E., KOMPARE, B., MULEC, I.M., 2008. Influence of pharmaceutical residues on the structure of activated sludge bacterial communities in wastewater treatment bioreactors. *Water Research* 42: 4578-4588.

- KÜMMERER, K., HELMERS, E., 1997. Hospital effluents as a source for platinum in the environment. *Science of the Total Environment* 193: 179–184.
- KÜMMERER, K., 2009. The presence of pharmaceuticals in the environment due to human use – present knowledge and future challenges. *Journal of Environmental Management* 90: 2354-2366.
- MAGAROU, P., 1999. Urban wastewater in Europe: what about sludge. In *Proceeding of Workshop Problems Around Sludge*, Stressa, Italy
- POSEIDON, 2006. Detailed report related to the overall duration (1.1.2001-30.6.2004). Contract No. EVK1-CT-2000-00047

RESEARCH AND DEVELOPMENT PROGRAMME BY DRUG RESIDUES REMOVING FROM THE SEWAGE AND SEWAGE-SLUDGE COMPOST

Sándor Balázs¹, Gábor Tóth², József Mészáros²

¹ *Balázs Research, Education and Supply Bt.*
H-4400 Nyíregyháza, Jósa András str. 10.

² *NYÍRSÉGVÍZ Zrt.*
H-4401 Nyíregyháza, Tó str. 5., Hungary

In recent years, decades, the use of artificial products grew significantly, including also the amount of drugs used in highly increased. As the active ingredients only human organism utilized for certain parts, after the bulk of the transformation or not excreted by the body. According to the literature and our own measurements the drugs are concentrated in the effluents, and because the sewage treatment technologies are only partially or not at all broken down, thus avoiding serious damage to the environmental effects. During the research of innovative NYÍRSÉGVÍZ Zrt. has set a goal of non-steroidical anti-inflammatory- and analgesic drugs microbial degradation possibility of examination, as well as insertion and introduction of modern activated sludge sewage treatment technologies. The drug residues suitable for removing bacteria selection, isolation and multiplying, following the principle of scal ration also in labour-, pilot- and filed experiments, in addition to sewage and sewage-sludge, compost matrices formed the basis of measurements.

KOMMUNÁLIS SZENNYVÍZISZAP LABORATÓRIUMI, FÉLÜZEMI ÉS ÜZEMI VERMIKOMPOSZTÁLÁSÁNAK ÖSSZEFOGLALÓ ÉRTÉKELÉSE

Kardos Levente¹, Csumán András¹, Gáti Péter¹, Eröss Attila¹, Angyal Zsuzsanna², Somogyi Adrienn³, Bódi Barbara³, Kasza Gyula³

¹ *Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út 29-43., E-mail: levente.kardos2@uni-corvinus.hu*

² *ELTE Természettudományi Kar, Környezettudományi Centrum, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A., ³ Budapesti Corvinus Egyetem, Élelmiszer tudományi Kar, Élelmiszeripari Gazdaságtan Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.*

ÖSSZEFOGLALÁS

Laboratóriumi, félüzemi és üzemi körülmények között vizsgáltuk a vermikomposztálás folyamatát. Minden technológiai szinten a kísérleti periódusaink 15 héti tartottak. A kísérleti periódusok alatt kétnaponta mért paraméterek a következők voltak: a hőmérséklet (talajhőmérővel) és a redoxpotenciál (hordozható ORP-mérővel). További vizsgált paraméterek: a komposzt külleme, színe, szaga, a vizes kémhatás [pH (H₂O)], a szárazanyag tartalom, a szerves anyag tartalom, az EC (fajlagos elektromos vezetőképesség), amiből az összes só tartalom számolható, az összes nitrogén tartalom, a foszfor tartalom (P₂O₅), a kálium tartalom (K₂O), a humusz tartalom (H%), a Hargitai-féle humuszminőség meghatározása. Vizsgáltuk a minták dehidrogenáz enzimaktivitást is. Mindhárom technológiai szinten végzett vermikomposztálási kísérleti periódusunkban megfelelően zajlott a komposztálás folyamata, ezt mutatták a helyszíni fizikai és a laboratóriumi kémiai paraméterek változásai. A komposztálás eredményeképpen csökkent az iszap összes só tartalma, nőtt a kálium-, az összes szerves anyag-tartalma, valamint nőtt humusz mennyisége és javult a humuszminősége is. A vizsgált paraméterek eredményei a későbbi mezőgazdasági felhasználás szempontjából kedvezőek.

BEVEZETÉS

A mai modern szennyvíztisztítás elképzelhetetlen környezetileg fenntartható szennyvíziszap kezelés nélkül. A szennyvíztisztítás folyamata során keletkezett szennyvíziszap ahhoz, hogy további célokra felhasználható vagy biztonságosan elhelyezhető legyen, kezelése szükséges. A kezelés módja annak függvénye, milyen módon kívánják az iszapot a későbbiekben hasznosítani, illetve elhelyezni, valamint milyen a szennyvíz és az abból keletkezett iszap összetétele. Hasznosítható összetevői mellett számos komponense lehet, ami hasznosításának és elhelyezésének lehetőségeit korlátozza vagy megakadályozza, ilyenek például a nehézfémek vagy a nem megfelelő makro-, illetve mikroelem-tartalom.

A lehetséges kommunális szennyvíziszap kezelési technológiák között a szennyvíziszap vermikomposztálása az egyik környezetileg fenntartható szennyvíziszap kezelési technológia lehet. A sikeres üzemi szintű vermikomposztálás előtt elengedhetetlenül szükséges laboratóriumi, kontrolált körülmények között is vizsgálni a vermikomposztálás folyamatát, majd a laboratóriumi eredmények birtokában következhetnek a félüze-

mi, majd üzemi kísérletek. Munkánk során mind laboratóriumi, mind félüzemi, mind pedig üzemi körülmények között végeztük a kommunális szennyvíziszap vermikomposztálási kísérleteinket. Cikkünkben eddigi eredményeinket összegezzük.

A konvencionális komposztálás legmegfelelőbb, azzal megegyező ráfordítást igénylő, agronómiai értékében azonban magasabb színvonalú terméket előállító alternatívája a vermikomposztálás. A vermikomposztálás és a vermikomposzt (gilisztahumusz) következő tulajdonságokkal jellemezhető:

- a szerves anyagok és tápelemek újrahasznosításának egyik leghatékonyabb módja, a konvencionális komposztálás időigényének mindössze 50%-a alatt produkál készterméket (VISVANATHAN et al., 2005),
- szemcseméret-eloszlása, szerkezetessége kedvezőbb a hagyományos komposztnál a gilisztaürülék mérettartományának köszönhetően, ugyanis 3-3,5 mm-es méretű szemcséi a bél-exudátumoknak (ragasztó hatású nyálka) köszönhetően jelentősen javítják a talajrészecskék aggregátum-stabilitását (DOMINGUEZ et al., 1997),
- a tápanyagokat (N, P, K és Ca, Mg) növények számára könnyebben felvehető formában tartalmazza (ATIYEH et al. 2000, NDEGWA és THOMPSON, 2001),
- nem feltétlenül szükséges szárazanyag tartalom növelő adalékanyagok alkalmazása, akár 91%-os nedvességtartalmú szennyvíziszap vermikomposztálása is kivitelezhető, így részben kiválthatja a víztelenítést végző szalagszűrő prések működését (LOEHR et al., 1985),
- gazdagabb mikroflórájú, nagyobb mikrobiális aktivitású termék a vermikomposzt,
- a vermikomposzt a hagyományos komposzthoz viszonyítva jelentősen nagyobb metabolikus enzimaktivitásokkal bír (HONG et al., 2011);
- a vermikomposztnak növényi növekedés-serkentő (PGA, Plant Growth Activators) hatása van PGR (Plant Growth Regulators, növényi növekedési hormonhatású anyagok) tartalma miatt, melyeket a giliszták bélcsatornájában élő és az ürüléket gazdagító specifikus mikroflóra szintetizálja (TOMATI et al., 1988; GRAPELLI et al., 1985; GALLI et al., 1990). Ilyen hatással a konvencionális komposzt gyakorlatilag nem rendelkezik,
- a vermikomposzt huminsav és humuszanyag tartalma nagyobb a konvencionális komposzténál (ARANCON et al., 2006). A huminsav, és a humátok is növényi növekedést serkentő hatású anyagok (TICHY és PHUONG, 1975, DAVID et al. 1994).
- a vermikomposztálás során a komposztokhoz képest jelentősebb mértékben csökken a patogén mikroorganizmusok száma (EASTMAN et al. 2001; YADAV et al., 2010).

A vermikomposztálás tehát adott esetben előkezelés és adalékanyag nélkül alkalmazható szennyvíziszap stabilizálására és ártalmatlanítására. Ugyanakkor rugalmasan ötvözhető, illetve integrálható a konvencionális komposztálási technológiával (prizmás technológia vagy más, innovatív eljárások), a vermikomposzt ugyanis adalékanyagként alkalmazható gyenge beltartalmi tulajdonságokkal bíró szennyvíziszapok komposztálásához (NDEGWA és THOMPSON, 2001, HAIT és TARE, 2011a,b).

A vermikomposztálás további előnye a hagyományos komposztáláshoz képest, hogy míg az utóbbi folyamán a toxikus elemtartalom egyértelműen nagyobb a komposztban, mint a nyersanyagokban, addig a vermikomposztban - megfelelő törzsek alkalmazása esetén - ez épp fordítva alakul (LIU et al., 2005; MALLEY et al., 2006; WANG et al., 2013).

ANYAG ÉS MÓDSZER

Mind a laboratóriumi, mind a félüzemi, mind pedig az üzemi szintű kísérleti periódusainkban a szennyvíziszap 15-20%-os száraz anyag tartalmú érdi kommunális szennyvíziszap. Száraz anyag tartalmának kb. 50 %-a a szervesanyag tartalom. Az 50/2001 (IV. 3.) kormányrendelet alapján az érdi szennyvíziszap összes toxikus elemtartalma az előzetes vizsgálatok alapján nem haladja meg a szennyvíziszapban megengedett mérgező elemek és káros anyagok határértékeit mezőgazdasági felhasználás esetén.

A kísérletbe bevont giliszta: *Eisenie Fetide*, ami a *Eisenie* nembe, a Lumbricidae családba, Haplotaxida rendbe, Nyergesképzők osztályába, Gyűrűsférgék törzsébe tartozik.

A kísérleti munka mindhárom technológiai szinten 15 héten át folyamatosan tartott, a kísérleti periódusok alatt további szerves anyag utánpótlás nem történt. A laboratóriumi kísérlet műanyag ládáknak valósultak meg, amelyek alja előzetesen több ponton meg lett fúrva az aerob feltételek biztosítása végett. Egy láda felülete: $40 \times 60 \text{ cm} = 0,24 \text{ m}^2$. A kísérletben két különböző gilisztaállomány kerül bevonásra (érdi [G1 jelölés] és gyöngyöstarjáni [G2 jelölés] állományok). Mindkét esetben három kontroll mellett három-három párhuzamos mintaláda került beállításra. A kísérlet két eltérő környezeti feltétel között került kivitelezésre. Az egyik a laboratóriumon belüli (zárt), valamint egy külső, az aktuális meteorológiai viszonyoknak kitett (nyílt) környezetben. A legfontosabb meteorológia adatokat is mérésre kerültek. A két helyszínen összesen 18 ládában folyt a kísérlet. A mintavételezés hetente történt.

A félüzemi kísérletsorozat kezdetén minden komposzthalomból átlagmintát vettünk, amelyek laboratóriumi vizsgálatait elvégeztük. A következő mintavételezés a kísérlet sorozat közepén (középső állapot), majd az utolsó mintavételezésre a kísérlet zárásakor került sor (végső állapot). Mind a nyitott, mind pedig a zárt környezetben 2-2 db, gilisztát nem tartalmazó (vak) komposzthalmot, valamint a nyitott környezetben 9 db, a zárt környezetben pedig 8 db, gilisztákat tartalmazó komposzthalmot alakítottunk ki.

Az üzemi kísérletsorozatot három eltérő technológiai kialakítás mellett végeztük. Az első technológiai kivitelezés során nem takartuk le a kommunális szennyvíziszap-komposzthalmokat, ezek mindvégig fedetlenek voltak (fedetlen halmok, továbbiakban jelölésük: F), a második technológiai kialakítás során minden halmot geotextíliával fedtünk le (geotextíliás, továbbiakban jelölése: G), míg a harmadik technológiai kialakítás során szalmával fedtük le a komposzthalmokat, (szalmás, jelölése: Sz). Minden technológiai kialakítás során három-három gilisztát tartalmazó komposzthalmot és egy, gilisztát nem tartalmazó (vak) komposztprizmát alakítottunk ki.

A kísérleti munkánk során a komposztmintákból a következő paramétereket vizsgáltuk: a kémhatás [$\text{pH} (\text{H}_2\text{O})$], a szárazanyag tartalom, a fajlagos elektromos vezetőképesség (EC), amely értékéből a komposztkivonat összes sótartalma kiszámítható. Továbbá meghatároztuk a foszfor tartalmat (P_2O_5), a kálium tartalmat (K_2O), a humuszmenyi-ségét és minőségét. A vizsgálandó paraméterek körének kialakításakor és a mintázás körülményeinek megállapításakor figyelembe vettük a 40/2008. kormányrendeletet, a 36/2006. FVM rendeletet. Terjedelmi okok miatt eredményeink közül a sótartalom és a humusztartalom változását ismertetjük részletesebben.

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

A laboratóriumi körülmények közötti átlagos összes sótartalom adatokat az 1. táblázatban tüntettük fel. A legnagyobb összes sótartalom csökkenést a nyílt környezeti feltételek között a G2 gilisztaállomány esetében tapasztaltuk a tizenöthetes átlagadatok alapján a kiindulási iszap adathoz képest (41,97%-os csökkenés). A sótartalom csökkenése a későbbi mezőgazdasági felhasználás szempontjából kedvező.

1. táblázat: A sótartalom változása a laboratóriumi kísérletsorozatban mindkét környezeti feltétel mellett

Hét	Mintavétel	c (só)(mg/l)					
		Nyílt környezet			Zárt környezet		
		vak	G1	G2	vak	G1	G2
0.	kezdő	11150	11150	11150	11150	11150	11150
7.	középső	10700	11150	8895	8310	14850	12400
15.	végső	5460	8415	6470	8435	15350	13000
	átlag	9247	9431	7995	9785	14783	12798
	szórás	2650	1308	1078	2390	2637	2210

Vak = gilisztát nem tartalmazó minta, G1= érdi, G2= gyöngyöstarjányi giliszta állomány

A félüzemi kísérleti periódus alatti sótartalom változásokat a 2. táblázat tartalmazza. Az adatokból látható, hogy mindkét környezeti feltétel mellett csökkenést tapasztaltunk, de a nyitott környezetben nagyobb mértékű a sótartalom csökkenése. A nyílt környezetben a csökkenés 58,58%, míg zárt környezetben csak 19,87% volt.

2. táblázat: A sótartalom változása a félüzemi szintű kísérletsorozatban mindkét környezeti feltétel mellett

Hét	Mintavétel	c (só)(mg/l)			
		Nyílt környezet		Zárt környezet	
		átlag	szórás	átlag	szórás
0.	kezdő	16645	3231	14706	1772
7.	középső	10327	1075	14025	1389
15.	végső	6895	558	11784	2389

Az üzemi szintű kísérletek eredményeit a 3. táblázat mutatja be. Az adatok alapján megállapítható, hogy csökkenést csak a geotextíliával és a szalmával fedett komposzt-halmok esetében tapasztaltunk. A geotextíliával fedett halmok esetében az átlagos csökkenés, 7,84%, míg a szalmával fedett technológia esetén 29,91%.

3. táblázat: A sótartalom változása az üzemi szintű kísérletsorozatban a három technológiai kialakítás mellett

		c (só)(mg/l)					
		Fedetlen (F)		Geotextiliás (G)		Szalmás (Sz)	
Hét	Mintavétel	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás
0.	kezdő	14233	1650	15417	104	16733	333
7.	középső	18150	1150	17017	1115	16633	3177
15.	végső	14916	1421	14667	765	11728	2810

A következőkben a humusztartalom változásait ismertetjük. A laboratóriumi kísérletsorozatban mért eredményeket a 4. táblázatban közöljük.

4. táblázat: A humusztartalom változása a laboratóriumi kísérletsorozatban mindkét környezeti feltétel mellett

		Humusztartalom (H%)					
		Nyílt környezet			Zárt környezet		
Hét	Mintavétel	vak	G1	G2	vak	G1	G2
0.	kezdő	15,61	15,61	15,61	15,61	15,61	15,61
7.	középső	17,04	24,26	30,35	26,03	27,90	28,49
15.	végső	22,10	23,09	30,16	23,18	22,30	24,36
	átlag	26,61	26,60	32,07	27,05	29,13	26,92
	szórás	7,01	6,71	4,39	6,46	4,45	6,92

Vak = gilisztát nem tartalmazó minta, G1= érdei, G2= gyöngyöstarjányi giliszta állomány

Mindkét környezeti feltétel mellett és mindkét alkalmazott gilisztaállomány esetében (sőt a gilisztát nem tartalmazó vakok esetében is) növekedett a humusztartalom. A legnagyobb mértékű növekedést nyílt környezetben a G2 állomány esetében mértük (93,21%). A humusztartalom jelentős növekedése a mezőgazdasági termelés egy kulcs kérdése.

A félüzemi eredményeinket az 5. táblázatban ismertetjük. Félüzemi szinten a növekedés kisebb mértékű. Nyitott környezetben 6,80%, míg zárt környezetben elhanyagolható.

4. táblázat: A humusztartalom változása a félüzemi szintű kísérletsorozatban mindkét környezeti feltétel mellett

		Humusztartalom (H%)			
		Nyílt környezet		Zárt környezet	
Hét	Mintavétel	átlag	szórás	átlag	szórás
0.	kezdő	29,40	4,50	27,70	6,18
7.	középső	30,40	5,14	27,40	4,91
15.	végső	31,40	4,96	27,70	4,39

Az üzemi kísérletsorozat eredményei a 6. táblázatban találhatóak. Mind a három technológiai kialakítás mellett jelentős növekedést tapasztaltunk, a fedetlen komposzthalmok átlagos növekedése 50,55%, a geotextiliával borított halmoké 65,95%, míg a legnagyobb növekedést a szalmával fedett komposzthalmok esetében tapasztaltuk, ez átlagosan 88,43% volt.

5. táblázat: A humusztartalom változása az üzemi szintű kísérletsorozatban a három technológiai kialakítás mellett

		Humusztartalom (H%)					
		Fedetlen (F)		Geotextiliás (G)		Szalmás (Sz)	
Hét	Mintavétel	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás
0.	kezdő	20,79	9,44	22,44	5,41	18,59	3,89
7.	középső	19,57	4,51	22,26	8,26	24,83	3,06
15.	végső	31,30	10,98	37,24	11,45	35,03	2,00

A további vizsgálataink alapján is megállapítható, hogy a mindhárom technológiai szinten megfelelően zajlott a vermikomposztálás folyamata, ezt támasztották alá a vizsgált paraméterek. A laboratóriumi kísérlet sorozatban megállapítottuk, hogy a káliumtartalom növekedés egy nagyságrendű a kiindulási iszaphoz képest, az összes szerves anyagtartalom növekedése megfigyelhető mindkét gilisztaállomány esetén a vakmintákhoz képest, mindkét környezeti feltétel mellett. Továbbá, hogy a G1 (érdei) állomány a szemrevételezések során jobban adaptálódott a feltételekhez (nagyobb, életképesebb egyedek), míg a G2 (gyöngyöstarjáni) állomány jelentős ritkulása volt megfigyelhető a nyitott környezetben. A zárt környezetben mért humuszminőség növekedés nagyobb, mint a nyitott környezetben mért humuszminőség növekedés. A G1 (érdei) gilisztaállomány esetében jelentősebb humuszminőség növekedést tapasztaltunk a G2 állományhoz képest, amely a későbbi mezőgazdasági felhasználás szempontjából, illetve talajjavítás céljára történő felhasználás esetében kedvező lehet.

A félüzemi kísérletsorozat értékelése során megállapítottuk, hogy a foszfortartalom jelentősen növekedett. A kálium tartalom növekedést tapasztaltunk a kiindulási iszaphoz képest, ezen növekedés összhangban áll a laboratóriumi kísérleti eredményeinkkel. Az összes szerves anyagtartalom növekedett a vakmintákhoz képest mindkét környezeti feltétel mellett.

Az üzemi kísérleti periódus tapasztalatai a következők. A foszfortartalom jelentősen, egy nagyságrendet növekedett a kísérleti periódus alatt. Ez összhangban áll a félüzemi kísérleti tapasztalatainkkal. A növekedés a fedetlen technológia esetébe volt nagyobb, de azt közvetlenül követte a szalmával fedett technológia. A kálium tartalom növekedését tapasztaltuk a kiindulási iszaphoz képest, ezen növekedés összhangban áll a laboratóriumi és félüzemi kísérleti eredményeinkkel. A legnagyobb növekedést a szalmával fedett technológia kialakításnál tapasztaltuk. Az összes szerves anyagtartalom növekedése is a szalma borítású komposzthalmok estében volt a legnagyobb. A fentiek alapján kijelenthető, hogy a szalmával fedett technológia alkalmazása volt a legeredményesebb.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A vizsgálataink alapján megállapítható, hogy a sótartalom nyitott környezeti feltételek mellett csökkent jobban, illetve takarásként a szalma borítás volt megfelelő. A laboratóriumi kísérletek alapján az előzetesen szennyvíziszapra adaptált érdei állomány adaptációja volt sikeresebb. A későbbi ipari szintű technológia kialakítása során ezen állomány nyitott környezetben, szalmával fedett alkalmazása továbbra is javasolható. A vizsgálataink alapján a sótartalom ilyen mértékű csökkenése kedvező feltételeket biztosít az iszap későbbi mezőgazdasági felhasználására.

A humusztartalom esetében mind három technológiai szinten növekedést tapasztaltunk. A legnagyobb növekedést a nyitott környezeti feltételek mellett, szalmával takart technológiai kialakítás mellett értük el. A humusztartalom növekedése elengedhetetlenül szükséges a sikeres mezőgazdasági hasznosításhoz.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Kutatómunkánkat a PIAC13-1-2013-0143 projekt (Szigépszerek Kft.) azonosítójú projekt támogatta.

IRODALOMJEGYZÉK

- ARANCON, N.Q., EDWARDS, C. A., LEE, S., BYRNE, R., 2006. Effects of humic acids from vermicomposts on plant growth. *European Journal of Soil Biology* 42: S65–S69.
- ATIYEH, R.M., SUBLER, S., EDWARDS, C.A., BACHMAN, G., METZGER, J.D., SHUSTER, W., 2000. Effect of vermicompost on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia* 44: 579–590.
- DAVID, P.P., NELSON, P.V., SANDERS, D.C., 1994. A humic acid improves growth of tomato seedling in solution culture. *J. Plant Nutr.* 17 (1):173–184.
- DOMINGUEZ, J., EDWARDS, C.A., SUBLER, S., 1997. A comparison of vermicomposting and composting. *BioCycle* 38 (4): 57–59.
- EASTMAN, B.R., KANE, P.N., EDWARDS, C.A., TRYTEK, L., GUNADI, B., STERMER, L., MOBLEY, J.R., 2001. The effectiveness of vermiculture in human pathogen reduction for USEPA biosolids stabilization. *Compost Sci. Utilization* 9 (1): 38–49.
- GALLI, E., TOMATI, U., GRAPPELLI, A., DI LENA, G., 1990. Effect of earthworm casts on protein synthesis in *Agaricus-bisporus*. *Biol. Fertil. Soils* 9: 290–291.
- GRAPPELLI, A., TOMATI, U., GALLI, E., VERGARI, B., 1985. Earthworm casting in plant propagation. *Hort-Science* 20, 874–876.
- HAIT, S., TARE, V., 2011a. Vermistabilization of primary sewage sludge. *Bioresour. Technol.* 102: 2812–2820.

- HAIT, S., TARE, V., 2011b. Optimizing vermistabilization of waste activated sludge using vermicompost as bulking material. *Waste Manage.* 31: 502-511.
- HONG, S. W., LEE, J. S., CHUNG, K. S., 2011. Effect of enzyme producing microorganisms on the biomass of epigeic earthworms (*Eisenia fetida*) in vermicompost. *Bioresource Technology* 102: 6344–6347.
- LIU, X., Hu, C., Zhang, S., 2005. Effects of earthworm activity on fertility and heavy metal bioavailability in sewage sludge. *Environment International* 31, 874 – 879.
- LOEHR, R.C., NEUHAUSER, E.F., MALECKI, M.R., 1985. Factors affecting the vermistabilization process. *Water Res.* 19(10): 1311-1317.
- MALLEY, C., NAIR, J., HO, G., 2006. Impact of heavy metals on enzymatic activity of substrate and on composting worms *Eisenia fetida*. *Bioresource Technology* 97: 1498–1502.
- NDEGWA, P.M., THOMPSON, S.A., 2001. Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresour. Technol.* 76 (2): 107–112.
- TICHY, V., PHUONG, H.K., 1975. On the character of biological effect of humic acids. *Humus Planta* 6, 379–382.
- TOMATI, U., GRAPPELLI, A., GALLI, E., 1988. The hormone-like effect of earthworm casts on plant growth. *Biol. Fertil. Soils* 5: 288–294.
- VISVANATHAN, C., TRANKLER, J., JOSPEH, K., NAGENDRAN, R. (Eds.) 2005. “Vermicomposting as an Eco-Tool in Sustainable Solid Waste Management,” Asian Institute of Technology, Annamalai University, Chidambaram.
- WANG, L., ZHENG, Z., ZHANG, Y., CHAO, J., GAO, Y., LUO, X., ZHANG, J., 2013. Biostabilization enhancement of heavy metals during the vermiremediation of sewage sludge with passivant. *Journal of Hazardous Materials.* 244–245, 1–9.
- YADAV, K.D., TARE, V., and MANSOOR AHAMMAD, M., 2010. Vermicomposting of source-separated human faeces for nutrient recycling *Waste Management* 30: 50–56.

EVALUATION OF VERMICOMPOSTING SEWAGE SLUDGE ON A LABORATORY, PILOT AND INDUSTRIAL SCALE

Levente Kardos ¹, András Csumán ¹, Péter Gáti ¹, Attila Eröss ¹, Zsuzsanna Angyal ²,
Adrienn Somogyi ³, Barbara Bódi ³, Gyula Kasza ³

¹ *Corvinus University of Budapest, Faculty of Horticultural Science, Department of Soil Science and Water Management, H-1118 Budapest, Villányi út 29-43., Hungary*
E-mail: levente.kardos2@uni-corvinus.hu, ² *University of Eötvös Loránd, Faculty of Natural Sciences, Centre of Environmental Sciences, H-1118 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A., Hungary,* ³ *Corvinus University of Budapest, Faculty of Food Science, Department of Food Economics, H-1118 Budapest, Villányi út 29-43., Hungary*

We have examined the process of vermicomposting in laboratory, pilot scale and industrial scale. The duration was 15 week in each technological cases. During the experimental period in every other day we measured two parameters: the temperature (with soil thermometer) and the ORP (with portable measurement). The additional examined parameters were: the look of the compost, color, odor, water pH [pH (H₂O)], dry matter content, organic matter content, specific electric conductivity (EC), whereof can be calculated the total salt content, total nitrogen content, phosphorus content (P₂O₅), potassium content (K₂O), humus content (H%), and determination of the humus quality with the method of Hargitai. In all three cases the vermicomposting process was the appropriate method for the composting process during the experiments, this was confirmed by the parameter changes on the physical on-site tests and the chemical laboratory tests. The result of composting was reduced total salt content of the sludge, increased potassium, total organic compound content and humus quantity, in general the quality of the humus was improved. The results of the test parameters are favorable terms for agricultural usage.

A KOMMUNÁLIS SZENNYVÍZISZAP VERMIKOMPOSZTÁLÁSÁNAK JELLEMZÉSE DEHIDROGENÁZ ENZIMAKTIVITÁS VIZSGÁLATOKKAL

Gáti Péter¹, Csumán András¹, Bali Dániel¹, Angyal Zsuzsanna², Somogyi Adrienn³,
Bódi Barbara³, Kasza Gyula³, Kardos Levente¹

¹ *Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Talajtan és Vizgazdálkodás Tanszék,
1118 Budapest, Villányi út 29-43.*

E-mail: levente.kardos2@uni-corvinus.hu

² *ELTE Természettudományi Kar, Környezettudományi Centrum,
1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.*

³ *Budapesti Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Kar, Élelmiszeripari Gazdaságtan Tanszék,
1118 Budapest, Villányi út 29-43.*

ÖSSZEFOGLALÁS

Kísérleti munkánk során kommunális szennyvíziszap vermikomposztálását végeztük laboratóriumi (nyitott és zárt környezetben), félüzemi (nyitott és zárt környezetben) és üzemi körülmények (három technológiai kialakítás) között. Minden technológiai szinten a kísérleti periódusunk 15 hétig tartott. Vizsgáltuk a komposzt legfontosabb fizikai, kémiai paramétereit és a sejtek összes aktivitását jellemző, dehidrogenáz enzimaktivitást is. A dehidrogenáz enzimaktivitással általános képet kaphatunk a sejtek összes aktivitásáról, a lebontó és átalakító folyamatokról. A komposztmintákhoz szubsztrátként 2,3,5-trifenil-tetrazólium-kloridot (TTC) adtunk, amely a bakteriális anyagcsere folyamatoknak köszönhetően trifetil-formazánná (TF) alakul, amely előzetes kalibráció után spektrofotométeresen mérhető. A kalibrációs sorozat ismert koncentrációban tartalmazott trifetil-formazánt, minthogy az élő sejtek enzimeji által katalizált folyamat eredményeképpen a TTC átalakult vörös színű trifetil-formazánná, és ennek mennyisége mérhető spektrofotometriásan. Jelen dolgozatunkban a laboratóriumi (nyitott és zárt környezet) és a félüzemi nyitott kísérletsorozat dehidrogenáz enzimaktivitás mérési eredményeinket ismergetjük. Mindkét kísérleti periódusunkban a dehidrogenáz enzimaktivitás értékek nőttek, majd a komposztálási folyamata végén csökkentek, ezen tendencia összhangban áll a vizsgált fizikai és kémiai paraméterek változásaival.

BEVEZETÉS

A vermikomposztálás olyan szerves hulladékgazdálkodást jelent, mely során a gyű-rűsféreg közé tartozó gilisztaféléket használnak fel a szerves anyag átalakítására. A víztelenített és rothasztott szennyvíziszapban lévő szerves anyag átalakítása többek között az *Eisenia fetida* trágyagilisztával lehetséges. Kanadában 1970-ben volt az első olyan telep, hol kezdetben heti 75 tonna biodegradált iszapkomposztot állítottak elő vermikomposztálással (VERMES, 2005). Egyes kutatások (ROHLICH, 1981) szerint a kontrollhoz képest a vermikomposztált iszap esetén akár 25-szörös lebontási sebesség növekedést tapasztalható. A giliszták anyagcseréjüknek köszönhetően eltávolítják az előregedő baktérium populációkat az iszaptól, így teret engedve az újabb baktérium-csoportok megtelepedésének, amelyek hozzájárulhatnak a komposztálás folyamatának

felgyorsulásához. A vermikomposztálás eredményeképpen javul a kezelt iszap nitrogén-, foszfor- és kálium-tartalma, valamint csökken a patogének száma pl.: a *Salmonella enteritidis*. Ezen paraméterek a további, mezőgazdasági felhasználás szempontjából meghatározó jelentőségűek. A giliszta tenyészet fenntartása viszonylag egyszerűen megoldható. Az elkészült glisztakomposztból az élő egyedek könnyen elválaszthatók, amelyek akár a továbbiakban takarmányozási célokra is felhasználhatóak.

A dehidrogenáz meghatározás elméleti alapját a szénhidrátok lebontásakor lejátszódo folyamat utolsó lépése adja, azaz a citrátkörben keletkező redukált koenzimek az elektrontranszportláncon keresztül oxidálódnak. Ezeket a koenzimeket nevezi a szakirodalom dehidrogenázoknak is, hiszen amikor redukálódnak, akkor reakciópartnerüktől „elveszik” a hidrogént, azaz dehidrogénezik azt. Az elektrontranszport a lebontó folyamat utolsó lépése, amelynek intenzitása jól jellemzi a sejtek aktivitását (FAHMY és WALSH, 1952; SZABÓ, 1989).

Az elektrontranszport-láncban aerob körülmények között az utolsó elektronakceptor (elektronfelvevő) az oxigénmolekula. Terminális elektronakceptor lehet bármilyen megfelelő redoxipotenciállal rendelkező vegyület, amely képes átvenni a molekuláris oxigén szerepét és mérhető változás játszódik le redukciója következtében, ezt a szerepet például a 2,3,5-trifenil-tetrazólium-klorid is betöltheti (FAIRBRIDGE et al., 1951). Több szerző (GRIEBE et al., 1997, GOEL et al., 1998) és egy hazai szabvány szerint (MSz-08-1721/3-86) összefoglalásként megállapítható, hogy az alkalmazott módszer alapja, hogy a 2,3,5-trifenil-tetrazólium-klorid a sejtben átveszi a terminális elektronakceptor szerepét, ezáltal redukálódik trifenil-formazánná (TF), amelynek mennyisége előzetesen felvett kalibrációs görbe alapján 485 nm-en spektrofotometriásan meghatározható.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A laboratóriumi kísérleteinket a Budapesti Corvinus Egyetem Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszékének laboratóriumában (zárt környezet), illetve a nyitott környezetben, a tetőn alakítottuk ki, míg a fülüzemi kísérleteket a Szigépszerk Kft. sóskúti telephelyen végeztük.

A laboratóriumi kísérletek műanyag ládáknak valósultak meg, amelyek alja előzetesen több ponton meglelt fúrva az aerob feltételek biztosítása végett. Egy láda felülete: 40x60 cm = 0,24 m². A kísérletben két különböző gilisztaállomány kerül bevonásra (érdi [G1 jelölés] és gyöngyöstarjáni [G2 jelölés] állományok). Mindkét esetben három kontroll mellett három-három párhuzamos mintaláda került beállításra. A kísérletet két eltérő környezeti feltétel között került kivitelezésre. Az egyik a laboratóriumon belüli (zárt), valamint egy külső, az aktuális meteorológiai viszonyoknak kitett (nyílt) környezetben. A legfontosabb meteorológia adatokat (pl.: léghőmérséklet, légnyomás) is mérésre kerülnek. A két helyszínen összesen 18 ládában folyt a kísérlet. A 15 hetes kísérleti periódusban minden héten mintát vettünk és vizsgáltuk a legfontosabb fizikai és kémiai paramétereket, dehidrogenáz enzimaktivitás mérésre a kísérleti periódus kezdő, középső és végső állapotában került sor.

A fülüzemi kísérletsorozat kezdetén minden komposzthalomból átlagmintát vettünk, amelyek laboratóriumi vizsgálatait elvégeztük. A következő mintavételezés a kísérlet

sorozat közepén (középső állapot), majd az utolsó mintavételezésre a kísérte zárásakor került sor (végső állapot). A nyitott környezetben 2 db, gilisztát nem tartalmazó (vak) komposzthalmot, valamint 9 db gilisztákat tartalmazó komposzthalmot alakítottunk ki.

Minden esetben a kísérletekhez 15-20%-os szárazanyag tartalmú érdi kommunális szennyvíziszapot használtunk. Szárazanyag tartalmának kb. 50 %-a a szerves anyag tartalom. Az 50/2001 (IV. 3.) kormányrendelet alapján az érdi szennyvíziszap összes toxikus elemtartalma az előzetes vizsgálatok alapján nem haladja meg a szennyvíziszapban megengedett mérgező elemek és káros anyagok határértékeit mezőgazdasági felhasználás esetén.

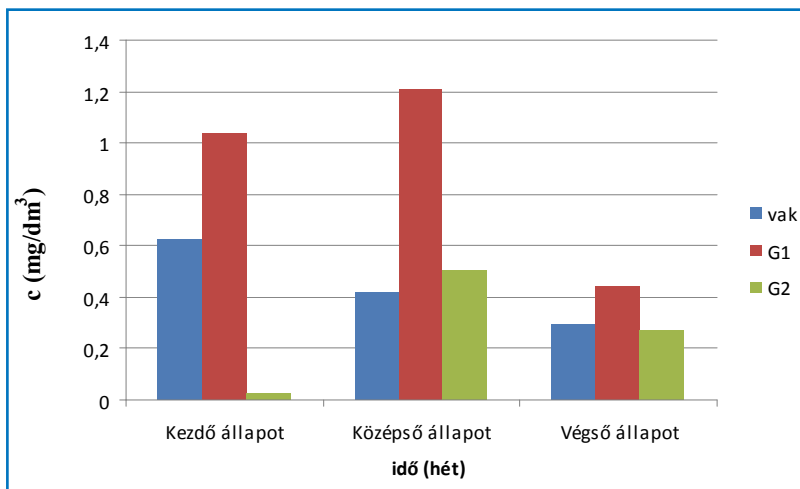
A kísérleti periódusaink alatt heti gyakorisággal mért paraméterek a következők voltak: a hőmérséklet (talajhőmérővel) és a redoxpotenciál (hordozható ORP-mérővel).

További vizsgált paraméterek, amelyeket a laboratóriumban vizsgáltunk: a komposzt külleme, színe, szaga, a vizes kémhatás [pH (H₂O)], a szárazanyag tartalom, a szerves anyag tartalom, az EC (fajlagos elektromos vezetőképesség), amiből az összes sótartalom számolható, az összes nitrogén tartalom, a foszfor tartalom (P₂O₅), a kálium tartalom (K₂O), a kalcium tartalom, a magnézium tartalom, a humusz tartalom (H%), a Hargitai-féle humuszminőség meghatározása.

A kísérleti periódusok alatt semmiféle szerves anyag utánpótlás nem történt.

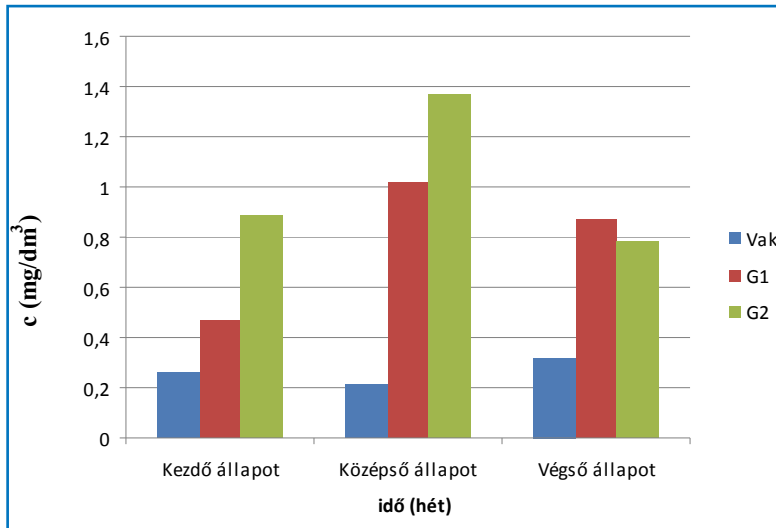
EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

Az 1. ábrán a laboratóriumi kísérletsorozat esetén, a nyitott környezetben lévő komposztminták dehidrogenáz enzimaktivitás adatait mutatjuk be az alkalmazott két gilisztaállomány esetében. Az ábráról jól megállapítható, hogy a gilisztákat nem tartalmazó vakminták dehidrogenáz aktivitása az idő függvényében csökkent, míg mindkét gilisztaállomány (G1 és G2) esetében nőtt, majd a kísérleti periódus végére csökkent. Az adott környezeti feltételekhez a G1 (érdi) állomány alkalmazkodott jobban, ezt a nagyobb enzimaktivitás értékek jelzik. Ezt a megállapítást a helyszíni szemre vételezéseink is alátámasztották.



1. ábra: A dehidrogenáz enzimaktivitás változása a nyitott környezetben lévő laboratóriumi kísérletsorozatban

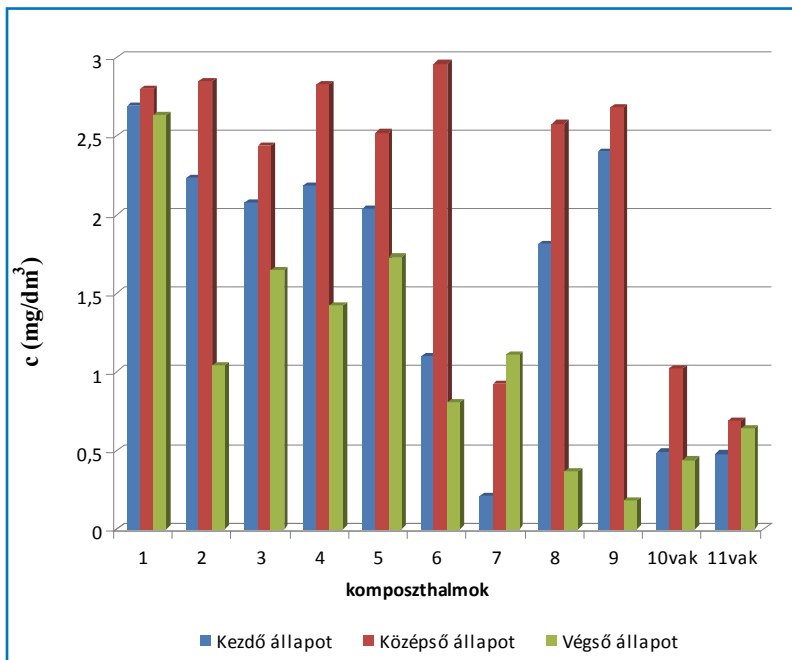
Hasonló eredményre jutottunk a zárt környezetbe lévő komposztminták vizsgálatával is (2. ábra). A gilisztákat tartalmazó minták dehidrogenáz enzimaktivitása nagyobb, mint a gilisztákat nem tartalmazó mintáké. Az enzimaktivitások tendenciája is megegyezik (növekvő, majd csökkenő), viszont a zárt környezethez a G2 (gyöngyöstarjáni) állomány alkalmazkodott jobban.



2. ábra: A dehidrogenáz enzimaktivitás változása a nyitott környezetben lévő laboratóriumi kísérletsorozatban

A 3. ábrán ismertetjük a félüzemi kísérletsorozatban lévő, nyitott környezeti feltételek melletti komposztminták enzimaktivitás eredményeit. A félüzemi kísérletsorozatban is a vakminták enzimaktivitás értékei kisebbek, mint a gilisztát tartalmazó minták dehidrogenáz aktivitás értékei. A kezdő időpontban lévő, gilisztát tartalmazó minta átlagos értéke $1,860 \pm 0,759$ mg/dm³, a vak mintáé $0,485 \pm 0,007$ mg/dm³, a középső időpontban vett, gilisztát tartalmazó minta $2,509 \pm 0,620$ mg/dm³, a vakminta $0,855 \pm 0,233$ mg/dm³ volt. A kísérlet zárásakor átlag $1,216 \pm 0,749$ mg/dm³-et mértünk a gilisztát tartalmazó mintákra, míg a vakmintákra $0,540 \pm 0,141$ mg/dm³-et. Ha az idő függvényében vizsgáljuk az enzimaktivitásokat, akkor a laboratóriumi kísérletekben megállapítottaknak megfelelően tapasztalunk, növekvő, majd csökkenő dehidrogenáz enzimaktivitást.

A további vizsgálataink eredményei közül terjedelmi okok miatt csak a humusztartalmat emeljük ki. Laboratóriumi körülmények között a humusztartalom növekedett mindkét gilisztaállomány esetén, mindkét környezeti feltétel mellett. A G1 (érdi) állomány a szemrevételezések során jobban adaptálódott a feltételekhez (nagyobb, életképesebb egyedek), míg a G2 (gyöngyöstarjáni) állomány jelentős ritkulása volt megfigyelhető a nyitott környezetben. A zárt környezetben mért humuszminőség növekedés nagyobb, mint a nyitott környezetben mért humuszminőség növekedés. A G1 (érdi) gilisztaállomány esetében jelentősebb humuszminőség növekedést tapasztaltunk a G2 állományhoz képest, amely a későbbi mezőgazdasági felhasználás szempontjából, illetve talajjavítás céljára történő felhasználás esetében kedvező lehet.



3. ábra: A dehidrogenáz enzimaktivitás változása a nyitott környezetben lévő félüzemi kísérletsorozatban

A félüzemi kísérlet sorozat értékelése során megállapítottuk, hogy az összes szerves anyagtartalom növekedett a vakmintákhoz képest és a humusztartalom is növekedett. A gilisztát tartalmazó minta humusztartalma a kezdő $29,4 \pm 4,5\%$ értékről, a középső állapotban $30,4 \pm 5,2\%$ -ra, majd a kísérlet zárásakor $31,4 \pm 5,4\%$ -ra nőtt. A vakminták humuszmennyiség adatai a következők: kezdeti $27,5 \pm 3,2\%$, középső $28,6 \pm 2,5\%$, majd a végállapotban $29,1 \pm 2,6\%$ volt.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Mind a laboratóriumi, mind pedig a félüzemi eredményeink alapján megállapítható, hogy a vermikomposztálás megfelelően zajlott. A giliszták és a baktériumok közötti együttműködés hatékonyabb szerves anyag átalakítást eredményezett, ezt támasztják alá a nagyobb dehidrogenáz enzimaktivitás értékek a gilisztát nem tartalmazó vakmintákhoz képest, illetve a nagyobb humusz mennyiségi adatok is.

A dehidrogenáz enzimaktivitás növekvő, majd csökkenő változása a komposztban lévő szubsztrát mennyiségének csökkenésével magyarázható, hiszen egyik kísérleti periódusunkban sem alkalmaztunk szerves anyag utánpótlást.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Kutatómunkánkat a PIAC13-1-2013-0143 projekt (Szigépszerek Kft.) azonosítójú projekt támogatta.

IRODALOMJEGYZÉK

- ANALYSIS OF SOIL BIOLOGICAL ACTIVITY BY METHOD OF DEHYDROGENASE ENZYME ACTIVITY 1986. Soil analysis of agricultural land treated with sewage and sewage sludge. MSZ-08-1721/3-86 (Hungarian Standard), Budapest, Hungary.
- FAHMY, A. R., WALSH, E. O'F. 1952. The quantitative determination of dehydrogenase activity in cell suspensions. *Biochemical Journal*. 51(1): 55-56.
- FAIRBRIDGE, R. A., WILLIS, K. J., BOOTH, R. G. 1951. The direct colorimetric estimation of reducing sugars and other reducing substances with tetrazolium salts. *Biochemical Journal*. 49(4): 423-427.
- GOEL, R., MINO, T., SATOH, H., MATSUO, T. 1998. Enzyme activities under anaerobic and aerobic conditions in activated sludge sequencing batch reactor. *Water Research* 32(7): 2081-2088.
- GRIEBE, T., SCHAULE, G., WUERTZ, S. 1997. Determination of microbial respiratory and redox activity in activated sludge. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 19(2). 118-122.
- ROHLICH, G., A. (ed.) 1981. Food, Fuel, and Fertilizer from Organic Wastes, BOSTID Report, National Academy Press., Washington D. C. 152-156.
- SZABÓ, I. M. 1999. A bioszféra mikrobiológiája (I., II., III. kötet). Akadémiai Kiadó. Budapest. 1186-1890, 1279-1281, 1360-1364.
- VERMES, L. 2005. Hulladékgyártás, hulladékhasznosítás. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 113-117., 143-151, 168-170.

CHARACTERIZATION OF VERMICOMPOSTING SEWAGE SLUDGE BASED ON DEHYDROGENASE ENZYME ACTIVITY ANALYSIS

**Péter Gáti¹, András Csumán¹, Dániel Bali¹, Zsuzsanna Angyal², Adrienn Somogyi³,
Barbara Bódi³, Gyula Kasza³, Levente Kardos¹**

¹ *Corvinus University of Budapest, Faculty of Horticultural Science, Department of Soil Science and Water Management, H-1118 Budapest, Villányi út 29-43., Hungary*
E-mail: levente.kardos2@uni-corvinus.hu

² *University of Eötvös Loránd, Faculty of Natural Sciences, Centre of Environmental Sciences, H-1118 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A., Hungary*

³ *Corvinus University of Budapest, Faculty of Food Science, Department of Food Economics, H-1118 Budapest, Villányi út 29-43., Hungary*

During our experimental work we vermicomposted the sewage sludge with three methods, first in laboratory (open and closed environment), second in pilot plant (likewise in open and closed environment), finally in operating conditions (three technological design). In each technological case the duration was 15 weeks. We experimented the most important physical, chemical parameters and the characteristic activity of all cells which was indicated by the dehydrogenase enzyme. The dehydrogenase enzyme activity shows an overall view about the cell activity, the decomposing processes and converting processes. For the compost samples we used 2,3,5-triphenyltetrazolium chloride (TTC) as substrate. Which is due to the bacterial process develops to triphenyl-phormazane, after a preliminary calibration can be measured with spectrophotometrically. The calibration series contained triphenyl-phormazane (TP) in known, different concentration, as – due to the result of the process catalyzed by the enzyme – TTC transforms into the red coloured triphenyl-phormazane compound – and its quantity could be measured by spectrophotometry. In our present study we describe the dehydrogenase enzyme activity measurements during laboratory experiments (open and closed environment) and pilot plant experiments. In both cases the activity of the dehydrogenase enzyme was increased, but towards the end of the composting process the activity was reduced. This trend is consistent with the physical and chemical test parameters changes.

SZENNYVÍZISZAP HASZNOSÍTÁSA TALAJKEVERÉKEK KIALAKÍTÁSÁVAL

Kónya Anikó¹, Kovács Gábor¹, Heil Bálint¹

¹ Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet-és Földtudományi Intézet,
Termőhelyismeretani Intézeti Tanszék, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 4.
E-mail: konya.aniko@emk.nyme.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A Fehérvári Téglaiipari Kft. agyagbányászati tevékenységének megszűnése után rekultivációs kötelezettségének eleget téve megkezdte bányagödörének feltöltését. A feltöltéshez saját készítésű mesterséges talajkeverékeket készít, hogy helyreállítsa a bányászat során kialakult tájsebet. A talajkeverékek vázanyagát a téglagyártás során visszamaradt helyi ásványi nyersanyag (ún. „meddőanyag”) alkotja, melyhez különböző típusú biológiai hulladékokat kevernek, köztük kommunális szennyvíziszapot. Első típusú talajkeverékeik jelentősen növelték a bányaterület tápanyag-szegény közegének szerves szén- és káliumtartalmát. A tápanyagok mellett azonban a sótartalom is szignifikánsan nőtt, a talajkeverékekben lévő szennyvíziszap mennyiségének függvényében. A sótartalom növekedése miatt 2012 után a talajtani szakértők a rekultivációs hasznosításra vonatkozó szabályozásokból kiindulva kialakítottak egy új eljárást a Kft. talajkeverékeinek készítésére vonatkozóan. Az új, kidolgozás alatt álló eljárás célja egy olyan helyettesítő talajközeg létrehozása, melyen energiaültetvények telepíthetők. A kutatási projekt várható befejezési ideje 2017 decembere.

BEVEZETÉS

A Fehérvári Téglaiipari Kft. 1969-től folytatott agyagbányászati tevékenységet. Mára az agyagbányászati tevékenység megszűnt, és az 1993. évi XLVIII. törvény 36. §-nak (1) bekezdése szerint a bányavállalkozó köteles a külszíni területet (a bányászati tevékenység megszűnése után) fokozatosan helyreállítani, ezzel együtt a területet újrahásznosításra alkalmas állapotba hozni, vagy a természeti környezetbe illően kialakítani.

Az intenzív kitermelés eredményeképpen hatalmas bányagödör jött létre a területen, mely során nyilvánvalóvá vált, hogy a bányászat folyamán keletkező, téglagyártásra alkalmatlan ún. „meddőanyag” mennyisége nem elegendő a keletkezett bányagödör feltöltésére. Emiatt a bányavállalkozó földtani szakértővel rekultivációs tervet készített, mely szerint a bánya tájrendezési kötelezettségét a bányagödör hulladékkal való feltöltésével kell teljesíteni. A bányagödör vízföldtani viszonyai a megfelelő intézkedések mellett lehetővé teszik a környezetet nem veszélyeztető, biztonságos hulladék-elhelyezést.

Mivel a bányászat során visszamaradt meddőanyag tápanyagszegény, ill. magas CaCO_3 tartalmú közegnek bizonyult az előzetes vizsgálatok során, a bányavállalkozó úgy döntött, hogy az átvett hulladékokból fedőanyagot állít elő, és ezt kívánja felhasználni a bánya helyreállítása során.

A cél egy olyan „mesterséges talaj” kialakítása, mely nem veszélyezteti a környezetet, továbbá eleget tesz a helyreállítási és hasznosítási kötelezettségeknek úgy, hogy

az előállított fedőanyagban fás-és lágyszárú energianövények termesztetők. További cél egy olyan optimális összetételű fedőanyag előállítása, mely szélsőséges talajhibáktól mentes, ill. talajfizikai, talajkémiai és talajbiológiai vonatkozásban is megfelel a rátelepítendő fás- és lágyszárú energianövényeknek. Ez az előállított mesterséges talajkeverék kezdetben még nem élő talaj, ezért fontos, hogy megfelelő paraméterekkel rendelkezzen, és lehetővé váljon a talajélet valamint a talajképződési folyamatok megindulása. (Készült a Fehérvári Téglaiipari Kft. Üzemeltetési Szabályzata alapján).

SZÉCSY et al. (2012) szerint a mesterséges talajkeverék nem más, mint a természetes talaj helyettesítésére szolgáló, különböző szerves és szervetlen anyagokból készülő talajszerű anyagok, mely a természetes talajoknál egyszerűbb rendszerek.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A Fehérvári Téglaiipari Kft. saját mesterséges talajkeverékeinek előállítását érvényes hatósági engedélyek alapján végzi. Az általuk készített mesterséges talajok vázanyagát a helyi ásványi nyersanyag (meddőanyag) és a vázanyag céljára alkalmas kezelt, földszerű hulladékok alkotják. Fedőréteggé ezt a vázanyagot keverik össze és homogenizálják különböző, biológiai típusú hulladékokkal, melynek egyik fő összetevője a kommunális szennyvíztisztításból visszamaradt szennyvíziszap.

A Kft. jelenleg háromféle talajkeverék típust készít annak érdekében, hogy megtalálja a legmegfelelőbb keveréket a rátelepítendő növények számára. 2012 év előtt ez a háromféle keverék típus megnevezése a következő volt: FKE1, FKE2 és FKE3. A keverékek előállítása során arra törekedtek, hogy azt a kezelési, hasznosítási műveletet alkalmazzák, amely a hasznosítandó hulladék vonatkozásában a legjobb környezeti eredményt biztosítja.

A biológiai típusú hulladékok egy csoportját előtárolási, átalakítási, válogatási és aprítási, valamint közbenső tárolási műveleteket követően adagolják a települési szennyvíztisztításból származó iszapokhoz és komposzthoz. Ezt követően a felhasznált hulladékokat összekeverik a helyi ásványi nyersanyaggal és a vázanyag céljára alkalmas – szintén előtárolási, átalakítási és aprítási, valamint közbenső tárolási műveleteken átesett – földszerű hulladékokkal.

Az FKE1, FKE2 és FKE3 mesterséges talajkeverékekre vonatkozó 2005-2012. évi vizsgálati jegyzőkönyvek eredményeinek a kiértékelését a NymE EMK Termőhelyismerettani Intézeti Tanszékének kutatói végezték.

A különféle típusú talajkeverékek laboratóriumi vizsgálatát magyar szabvány szerint a Velencei Talajvédelmi Laboratórium végezte. A vizes pH értékek, az összes-sótartalom és a szénsavas mésztartalom MSZ-08-0206-2:1978-as, a humusztartalom MSZ-08-0452:1980-as, a kálium- és foszfortartalom pedig MSZ-20135:1999-es szabványok alapján lettek meghatározva.

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

A kísérlethez kontroll területnek a téglagyártás során visszamaradt (de nem hulladéknak minősülő) nyers, löszös üledéket vettük, az ún. meddőanyagot. A 2005-2012. évi vizsgálati jegyzőkönyvekből is kiténik (1. táblázat), hogy a kontroll terület szerves anyag tartalma nagyon alacsony.

1. táblázat: A Fehérvári Téglaiipari Kft. által előállított mesterséges talajkeverékek vizsgálati eredményei a 2005-2012. évi jegyzőkönyvekből (Székesfehérvár). Forrás: NÉbih NTAvI Velencei Talajvédelmi Laboratórium (2012)

Vizsgált paraméterek	Vizsgált keverékek			Meddőanyag (Kontroll)
	FKE1	FKE2	FKE3	
pH (H ₂ O)	7,61	7,10	6,67	7,63
összes só%	0,23	0,30	0,20	0,12
CaCO ₃ %	19	16	20	23
humusz %	6,20	6,10	6,41	1,23
K ₂ O mg/kg	321	335	288	71
P ₂ O ₅ mg/kg	2640	2610	2240	71

Megjegyzés: A mérési adatok a 2005-2012. év méréseinek átlagértékeire vonatkoznak. A zöld színnel kiemelt adatok jelentős változást mutatnak, a mesterséges talajkeverékek előnyére nézve.

A pH-értékeknél az átlag a H⁺-koncentráció alapján lett számolva. A kontroll terület kémhatása 7,63 értéket mutat, ami gyengén lúgos közegnek mondható. ÁBRAHÁM et al. (2007) szerint a szennyvíz átlagos kémhatása 6,5-9,0 értékek között mozoghat, amikor a befogadóba bocsátható. Ez az érték semleges-lúgos kémhatásnak felel meg. A Kft. 2012-ig háromféle típusú keveréket (FKE1, FKE2, FKE3) vizsgált aszerint, hogy melyik keverék az optimálisabb a rátelepítendő növények számára. A különböző típusú keverékek kémhatása a szennyvíziszap tartalma alapján változott a meddőanyaghoz viszonyítva. Ezek a pH értékek 6,67-7,61 között mozognak, amik gyengén savanyú, ill. gyengén lúgos kémhatást jelentenek.

Az összes-sótartalom % (1. ábra) alapján megállapítható, hogy a szennyvíziszappal bekevert talaj sótartalma megnövekedett. A mesterséges talajkeverékek sótartalma



1. ábra: A 2005-2012. év között vizsgált mesterséges talajkeverékek átlagos sótartalma, a 2005-2012. évi jegyzőkönyvek alapján. Forrás: NÉbih NTAvI Velencei Talajvédelmi Laboratórium (2012)

0,20-0,30% között alakult, míg a kontroll talajé 0,12% volt. Ez a sótartalom a III. szikosztályba tartozik, ami a természetesen előforduló talajok esetében szoloncsákos talajnak felel meg, és a fedőréteg termékenységében okozhat problémát.

A mesterséges talajkeverékek szénsavas mésztartalma átlagosan 16-20% között alakult, míg a kontroll talajé átlagosan 23% volt. A talajkeverékek CaCO_3 -tartalma alapján a közepesen meszes és erősen meszes kategóriába soroljuk, míg a kontroll talaj egyértelműen magas mésztartalmat mutat, ami természetes körülmények között is talajhibának számít. A megfelelő mésztartalom azért fontos, mind a természetes talajok, mind a mesterséges talajok számára, mivel a talaj szerkezetén keresztül befolyásolják a talajok víz-, hő-, és levegőgazdálkodását, továbbá ezen keresztül a tápelemek feltáródásához szükséges mikrobiológiai folyamatokat.

A mesterséges talajkeverékek esetében szerves széntartalomról célszerű említést tenni, mivel a talajkeverékben még nem alakult ki humusz, így csak a bevitt szerves anyag méréséből kapjuk meg a humusz %-ot. Míg a kontroll anyag humusztartalma alacsony értéket mutat (1,23%-ot), addig a talajkeverék átlagos szerves széntartalma jelentősen megnövekedett: 3,54-3,72 értékek között változik, ami átszámolva humusztartalomra 6,10-6,41 értékeket jelöl. A hazai természetes talajok humusztartalma leggyakrabban 0,5-6% között alakul. A keverékekről kapott eredmény vályog és agyag fizikai féleség esetén humuszos talajt jelent, míg a kontroll terület esetén humuszban szegény talajt.

Vizsgálatra került még a talajkeverékek foszfor- és káliumtartalma. A kapott eredmények K_2O mg/kg-ra nézve átlagosan a talajkeverékekénél 288-335 mg/kg lett, míg a kontroll talajé ez az átlagérték csak 71 mg/kg lett. A mesterséges talajkeverékek foszfortartalma átlagosan elég magas, 2240-2640 mg/kg lett, a kontroll mintáé átlagosan szintén 71 mg/kg lett, akárcsak a káliumtartalma. Összességében a növények- és talajok típusától függetlenül a talaj 180-200 mg/kg K_2O tartalma, ill. 150-160 mg/kg P_2O_5 tartalma ítéhető jónak a növények számára (BELLÉR, 1997; KALOCSAI et al., 2011).

A szennyvíziszap víz, ill. változó diszperzitású és alakú szilárd, lebegő részecskék elegye, mely a szennyvíztisztítás technológiájától függően 1-5% szárazanyagot tartalmaz. A szennyvíziszap az eredeti szennyezőanyag mennyiségének kb. a negyedét vagy harmadát tartalmazza, foszfortartalma pedig a szennyvíz foszfortartalmának akár a 40-90%-a is lehet. A szennyvíziszap mind a szerves anyaga, mind pedig a növényi tápanyagtartalma miatt a mezőgazdaság számára is hasznosítható termék (ÁBRAHÁM et al., 2007).

A Kft. által előállított mesterséges talajkeverékek összetételét figyelembe véve kizárható a nehézfém-szennyezettség, továbbá a keverékek megfelelnek az 50/2001. (IV. 3) Korm. rendelet 5. mellékletében megfogalmazott „szennyvíziszapban és szennyvíziszap komposztban megengedett mérgező elemek és káros anyagok határértékeinek, mezőgazdasági felhasználás esetén” is. Bár a Kft.-nek nem célja a rekultivált terület mezőgazdasági hasznosítása, ugyanis a helyreállított területen energetikai ültetvények telepítését tervezik. Így a hasznosítási eljárás az élelmiszerláncot nem érinti.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A korábbi mérési eredmények azt mutatják, hogy a kutatási projekt során kitűzött célok megvalósíthatók, ugyanis ha a mesterséges talajkeverék összetevőit megfelelő arányban keverjük össze és kellőképpen homogenizáljuk, elérhető a meddőanyag termőtalajjá váló alakítása. Ezzel együtt optimális körülményeket teremthetünk a telepíteni tervezett fás-és lágyszárú energetikai ültetvények számára. Az eredményekből azt is megállapítottuk, hogy a telepítés kezdetén mely fás szárú fajok telepíthetők a területen.

Az eredmények bizonyították, hogy kísérletben szereplő kontroll terület – melynek humusztartalma nagyon alacsony, gyakorlatilag a nullához közelített, és CaCO_3 tartalma pedig nagyon magas (23%) volt– szerves anyag tartalmát növelhetjük, ill. a karbonátok összetételét csökkenthetjük a kommunális szennyvíziszappal. Továbbá mivel a magas mésztartalom talajhibának számít, a szennyvíziszappal javíthatjuk az ilyen típusú, degradálódott területek talaját.

Attól függően változott a mesterséges talajkeverékek kémhatása az eredeti, kontroll anyaghoz képest, hogy milyen mennyiségben kevertünk bele szennyvíziszapot, de ez a változás nem jelentős. Ugyanis a kontroll (a talajjavításra, helyreállításra szánt) terület vizes pH értéke 7,63, gyengén lúgos volt, addig a keverékeké átlagosan 6,67-7,61 között változott, ami a gyengén savanyú- gyengén lúgos értékek közé esik.

Azonban jelentős növekedést tapasztaltunk a sótartalom változásában a szennyvíziszap mennyiségének függvényében. Az eredeti, kontroll „talajunk” (ásványi maradékunk) sótartalmát a kommunális szennyvíziszap a kétszeresére növelte, ami a jövőben problémát okozhat mind a telepíteni kívánt növények, mind pedig a talaj számára.

A szennyvíziszap szignifikáns növekedést okozott még a K_2O és P_2O_5 tartalomban, előnyére azonban csak a K_2O tartalom változott. Míg a kontroll „talajunk” káliumtartalmát átlagosan 4-5-szörösére emelte a kommunális szennyvíziszap, addig a foszfortartalmát átlagosan 31-37-szeresére. KALOCSAI et al. (2011) szerint a növények számára 150-160 mg/kg P_2O_5 tartalma ítéhető jónak. ÁBRAHÁM et al. (2007) szerint a szennyvíztisztítóknál elengedhetetlen az iszapvíz foszfor-mentesítése a tisztítás előírásai, a megadott határértékek miatt. A foszfor immobilizálása azonban a csökkenti a növények számára a foszfor felvehetőségét. Továbbá megemlíti, hogy a komposztban lévő stabilabb foszfát vegyületek és a talaj fémtartalmának a természetes foszfát-stabilizáló hatása a növényi felvételként számolt foszfordózis többszörösének alkalmazását is lehetővé teszi. Az, hogy a Kft. által előállított mesterséges talajkeverékben lévő foszfor mennyisége milyen mértékben befolyásolja a rátelepíteni kívánt növények ökológiai igényét, még kérdés és a továbbiakban vizsgálandó, a növényminták analízise javasolt.

KÁDÁR és MORVAI (2008) tenyészedény kísérletekben vizsgálták a városi szennyvíziszap-terhelés hatását a talajra és a kiválasztott növényfajokra. Kísérletükben a szennyvíziszap ugyancsak a foszfor növekedését okozta az általuk vizsgált talajokban. A vizsgált talajok P-tartalma több mint 3-szorosára nőtt átlagosan, míg a foszfor-szegény homoktalajoké megötszörösödött. A foszforban legszegényebb talajokban pedig az emelkedés több mint 20-szoros volt. A kielégítő P-ellátottság az ő módszerükkel 100 mg/kg elemi P-tartalom körül alakulhat véleményük szerint, a karbonátos talajokon.

Ami aggodalom a szennyvíziszapok felhasználásával kapcsolatban fel szokott még

merülni, azok a nehézfémek. A nehézfémek a szennyvízből kicsapódva a szennyvíziszapban akkumulálódnak, és a komposztálás vagy bármilyen egyéb kezelés, víztelenítése, szárítás során koncentrálnak. A szennyvíziszapból készült termékekbe kerülő nehézfémek azonban csak olyan mértékben mérgezőek vagy káros hatásúak, amilyen mértékben visszaoldhatók a szilárd formáikból. A növények gyökereiken keresztül felvehetik a nehézfémeket, mivel gyökérzetük környezetében olyan környezet alakul ki, amely elősegíti a felvételüket. Viszont ezzel szemben a növények gyökerének van megfelelő szűrőrendszere, egy természetes védelmi mechanizmusa, amely megakadályozza a nehézfémek túlzott mennyiségének felvételét. Bár a talajban mérhető koncentrációjuk növekedésével növénytípusonként eltérő mértékben, de általában valamelyest nő a nehézfémek felvétele. Továbbá fokozhatja felvételüket a talaj savanyodása is, mivel oldhatóságuk a pH csökkenésével jelentősen nő (ÁBRAHÁM et al., 2007). A mesterséges talajkeverékek nehézfém-tartalmáról hogy többet megtudjunk, további vizsgálatok szükségesek.

2012-ben az NymE Termőhelyismerettani Intézeti Tanszék talajtani szakértői az előzetes vizsgálati eredményeit figyelembe véve átalakították a Kft. által előállított FKE1, FKE2 és FKE3 talajkeverékeket, és így újabb három keveréktípus (az előzőekhez hasonló, de összetevőiben módosított) jött létre. Ezek a keverékek a 2É/1, 2É/2 és 2É/3 elnevezést kapták (2. ábra).



2. ábra: A kontroll terület, ill. a különféle mesterséges talajkeverék típusokkal rekultivált területek (kisparcellás kísérlet, Székesfehérvár, 2014). Forrás: saját fotó (2014)

2014 szeptemberében doktori kutatás keretében folytatódott a projekt részletes kidolgozása. A kutatás során különböző fás- és lágyszárú energetikai növényfajokat választottunk ki az előzetes vizsgálatok eredményeire épülve. A jövőben e növényfajok analízisét tervezzük, hogy milyen hatással vannak rájuk az előállított mesterséges talajkeverékek. Továbbá vizsgálni kívánjuk az előállított fedőréteg helyettesítő közeggé válását, azaz a „talajosodási”, talajképződési folyamatokat, a környezeti tényezők figyelembevételével együtt.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet illeti a Fehérvári Téglaiipari Kft.-t a kutatáshoz szükséges anyagi támogatásukért, a kutatási terület biztosításáért, és a kutatáshoz szükséges dokumentumok átadásáért.

IRODALOMJEGYZÉK

- ÁBRAHÁM F., BARDÓCYNÉ SZ. E., KÁRPÁTI Á., LÁSZLÓ ZS., SZILÁGYI F., THURY P., VERMES L., 2007. A szennyvíztisztítás alapjai. Budapest, pp. 98.,123., 156-157.
- BELLÉR P., 1997. Talajvizsgáló módszerek. Egyetemi jegyzet. Sopron, pp. 68-86.
- KALOCSAI R., GICZI ZS., SCHMIDT R., SZAKÁL P., 2011. A talajvizsgáló eredmények értelmezése. Tanulmány. Mosonmagyaróvár, pp. 1-6.
- KÁDÁR I. és MORVAI B., 2008. Városi szennyvíziszap-terhelés hatásának vizsgálata tenyészedény-kísérletben. III. Agrokémia és Talajtan. 57. Budapest, pp. 308.
- SZÉCSY O., RÉKÁSI M., UZINGER N., 2012. A hulladék alapú „mesterséges talajok” felhasználásának lehetőségei és környezetvédelmi korlátai. Agrokémia és Talajtan 61: 417-428.
1993. évi XLVIII. törvény a bányászatról
- 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól

USING SEWAGE SLUDGE TO PRODUCE ARTIFICIAL SOIL

Anikó Kónya ¹, Gábor Kovács ¹, Bálint Heil ¹

¹ *University of West Hungary, Faculty of Forestry, Institute of Environmental and Earth Sciences, H-9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky str. 4., Hungary*
E-mail: konya.aniko@nyme.emk.hu

After ceasing brick production, Brickyard of Székesfehérvár Ltd. has decided to refill its clay pit in order to fulfil their reclamation obligation. To do so, the company is currently producing different types of artificial soil. Local mineral raw materials, which have not been used during the brickwork, are used as base material for producing artificial soil which also contains different types of biodegradable waste such as sewage sludge. Although the first type of artificial soil produced by the company raised significantly both organic carbon- and potassium content of the nutrient-poor soil of the mine-field, it also contributed to increased levels of salinity depending on the proportion of sewage sludge added to the mixture. Due to high levels of salinity, after 2012 experts have proposed Brickyard of Székesfehérvár Ltd. to develop a new technology for producing artificial soil. This new process is currently under development and its main purpose is to produce a substitute soil which will be suitable for energetic plants. This research project will be finalised in December 2017.

A SZENNYVÍZISZAP KOMPOSZT TARTAMHATÁSÁNAK VIZSGÁLATA SZÁNTÓFÖLDI KULTÚRÁKBAN

Makádi Marianna, Aranyos Tibor, Tomócsik Attila

*Debreceni Egyetem, Agrártudományi Központ, Nyíregyházi Kutatóintézet,
4400 Nyíregyháza, Westsik Vilmos utca 4-6.
E-mail: makadim@agr.unideb.hu*

ÖSSZEFOGLALÁS

A szennyvíziszap komposzt rendszeres mezőgazdasági hasznosításának pozitív és/vagy negatív hatásai, a talaj-növény rendszerben végbemenő folyamatok csak tartamkísérletekben tanulmányozhatók reálisan, elsősorban az esetleges akkumulációs hatások miatt. A DE ATK Nyíregyházi Kutatóintézet területén 2003-ban beállított tartamkísérlet lehetőséget biztosít a talaj-növény rendszer komplex vizsgálatára. Eredményeink szerint a talaj fizikai tulajdonságai, elsősorban vízgazdálkodási tulajdonságai, kedvezően változtak. A tesztnövények terméseredményeit a növényfaj erőteljesen befolyásolta, így a zöldborsó esetében az utolsó hét év átlagában csak 7-10 %-os termésmenyesedés volt tapasztalható, míg a kukoricánál 5-20 %, a tritikálé esetében pedig 20-40 % termésmenyesedés figyelhető meg. A talajkémiai tulajdonságok kedvező irányú változása mellett megfigyelhető minimális emelkedés egyes toxikus elemek koncentrációjában, ez a változás azonban statisztikailag nem igazolható, a mért értékek a szennyezetlen talajokra jellemző tartományban vannak. A jó minőségű szennyvíziszap komposzt mezőgazdasági hasznosítását mindenképpen járható útnak tartjuk, sőt a szerves anyagokban szegényedő talajaink számára olyan forrást jelentenek, mely a változó gazdasági körülmények között mindenképpen hasznosítható.

BEVEZETÉS

A települések lakóinak vezetékes ivóvíz használata maga után vonja a szennyvíz képződését. Sok településen még mindig nyitott a közműöllő, azaz csak a szennyvíz egy része kerül központi szennyvíztisztító telepekre a kiépített csatornahálózaton keresztül. A tisztítótelepekre érkező szennyvíz tisztítása során jelentős mennyiségű szennyvíziszap képződik, ennek teljes mennyisége Magyarországon 2013-ban $166.510 \text{ t}_{\text{sz}}$ volt (www.ksh.hu), és ez az érték a csatornázottság növekedésével párhuzamosan nőni fog az elkövetkező években. A teljes iszapmennyiség 79,3%-át kezelik valamilyen módon. A képződött iszapmennyiségből $11.000 \text{ t}_{\text{sz}}$ került mezőgazdasági felhasználásra, $93.260 \text{ t}_{\text{sz}}$ -ből komposztot készítettek, lerakóra $12.510 \text{ t}_{\text{sz}}$ került, égetőműben $14.090 \text{ t}_{\text{sz}}$ -ot hasznosítottak, és $1.220 \text{ t}_{\text{sz}}$ iszap került az egyéb hasznosítási kategóriába. Az adatokból látható a komposztálás és a mezőgazdasági hasznosítás magas aránya, amely azonban elenyésző az 5-6 millió t_{sz} iszap/év elvi lehetőségéhez képest.

A szennyvíziszap és szennyvíziszap komposzt mezőgazdasági hasznosítása mellett és ellen is sok érv szól. Kedvező tulajdonságnak tekintjük a magas szervesanyag-tartalmát, komplex tápanyag-tartalmát (ALVANGERA et al., 2015). Pozitív hatása a talaj biológiai aktivitásának serkentése (PEÑA et al., 2015), a termésmennyiség növelése (WARMAN és TERMEER, 2005). Ezzel szemben veszélyes tulajdonságai is lehetnek/

vannak: a toxikus elemek (SMITH, 2009), szerves szennyezők (CLARK és SMITH, 2011), humánpatogén mikroorganizmusok (ALVANGERA et al., 2015) jelenléte kedvezőtlen a mezőgazdasági hasznosítás számára. A káros hatások elkerülésére meg kell oldani, hogy mezőgazdasági felhasználásra csak a jó minőségű komposztok kerülhessenek, melyet részben az engedélyezéshez szükséges rendeletek határértékei biztosítanak, másrészt szükséges lenne a komposztot előállító üzemek, cégek, a témával foglalkozó non-profit szervezetek által fenntartott minőségbiztosítási rendszer kialakítása, mely a vevők visszajelzésein keresztül egy önszabályozó rendszer kialakulását tenné lehetővé.

Előzmények

A Nyírségvíz ZRt. üzemeltetésében lévő komposztáló telepen történik a képződő szennyvíziszap komposztálása. 2003 előtt az iszapot megfelelő arányban szalmával keverték össze, és mint szalmás komposzt került felhasználásra. Ehhez minden mezőgazdasági kihelyezés előtt szükséges volt a megfelelő engedélyek beszerzése. Ezért a cég vezetésében felmerült az igény egy korlátozásmentes felhasználásra alkalmas komposzt termék előállítására, így megkeresték Kutatóintézetünket, hogy közösen összeállított projekt keretében dolgozzuk ki egy komposzt termék összetételét, és végezzük el a talajra és növényekre gyakorolt hatásának vizsgálatát.

A projekt eredményeként elkészült és engedélyeztetésre került a NYÍRKOMPOSZT nevű komposzt készítmény, mely megfelel a 36/2006 (V.18.) FVM rendeletnek. A komposzt hatásainak vizsgálatára pedig 2003-ban beállítottunk egy kisparcellás tartamkísérletet, melyben ma az országban egyedülállóan a talaj-növény rendszerben tanulmányozható a rendszeres szennyvíziszap kijuttatás tartamhatása.

A NYÍRKOMPOSZT terménynövelő anyag

Az összetétel meghatározásánál két szempontot vettünk figyelembe:

- fizikai, kémiai és mikrobiológiai tulajdonságai feleljenek meg a 36/2006 (V.18.) FVM rendelet elődjében (8/2001 (IV. X) FVM rendelet) megadott határértékeknek, és
- olyan adalékanyagokat használjunk fel, melyek a környék savanyú homoktalajai számára kedvező tulajdonságokkal fogják ellátni a készülő komposztot.

Ennek alapján a komposzt 40 % szennyvíziszapot, 25 % szalmát, 30 % riolitot és 5 % bentonitot tartalmaz. A szennyvíziszap és a szalma a komposzt szervesanyag-tartalmát adja, emellett a szennyvíziszap fontos makro-, mezo és mikroelemeket is tartalmaz. A riolittufa szintén jelentős nyomelem-tartalommal rendelkezik, szerkezete révén elősegíti a prizma aerob állapotának fenntartását, valamint a komposzt érése során pl. élőhelyet biztosít a mikroorganizmusok számára. A bentonit tartalmazza a talajokban jelentős szerepet játszó montmorillonit agyagásványt. Alkalmazásával elősegítjük a komposzt érése során a szervesanyag – agyagásvány komplexek kialakulását.

Az alapanyagok és a megfelelő komposztálási technológia segítségével tehát egy komplex, a talaj szerkezete, vízgazdálkodása és tápanyagtökéje szempontjából egyaránt kedvező tulajdonságokkal rendelkező komposzt termék előállítása történik. Mint minden szennyvíziszapból készült termék, ez is tartalmaz toxikus elemeket, melyek kon-

centrációja a rendeletben meghatározott határértékek alatt van. A 2012-ben kijuttatott komposztban a toxikus elemek koncentrációja az 1. táblázatban feltüntetettek szerint alakult.

1. táblázat: A 2012-ben kijuttatott NYÍRKOMPOSZT toxikuselem tartalma.

	As	Cd	Co	összes Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se
	mg/kg								
NYÍRKOMPOSZT	9,44	1,60	3,65	12,67	124,67	<1,00	8,06	24,50	<1,00
Határérték	10	2	50	100	300	1	50	100	5

Határérték: a 36/2006 (V.18.) FVM rendelet komposztokra vonatkozó fejezete szerint.

A tartamkísérlet

Az elkészült komposzt szántóföldi vizsgálatát a Debreceni Egyetem ATK Nyíregyházi Kutatóintézetének 0414/a Hrsz-ú, TUANP-H-11 blokkazonosítójú, szántó művelési ágú területén állítottuk be 2003 őszén. A terület talaja savanyú homoktalaj, főbb kémiai paraméterei a következők: pH(KCl) 5,31; humusz% 0,9; NO₃-N 9,6 mg/kg; P₂O₅ 240,1 mg/kg; K₂O 183,3 mg/kg.

A NYÍRKOMPOSZTtot minden harmadik év őszén juttatjuk ki a területre trágyaszóró berendezéssel, majd a komposztot leszántjuk. Tesztnövényként zöldborsót (*Pisum sativum*, L.), kukoricát és tritikálét vetünk kiterített vetésgörögben, azaz mindhárom növény minden évben jelen van a kísérletben. A komposztot 0, 9, 18 és 27 t/ha mennyiségben szórjuk ki a 12 m x 18 m méretű parcellákra, melyeket öt ismétlésben helyeztünk el.

A komposztot az istállótrágyához hasonlóan minden harmadik évben juttatjuk ki a területre trágyaszóróval, majd azonnal beszántjuk (1. ábra). Eddig 2003, 2006, 2009, 2012 és 2015. években történt meg a komposzt kijuttatása.



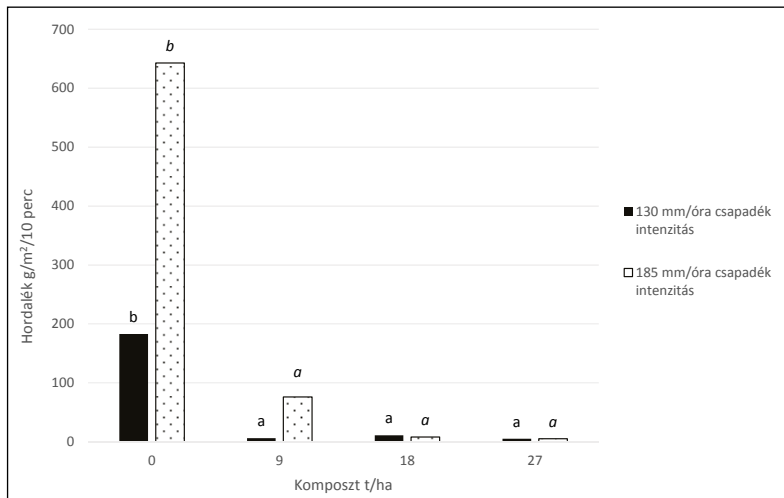
1. ábra: A talajfelszínre kiszórt NYÍRKOMPOSZT (Nyíregyháza, 2012).

A talajmintaszedés minden év augusztus végén történik, amikor a talaj 0-30 cm-es és 30-60 cm-es rétegeiből parcellánként átlagmintákat gyűjtünk. A mintákból talajkémiai és -mikrobiológiai vizsgálatokat végzünk. A két mélységből történő mintaszedés lehetővé teszi, hogy a tápanyagok és toxikus elemek függőleges irányú mozgását is tanulmányozhassuk. Ezek mellett talajfizikai méréseket is végzünk. Ez részben a helyszínen történő mérést jelent (pl. esőztető készülék), részben bolygatatlan talajminták vizsgálatával történik. Célunk, hogy minél többféle talajtulajdonság mérésével komplex ismeretekhez jussunk a szennyvíziszap komposzt rendszeres alkalmazásának tartamhatásáról.

A talaj fizikai tulajdonságainak változása

A homoktalajokra jellemzőek a rossz vízgazdálkodási tulajdonságok: nagy vízáteresztő- és gyenge víztartó képesség (VÁRALLYAY, 1984). Ennek oka, hogy a homoktalajok szerves és ásványi kolloid tartalma igen alacsony. Ennek következtében a csapadék gyorsan átszalad a talajon, így száraz időszakokban a növények számára csak kevés talajban raktározott víz áll rendelkezésre. Másrészt a viszonylag nagyméretű homokszemcsék egy esetlegesen lezúduló nagyobb vízmennyiség hatására erősen összetömörödnek, ami megnöveli a felszíni elfolyás, a vízerózió kialakulásának lehetőségét és mértékét.

A NYÍRKOMPOSZT összetételének meghatározásakor fontos cél volt a homoktalajok vízgazdálkodási tulajdonságainak javítása a komposzt alkalmazása során. A rendszeres komposzt kezelés eredményességét mesterséges esőztető berendezéssel lehet vizsgálni. Ekkor adott talajfelszínre adott idő alatt meghatározott vízmennyiséget juttatunk ki, és mérjük a talajfelszínről elfolyó víz, valamint a vízzel kimosódott talaj mennyiségét. A szennyvíziszap komposzt tartamkísérletben mért eredmények a 2. ábrán láthatók.



2. ábra: A nagy intenzitású csapadékkal elhordott talaj mennyisége a szennyvíziszap komposzttal kezelt parcellákban (Nyíregyháza, 2012). (Forrás: ARANYOS et al., 2015). a-b indexek: a különböző betűk a Tukey-teszt szerint statisztikailag különböző átlagokat jelölik ($p < 0,05$).

A szennyvíziszap komposzt hatása a növények termésére

A vetésforgóban szereplő növények eltérően reagálnak a szennyvíziszap komposzt alkalmazására. A zöldborsó esetében nem tapasztalható gazdaságilag jelentős termésnövekedés, a 27 t/ha-os dózis pedig már kedvezőtlenebb hatású, mint a kisebb dózisok. Szennyvíziszap komposzt alkalmazásával 7-10 % termésmnövekedés érhető el ebben a kultúrában. Termésmennyiségét erőteljesen befolyásolja az időjárás és az alkalmazott agrotechnika.

A kukorica sokkal jobban reagál a szennyvíziszap komposzt alkalmazására. Száraz periódusokban a nagyobb komposzt dózissal kezelt parcellákban később jelentkeznek a szárazságstressz kukoricára jellemző tünetei („furulyázó” levelek). A kukorica magas tápanyagigényéhez igazodva a 18 és 27 t/ha-os dózisok eredményeznek jobb terméseredményt, amely 5-20 %-kal haladja meg a kontroll parcellában mérhető termésmennyiségét. A kukoricát a komposzt kijuttatása utáni 1-2. évben célszerű vetni.

A vizsgált növények közül a tritikálé hasznosítja legjobban a komposzt hatóanyagait. 7 év átlagában 20-40 % termésmnövekedés érhető el a kezeletlen területekhez viszonyítva. A tritikálé termesztéséhez is inkább a nagyobb dózisok (18 és 27 t/ha komposzt) ajánlhatók, és több év átlagában a kijuttatás utáni 2. évben mérhető a legjobb terméseredmény.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a szennyvíziszap komposzt alkalmas a terméseredmények növelésére szántóföldi növénytermesztésben műtrágya kiegészítés nélkül is, azonban az egyes növényfajok különbözően reagálnak a komposzt alkalmazására, amit a vetésforgó kialakításánál és a tápanyaggazdálkodás tervezése során figyelembe kell venni.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A megfelelő minőségű szennyvíziszapok egyik lehetséges hasznosítási módja komposztálás után a mezőgazdasági területeken történő felhasználás. A szennyvíziszap komposztoknak szervesanyag- és tápelem-tartalma révén kedvező hatása van a talaj fizikai, kémiai és mikrobiológiai tulajdonságaira. Azonban ezen komposztok mindig tartalmaznak toxikus elemeket is, melyek felhalmozódása komoly veszélyt jelenthetnek a végfogyasztóként szereplő ember számára.

A rövid távú kísérletek eredményei gyakran alapvetően különböznek a tartamkísérletekből származó eredményektől, részben a talajban zajló folyamatok komplexitása, részben az ismétlődő kezelésekből eredő összeadódó hatások miatt, de az évente egyre nagyobb változatosságot mutató hőmérsékleti és csapadék viszonyok is erőteljesen befolyásolják a talajkezelések okozta hatásokat.

A teszt növények terméseredményeit a növényfaj erőteljesen befolyásolta, így a szennyvíziszap komposzt tápanyagkénti felhasználásánál a növényfaj feltétlenül figyelembe veendő, és szükség esetén műtrágya-kiegészítésről kell gondoskodni a gazdaságos termésszint eléréséhez. Szintén figyelembe kell venni, hogy melyik növényfajt a kijuttatás utáni hányadik évben célszerű vetni, mert ez is jelentősen befolyásolja a termésmennyiséget.

A talajkémiai tulajdonságok kedvező irányú változása mellett megfigyelhető minimális emelkedés egyes toxikus elemek koncentrációjában, ez a változás azonban statisztikailag nem igazolható, a mért értékek a szennyezetlen talajokra jellemző tartományban vannak. A jó minőségű szennyvíziszap komposzt mezőgazdasági hasznosítását mindenképpen járható útnak tartjuk, sőt a szerves anyagokban szegényedő talajaink számára olyan forrást jelentenek, mely a változó gazdasági körülmények között mindenképpen hasznosítandó.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozunk a Nyírségvíz ZRt. vezetésének és munkatársainak, akik biztosítják a kísérlethez szükséges NYÍRKOMPOSZTot, és segítenek a szükséges mennyiségek kimérésében és felrakódásában.

IRODALOMJEGYZÉK

- ALVARENGA, P., C. MOURINHA, M. FARTO, T. SANTOS, P. PALMA, J. SENGO, M.C. MORAIS, C.CUNHA-QUEDA, 2015. Sewage sludge, compost and other representative organic wastes as agricultural soil amendments: Benefits versus limiting factors. *Waste Management* 40: 44-52.
- ARANYOS T.J., MAKÁDI M., TOMÓCSIK A., ANTAL K., BLASKÓ L. 2015. Szennyvíziszap komposztal kezelt barna erdőtalaj vizsgálata esőztetéssel. Növénytermelés, in press.
- CLARKE, B.O., S.R. SMITH, 2011. Review of 'emerging' organic contaminants in biosolids and assessment of international research properties for the agricultural use of biosolids. *Environment International* 37: 226-224.
- PEÑA, A., M.D. MINGORANCE, S. ROSSINI-OLIVA, 2015. Soil quality improvement by the establishment of a vegetative cover of a mine soil added with composted municipal sewage sludge. *Journal of Geochemical Exploration* 157: 178-183.
- SMITH, S.R., 2009. A critical review of bioavailability and impacts of heavy metal in municipal solid waste compost compared to sewage sludge. *Environment International* 35: 142-156.
- VÁRALLYAY, GY., 1984. Magyarországi homoktalajok vízgazdálkodási problémái. *Agrokémia és Talajtan* 33: 159-169.
- WARMAN, P.R., TERMEER, W.C., 2005. Evaluation of sewage sludge, septic waste and sludge compost application to corn and forage: yields, and N, P and K content of crops and soils. *Bioresource Technology* 96: 955-961.
- https://www.ksh.hu/docs/hun/eurostat_tablak/tab1/ten00030.html

LONG-TERM EFFECT OF SEWAGE SLUDGE COMPOST UTILIZATION IN ARABLE FARMING

Marianna Makádi, Tibor Aranyos, Attila Tomócsik

*University of Debrecen, Centre of Agricultural Sciences,
Research Institute of Nyíregyháza,
H-4400 Nyíregyháza, Westsik Vilmos str. 4-6. Hungary
E-mail: makadim@agr.unideb.hu*

Down-to-earth study the positive and/or negative effects of agricultural utilization of regular sewage sludge compost application and processes taken place in soil-plant system can be done only in long-term experiments mainly because of the possible accumulation processes. The long-term experiment established in 2003 in the University of Debrecen, Centre of Agricultural Sciences, Research Institute of Nyíregyháza is suitable for studying the complex soil-plant system. Our results show favourable changes in soil physical parameters, especially in the soil water xx properties. The results of crop yields of test plants were strongly influenced by the plant species. In the last seven years, the yields of green pea were increased by only 7-10%, while the yield increase was 5-20% and 20-40% in case of maize and triticale, respectively. Beside the positive changes in soil chemical properties, a small increase in the concentration of some toxic elements were found, but it was not a significant increase and the toxic elements concentrations of soil samples were in the range of unpolluted soils. High quality sewage sludge composts application is recommended in agriculture; they organic matter content are very important for soils with decreasing organic matter content therefore the utilization of sewage sludge compost in agriculture is suggestible.

TELEPÜLÉSI SZENNYVÍZISZAP KOMPOSZT TARTAMHATÁSÁNAK VIZSGÁLATA *SALIX* ÉS *ARUNDO* ENERGIANÖVÉNY KULTÚRÁKBAN

Simon László¹, Uri Zsuzsanna¹, Vincze György¹, Szabó Béla¹, Koncz József²

¹ Nyíregyházi Főiskola, Műszaki és Agrártudományi Intézet, Agrártudományi és
Környezetgazdálkodási Intézeti Tanszék, 4400 Nyíregyháza, Sóstói út 31/b.

E-mail: simonl@nyf.hu
² MTA ATK TAKI, Budapest

ÖSSZEFOGLALÁS

Négy ismétléssel, véletlen-blokk elrendezéssel, energetikai célra termesztett kosárfonó fűz-
zel (*Salix viminalis* x *triandra*, cv. Inger) barna erdőtalajon beállított szabadföldi tartamkísér-
letben tanulmányoztuk, hogy a települési szennyvíziszap komposzt (TSZK), illetve a fűzhamu
(FH) milyen tartamhatást gyakorol a fűzveszők elemösszetételére és a fűz hozamparamétere-
ire. Megállapítottuk, hogy a talajba mérsékelt dózisban kijuttatott TSZK (15 t/ha), illetve FH
(600 kg/ha) nem változtatta meg lényegesen a betakarított fűzveszők fajlagos (1 gramm szá-
razanyagra vonatkoztatott) esszenciális makro- (N, P, K, Ca, Mg) és mikroelem- (Cu, Fe, Mn,
Zn) felvételét, illetve toxikuselem (As, Ba, Cd, Pb) -akkumulációját. A TSZK szignifikánsan
34 %-kal, a FH pedig 17 %-kal növelte meg a betakarított fűzveszők nedves össz-
tömegét. A TSZK és a FH együttes kijuttatása nem gyakorolt jelentős hatást a fűz hozamára. Az energetikai
célra termesztett olasznáddal (*Arundo donax* L.) beállított szabadföldi mikroparcellás kísérlet-
ben megállapítottuk, hogy a barna erdőtalajba két alkalommal kijuttatott TSZK (2x25 t/ha) csak
a káliumkoncentrációt növeli meg szignifikánsan a betakarított hajtásokban. A kétszeri TSZK
kijuttatás nem befolyásolta szignifikánsan az olasz nád hozamát (hajtásainak betakarított össz-
tömegét).

BEVEZETÉS

A fosszilis energiahordozók könnyen kitermelhető készleteinek fogyásával, és a fo-
lyamatosan emelkedő szén-dioxid kibocsátással összefüggő globális felmelegedéssel
világszerte előtérbe került a biomassa energetikai célra történő hasznosítása. Olyan nö-
vénykultúrát tekintünk energiaültetvénynek, amelyet elsődlegesen biomassa-termelés
és energetikai felhasználás céljából telepítettek (BLASKÓ, 2008).

A rövid vágásfordulójú fás szárú energetikai ültetvényekben telepíthető alapfajok
közül (ld. 45/2007 (VI. 11.) FVM RENDELET) - nagy hozama és energiaszolgáltató-
képessége miatt - kiemelkedik hazánkban a kosárfonó fűz (*Salix viminalis* L.) vagy
„energiafűz”. A fűz gyorsan és erőteljesen sarjadzik, 2-4 méter hosszú szálvesszői –
termőre fordulás után – akár évente betakaríthatóak. A vesszőhozamot (mely elérheti a
10-12 t szárazanyag/ha/év értéket), számos tényező mellett, a tápanyagellátás is jelen-
tősen befolyásolja. Az egyenletesen nagy hozam elérésére képes állomány kialakításá-
hoz megfelelő mértékű és kiegyensúlyozott tápanyag-ellátásra van szükség a talajában
(BLASKÓ, 2008; GYURICZA, 2011; SMART & CAMERON, 2012).

Az olasz nád (*Arundo donax* L.) a vízpartok és mocsarak jellegzetes növénye, amely 3-5 méter magasra is megnő, Délkelet-Európában elterjedt. Ott energianövényként, hazánkban elsősorban dísnövényként termesztik. Ez a lágyszárú növény kedveli a laza, homokos, vízzel jól ellátott talajokat, de agyagos, szikes talajokon is megél. Szárazanyag-hozama öntözés nélkül is elérheti évente a 10-20 tonnát hektáronként (BLASKÓ, 2008; NSANGANWIMANA et al., 2014).

Mivel a fűz vagy az olasz nád akár 15-20 éven át is folyamatosan egy helyben termeszthető az energiaültetvényekben, ezért a betakarítási ciklusok után gondoskodni kell a talajok rendszeres tápanyag-utánpótlásáról (GYURICZA, 2011; SMART & CAMERON, 2012). Az energianövények biomassza hozama szerves és szervetlen trágyákkal, különféle talajba kijuttatott adalékanyagokkal, valamint biohulladékokkal és melléktermékekkel is serkenthető (SMART & CAMERON, 2012; DIMITRIOU et al., 2006; PARK et al., 2005). Azokon a termőterületeken, ahol energetikai célra történő termesztés folyik, kedvező lehetőség kínálkozik az egyébként korlátozásokkal elhelyezhető szerves és szervetlen hulladékok, melléktermékek (pl. szennyvíziszap, hígrágya, hamu, stb.) elhelyezésére, hasznosítására is.

A szennyvíziszap komposztok jelentős mennyiségben tartalmaznak a növények számára értékes tápanyagokat, főleg nitrogént és foszfort, kisebb arányban káliumot. A biomassza elégetése során keletkező hamu elsősorban káliumforrás, de kalcium, magnézium, foszfor és egyéb mikroelemek is találhatóak benne. Mindkét anyag hasznosításának korlátozó tényezője lehet toxikus elem-tartalmuk (CABRERA, 1994; EPSTEIN, 2002; GYURICZA, 2011).

Az energiafűz ásványi táplálkozását, tápanyag-igényét és hozamát 2008 óta tanulmányozzuk szabadföldi kísérletekben Nyíregyházán (SIMON et al., 2010; SIMON et al., 2011a, 2011b; SIMON et al., 2012a, 2012b; SIMON et al., 2013a, 2013b). 2008-2010 között energiafűzzel beállított előkísérleteink alapján megállapítottuk, hogy a talajba kijuttatott, provokatívan nagy települési (nyíregyházi) szennyvíziszap-komposzt dózisek (50 és 100 t/ha nedves tömeg, 25,5 t/ha és 51 t/ha szárazanyag) hatására a kijuttatás utáni első, illetve második évben a fűz nedves szálvessző hozama 14-48%-kal lecsökkent a kezelésben nem részesült kontrollhoz viszonyítva (SIMON et al., 2011a, 2011b).

Az olasz nád ásványi táplálkozását, tápanyag-igényét és hozamát 2007 óta tanulmányozzuk szabadföldi kísérletekben Nyíregyházán (SIMON et al., 2010; SIMON et al., 2011a, 2011b; SIMON et al., 2013b). Előkísérletünkben – a fűzkultúrához hasonlóan – provokatívan nagy dózisekben (50 és 100 t/ha nedves tömeg) juttattuk ki először a barna erdőtalajba a nyíregyházi szennyvíziszap komposztot. Megállapítottuk, hogy a kezelés évében a kisebb dózis egy olasz nád hajtásra vetítve 28%-kal emelte meg a betakarított föld feletti biomassza légszáraz tömegét, a nagyobbik dózis azonban 35%-os csökkenést eredményezett. Az egy hajtásra vetített légszáraz hozam a szennyvíziszap kijuttatás utáni második évben már közel azonos volt a kontrolléval mindkét dózis esetén (SIMON et al., 2011a).

Fenti kísérletek tapasztalatai alapján mérsékeljük a szennyvíziszap komposzt talajba kijuttatott mennyiségét. E tanulmányban a települési szennyvíziszap komposzt és a fűzhamu hatását ismertetjük a fűz vesszők táp- és toxikus elem-felvételére, illetve a fűz vesszők hozamparamétereire. Bemutatjuk továbbá a talajba kijuttatott szennyvíziszap komposzt hatását is az olasz nád elemfelvételére és hozamára.

ANYAG ÉS MÓDSZER

2011-ben egy újabb, ún. tartamkísérletet állítottunk be energiafűzzel (*Salix triandra* x *Salix viminalis* 'Inger') Nyíregyházán. A Debreceni Egyetem Agrártudományi Központ Nyíregyházi Kutatóintézetének területén található parcellák barna erdőtalajába 2011-ben és 2013-ban települési szennyvíziszap komposztot, települési biokomposztot, riolittufát és fűzhamut juttattunk ki mérsékelt dózisokban és különféle kombinációkban. E kezeléseket minden évben ammónium-nitrát fejtrágyázással egészítettük ki (SIMON et al., 2012a, 2012b; SIMON et al., 2013a, 2013b). A talaj fizikai és kémiai jellemzőit korábbi publikációnkban (SIMON et al., 2013b) mutattuk be.

A talaj legfelső, 0-25 cm-es rétegét 2011. június 17-én az alábbi anyagokkal kezeltük:

1. *Kontroll* (nem részesült kezelésben),
2. *Települési szennyvíziszap komposzt* (TSZK), 15 t/ha.
3. *Fűzhamu* (FH), 600 kg/ha.
4. *TSZK+FH*.

A települési szennyvíziszap komposztot (48-56% szárazanyag-tartalom a kijuttatáskor) a Nyírségvíz Zrt. állította elő Nyíregyházán. A fűzhamut (99% szárazanyag-tartalom a kijuttatáskor) mi állítottuk elő a kísérleti fűzveszők elégetésével. A talajba kijuttatott anyagok elemösszetételének megvizsgálásához botfűró segítségével 30-30 véletlenszerű leszúrásból 0-25 cm-es mélységből mintegy 1,5-1,5 kg-nyi kevert átlagmintát vettünk a szennyvíziszap komposzt, illetve a fűzhamu halomból (SIMON et al., 2011b).

A 4 ismétléssel véletlen-blokk elrendezéssel beállított szabadföldi kísérletben valamennyi kísérleti parcella nettó 27 m² alapterületű volt, melyeken belül 40-40 fűzbokor helyezkedik el 0,75 m-es sortávolsággal és 0,6 m-es tőtávolsággal, két 1,5 méteres távolsággal kialakított ikersorban.

Tizenkilenc hónappal a szennyvíziszap komposzt és a fűzhamu első talajba juttatása után, 2013 januárjában került sor a levél nélküli fűzveszők első betakarítására. A hozamvizsgálatok (hajtások átmérőjének mérése 2012 decemberében 50 és 100 cm-es magasságban, hajtások átlagos száma bokronként, hajtások maximális hossza, betakarított vesszők nedves össztömege parcellánként, betakarított vesszők aktuális nedvességtartalma) mellett mintákat is vettünk ekkor a fűzveszőkből, hogy megvizsgáljuk, miként befolyásolták a talajkezelések a növények elemfelvételét. A fűzvesző mintákat mosás után megszárazítottuk és <1 mm-es szemcseméretig felaprítottuk.

A fűzveszők nitrogéntartalmát Kjeldahl-módszerrrel, táp- és toxikuselem-összetételét pedig ICP-OES technikával (Ultima 2 Horiba Jobin-Yvon készülék, Franciaország) határoztuk meg a Geoderma Bt. budapesti laboratóriumában, kezelésként 3-3 ismétléssel. Ugyanilyen módon végeztük el a talajba kijuttatott szennyvíziszap komposzt, illetve fűzhamu elemanalízisét is 3-3 ismétléssel.

Az olasznáddal beállított szabadföldi kísérlet a füzes kísérlet közelében helyezkedett el. 2009 júniusában ültettük el a kísérleti parcellák barna erdőtalajába (jellemzőit ld. SIMON et al., 2013b) az előnevelt növényeket 1x1 méteres kötésben. A dísznövényként termesztett hazai olasz nád egy nyíregyházi sorház pihenőkertjéből származott. Egy kísérleti mikroparcella nettó területe 10 m² volt, az 5 méter hosszú és 2 m széles parcellákon belül 2 sorban 5-5 növényt helyeztünk el.

2009. június 3-án, illetve 2010. július 1-én a talaj legfelső, 0-25 cm-es réteget az alábbi módon kezeltük:

1. *Kontroll* (nem részesült kezelésben),
2. *Települési szennyvíziszap komposzt*, 25 t/ha (25 kg/parcella).

A szennyvíziszap komposzt szárazanyag-tartalma a kijuttatáskor 2009-ben 48,40-55,5%, 2010-ben pedig 45,8-48,0% között változott, előállítója a Nyírségvíz Zrt. volt. 2010. július 1-én, közvetlenül a talajba történt kijuttatása előtt, a szennyvíziszap komposzt halomból botfűróval történt 20 leszúrással 0-25 cm-es mélységből mintegy 1 kg-nyi átlagmintát vettünk.

2011. március 10-én került sor a kísérleti növények hajtásának második betakarítására, illetve a hajtások aktuális szárazanyag-tartalmának megállapítására. Az adott kísérleti parcellában található valamennyi bokor esetén megszámloltuk a töveket (azaz a szárát és elszáradt leveleket tartalmazó, kifejlett hajtásokat), és hordozható digitális táramérleggel megmértük a hajtások össztömegét. A földre lehullott levelek tömegét nem számítottuk bele a betakarított tömegbe. Minden bokor esetén megmértük a legnagyobb hajtás hosszát centiméterben. A betakarított és összeköteget nedves hajtások középső szakaszából véletlenszerűen kivágtunk 15-20 db 20-30 cm-es darabot. A mintákról az elszáradt leveleket lehántoltuk, majd szármintákat a laboratóriumban csapvízzel majd desztillált vízzel mostuk meg. A szárminták betakarítás kori aktuális nedvességtartalmát 5 napos szikkasztás után szárítószekrényben 105 °C-on történt 24 órás szárítás után határoztuk meg. A szennyvíziszap komposzt, illetve a növényminták előkészítése és elemanalízise a fűznél leírt módon történt.

A mérési adatok statisztikai elemzését SPSS 21 szoftver alkalmazásával, variancia-analízis segítségével (ANOVA) Tukey b-teszttel, illetve Student-féle t-próbával végeztük el.

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

Az 1. táblázatban mutatjuk be a szennyvíziszap komposzt és a fűzhamu „összes” (salétromsav-hidrogén-peroxiddal kioldható) elemkoncentrációit a fűzzel beállított szabadföldi kísérlet talajába történt első kijuttatásuk előtt. Az analízis igazolta, hogy szennyvíziszap komposzt gazdag foszforban, jelentős mennyiségű kalciumot és vasat tartalmazott, illetve esszenciális mikroelem-tartalma (Cu, Mn, Zn) is számottevő volt. A megvizsgált toxikus elemek mennyisége nem adott aggodalomra okot, mennyiségük alatta maradt a 50/2001. (IV. 3.) Kormányrendeletben lefektetett határértékeknek.

A fűzhamu jelentős mennyiségű kalciumot, vasat és káliumot tartalmazott (feltehetően azonban nehezen felvehető vegyületek formájában), a megvizsgált esszenciális mikroelemek közül a mangán koncentrációja volt a legnagyobb. A nyíregyházi fűzhamuban a megvizsgált toxikus elemek közül a salétromsav-hidrogén-peroxid roncsolásban kimutatható volt az As, Ba, Cd, Cr, Ni és az Pb (SIMON et al., 2011b), melyek közül elsősorban a bárium- és arzénkoncentráció volt jelentős. Előnyös, hogy a fűzhamuban kevés kadmiumot mértünk.

A 2. táblázatban mutatjuk be a szennyvíziszap komposztnak és a fűzhamunak a betakarított fűzveszők elemfelvételre gyakorolt hatását 19 hónappal a talajba történt első kijuttatásuk után.

1. táblázat: A szennyvíziszap komposzt és a fűzhamu elemösszetétele* a fűzrel beállított szabadföldi kísérlet talajába történt első kijuttatásuk előtt (Nyiregyháza, 2011. április 21.).

Elemek	Szennyvíziszap komposzt		Fűzhamu	
	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
P	18,876	2,010	6,472	0,101
K	3,424	0,093	16,508	0,256
Ca g/kg	39,294	0,290	43,074	0,909
Mg	4,479	0,387	7,991	0,082
Fe	17,148	4,094	17,045	0,570
Cu	226	1	52,6	29,1
Mn mg/kg	390	6	624	19
Zn	822	5	279	5
As	20,7	0,6	35,4	0,7
Ba	287	25	129	2
Cd mg/kg	1,38	0,03	0,36	0,01
Pb	49,4	0,4	9,42	0,44

*cc. HNO₃-H₂O₂ feltárás, ICP-OES meghatározás Mintavétel: 30-30 leszúrásból összeállított légszárított kevert átlagminta mérési adatai 3 ismétléssel.

Megállapítottuk, hogy a 2013 januárjában betakarított fűzveszők fajlagos nitrogénfelvételében a kezelések hatására statisztikailag szignifikáns eltérés nem történt. A kijuttatott szennyvíziszap komposzt jelentős mennyiségű foszfort tartalmazott ugyan (1. táblázat), de ez nem eredményezte a kezelt fűzveszők szignifikánsan nagyobb foszforfelvételét a kontroll kultúrákhoz képest. A fűzveszők fajlagos K- és Ca-felvétele kisebb volt a szennyvíziszappal, illetve a fűzhamuval kezelt kultúrákban, míg a kombinált kezeléseknél mindkét elem felvétele kissé megemelkedett. Ezen jelenségek azonban nem bizonyultak statisztikailag szignifikánsnak (2. táblázat).

Az esszenciális mikroelemeket (Cu, Fe, Mn, Zn) illetően a szennyvíziszap kijuttatás mind a négy vizsgált elem esetén kis mértékben lecsökkentette a fűzveszők fajlagos elemfelvételét. A fűzhamuval kezelt kultúrákban a fajlagos Cu-, Fe- és Zn-felvétel 19-33%-kal kisebb volt a kontrollhoz viszonyítva (2. táblázat). Mivel a szennyvíziszap komposzt talajba juttatása megnövelte a betakarított fűzveszők tömegét (ld. 2. ábra), a felvett mikroelemek „kihígultak” a nagyobb biomasszában. Fenti eredményeink összhangban vannak GYURICZA et al. (2008) hasonló jellegű megfigyeléseivel.

A fűzveszők toxikus elem- (As, Ba, Cd, Pb) akkumulációját megvizsgálva megállapítottuk, hogy a talajba kijuttatott szennyvíziszap komposztból és fűzhamuból nem került be kimutatható mennyiségben arzén és ólom a fűzajtásokba. Annak ellenére, hogy a kijuttatott fűzhamu jelentős mennyiségű arzént és báriumot tartalmazott (1. táblázat), ezen toxikus elemek mennyisége nem emelkedett meg szignifikáns mértékben a fűzveszőkben. Valamennyi kezelt kultúrában kevesebb Cd-t mértünk, mint a kontroll kultúrában (2. táblázat).

2. táblázat: Szennyvíziszap komposzt és fűzhamu hatása a kosárfonó fűz (*Salix triandra x viminalis* 'Inger') vesszőjének makro-, mikro- és toxikuselem-tartalmára* (szabadföldi kísérlet, Nyíregyháza, 2013. január; 15 t/ha szennyvíziszap komposzt és 600 kg/ha fűzhamu kijuttatás 2011. június).

Elemek	Kezelések				
	Kontroll	Szennyvíziszap komposzt	Fűzhamu	Szennyvíziszap komposzt + fűzhamu	
N	m/m%	0,39 ^a	0,37 ^a	0,41 ^a	0,38 ^a
P		0,864 ^a	0,826 ^a	0,875 ^a	0,923 ^a
K		2,020 ^a	1,905 ^a	1,889 ^a	2,247 ^a
Ca	mg/g	3,303 ^a	2,913 ^a	2,959 ^a	3,415 ^a
Mg		0,878 ^a	0,794 ^a	0,843 ^a	0,853 ^a
Cu		2,60 ^a	1,91 ^a	1,75 ^a	2,21 ^a
Fe		7,91 ^a	6,22 ^a	5,87 ^a	7,10 ^a
Mn	mg/g	7,78 ^a	6,62 ^a	8,05 ^a	9,27 ^a
Zn		59,9 ^a	44,7 ^a	48,7 ^a	58,0 ^a
As		<kha	<kha	<kha	<kha
Ba		4,32 ^a	3,58 ^a	4,16 ^a	4,45 ^a
Cd	mg/g	1,41 ^a	0,99 ^a	1,16 ^a	1,31 ^a
Pb		<kha	0,30	<kha	<kha

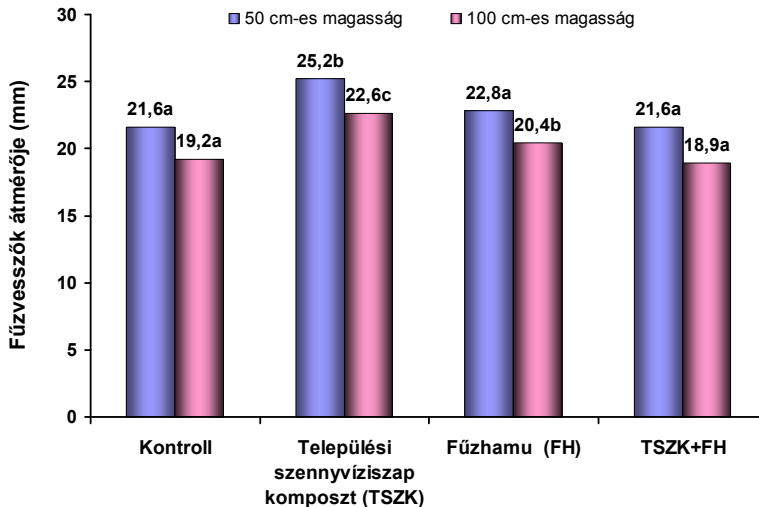
*cc. HNO₃-H₂O₂ feltárás, ICP-OES meghatározás. Az adatok 3 ismétlés átlagai. <kha=kimutatósi határ alatt: As-0,4 mg/g, Pb-0,3 mg/g. Variancia-analízis. Tukey-féle b-teszt. A különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan (P<0,05) különböznek egymástól.

Az 1. ábrán a települési szennyvíziszap komposzt és a fűzhamu hatását szemléltetjük a kosárfonó fűz 50 és 100 cm-es magasságban mért vesszőátmérőire 2012 decemberében.

Megállapítottuk, hogy az 50 és 100 cm-es magasságában mért vesszőátmérőket a szennyvíziszap komposzt kijuttatás szignifikánsan növelte meg a kontrollhoz viszonyítva, míg a kombinált kezelés ez irányú hatása nem volt számottevő mértékű. Hasonló tendenciát tapasztaltunk a kosárfonó fűz vesszőinek legnagyobb hosszára vonatkozó adatokat elemezve, a három kezelés közül a szennyvíziszap komposztnak volt a legkedvezőbb hatása (3. táblázat).

A 2. ábrán a települési szennyvíziszap komposzt és a fűzhamu hatását szemléltetjük a kosárfonó fűz vesszőhozamára 2013 januárjában.

A szennyvíziszap komposzt önmagában történt kijuttatása 34,4%-kal, míg a fűzhamu önmagában 17,2%-kal növelte meg a vesszők nedves össztömegét a kezelésben nem részesült kontroll kultúrához képest, az utóbbi és a kombinált kijuttatás viszont szignifikáns változást nem eredményezett (2. ábra).



1. ábra: Szennyvíziszap kompozst (15 t/ha) és fűzhamu (600 kg/ha) talajkezelések hatása a fűz vesszők átmérőjére 50 és 100 cm-es magasságban (szabadföldi kísérlet, Nyíregyháza, 2012. december 4.). Variancia-analízis. Tukey-féle b-teszt. $n=32-41$ /parcella \times 4 ismétlés. A különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P<0,05$) különböznek egymástól.

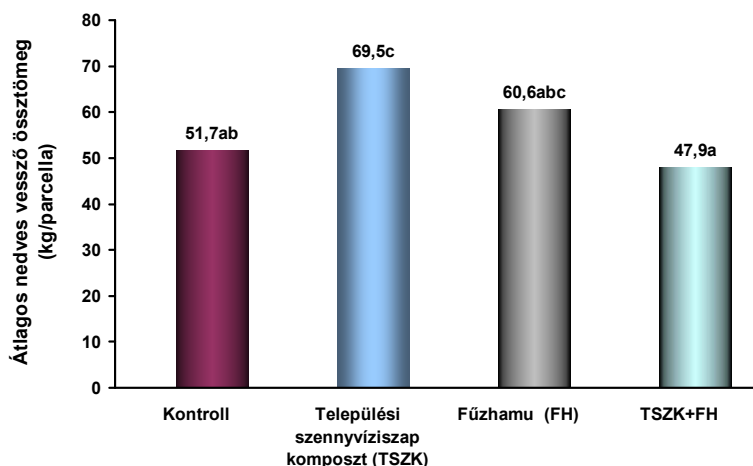
3. táblázat: Szennyvíziszap kompozst (15 t/ha) és fűzhamu (600 kg/ha) hatása a fűz vesszők legnagyobb hosszára (szabadföldi kísérlet, Nyíregyháza, 2013. január).

Kezelések	Fűz vesszők legnagyobb hossza (cm) ($n=48$ /kezelés)
Kontroll	461 ^a
Települési szennyvíziszap kompozst (TSZK)	509 ^c
Fűzhamu (FH)	487 ^b
SZK+FH	453 ^a

Variancia-analízis. Tukey-féle b-teszt. A különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P<0,05$) különböznek egymástól.

A 4. táblázatban a települési szennyvíziszap kompozst elemösszetételét mutatjuk be az olasz nád talajába második alkalommal történt kijuttatásának napján.

A mérési adatok megerősítik az 1. táblázatban bemutatott eredményeket; az olasz nád kultúrába kijuttatott szennyvíziszap kompozst a fűz kultúrába kijuttatathoz hasonló arányban tartalmazott különféle makro-, mikro- és toxikus elemeket. A toxikus elemek (Cd, Pb) koncentrációja ezúttal sem haladta meg a mezőgazdasági hasznosításra vonatkozó határértékeket (50/2001. (IV. 3.) KORMÁNYRENDELET).



2. ábra: Szennyvíziszap komposzt és fűzhamu hatása a kosárfonó fűz betakarított vesszőinek összöttömegére (szabadföldi kísérlet, Nyíregyháza, 2013. január).

Variancia-analízis. Tukey-féle b-teszt. n=4. A különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól.

4. táblázat: Az olasz nád (*Arundo donax* L.) talajába kijuttatott települési szennyvíziszap komposzt elemösszetétele* a második alkalommal történt kijuttatásakor (Nyíregyháza, szabadföldi kísérlet; növények ültetése és az első kezelés: 2009. június 3., második kezelés: 2010. július 1.).

Kezelések	Minta	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn	Cd	Pb
		g/kg					mg/kg			
Szennyvíziszap komposzt	1	23,680	3,824	42,510	4,837	213	415	812	1,19	52,0
	2	19,673	4,048	36,553	4,438	185	398	688	1,19	45,9
	3	17,598	3,711	34,916	4,259	157	364	602	1,02	42,9
	Átlag:	20,317	3,861	37,993	4,511	185	392	700	0,94	46,8
	Szórás:	3,092	0,171	3,997	0,296	28	26	106	1,05	4,8

*cc. $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$ feltárás, ICP-OES meghatározás. 20 leszúrásból összeállított légszáras kevert átlagminta mérési adatai és szórásai.

Az 5. táblázatban a települési szennyvíziszap komposzt hatását mutatjuk be az olasz nád (levél nélküli) szárának elemösszetételére 2011 márciusában, a betakarításkor.

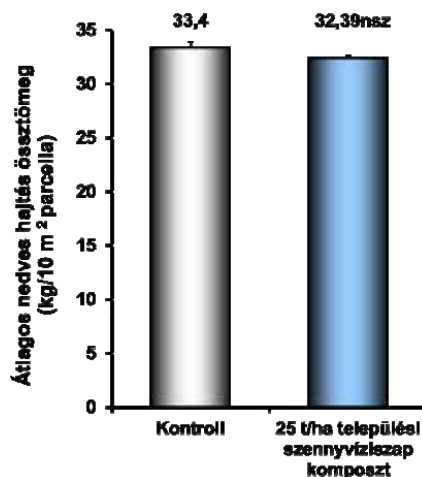
A szennyvíziszap komposzttal kezelt kultúrákban nagyobb volt a fajlagos nitrogén, foszfor és káliumkoncentráció, de csak az utóbbi növekmény bizonyult statisztikailag szignifikánsnak. A kezelt olasz nád szárban kevesebb kalciumot és magnéziumot mértünk, mint a kontrollban, azonban ez az eltérés sem volt statisztikailag igazolható. Előnyös jelenség, hogy a toxikus elemnek tekintett ólom és kadmium koncentrációja nem emelkedett meg a kezelések hatására (2009-ben és 2010-ben is juttattunk ki 25-25 t/ha mennyiségben szennyvíziszap komposztot a talajba, a betakarított szár 2011-es analízisekor tehát additív hatással is kellett már számolnunk), ezen elemek mennyisége a kimutatási határérték alatt volt a szárban (5. táblázat).

5. táblázat: Települési szennyvíziszap komposzt hatása az olasz nád (*Arundo donax* L.) szárának elemösszetételére* a második betakarításkor, 34 héttel a második talajkezelés után (Nyíregyháza, szabadföldi kísérlet; ültetés és első kezelés 2009. június 3., első betakarítás 2010. március 21.; második kezelés 2010. július 1., második betakarítás 2011. március 10.).

Elemek		Kezelések	
		Kontroll	Szennyvíziszap komposzt
N	m/m%	0,405	0,430 ^{nsz}
P		0,805	0,979 ^{nsz}
K	mg/g	6,742	11,368*
Ca		0,449	0,378 ^{nsz}
Mg		0,812	0,628 ^{nsz}
Cu	mg/g	2,82	3,37 ^{nsz}
Zn		4,60	4,47 ^{nsz}
Cd	mg/g	<kha	<kha
Pb		<kha	<kha

*cc. HNO₃-H₂O₂ feltárás, ICP-OES meghatározás. <kha=kimutatási határ alatt: Cd-0,02 mg/g, Pb-0,3 mg/g. Student-féle t-próba. Az adatok 3 ismétlés átlagai. ^{nsz}-nem szignifikáns, * P<0,05.

A 3. ábrán a települési szennyvíziszap komposzt hatását mutatjuk be az olasz nád hajtásainak nedves össztömegére, a 2011. márciusi betakarításkor.



3.ábra: Szennyvíziszap komposzt hatása az olasz nád hajtásainak (levél+szár a lehullott levelek nélkül) nedves össztömegére a betakarításkor.

(szabadföldi kísérlet, Nyíregyháza, 2011. március 16.).

Student-féle t-próba. n=10. ^{nsz}-nem szignifikáns

Az adott kísérleti parcellában található valamennyi bokor esetén külön-külön is megmértük a nedves hajtások összességét, és ezeket az adatokat elemeztük statisztikailag. A kezelt és kontroll kultúrákban közel azonos volt a hajtások összessége, mely nem különbözött egymástól statisztikailag szignifikáns mértékben (3. ábra). 2011 márciusában az olasz nád szárának átlagos nedvességtartalma 34,67-54,0% között változott a betakarításkor (SIMON et al., 2011b).

A kontroll kultúrák bokraiban található legmagasabb száruk átlagos hossza 343 cm volt, a szennyvíziszap komposzttal kezelt kultúrákban pedig 317 cm. A kontroll kultúrákban egy hajtás átlagos tömege 259 g, a kezeltben 187 g volt. A kontroll kultúra egy bokrában átlagosan 13 db a kezeltében pedig 17 db szárat találtunk. A kétszeri szennyvíziszap kijuttatás a második betakarításkor tehát némileg rövidebb és kisebb tömegű száruk kialakulását eredményezte, ezek száma azonban a kezelések hatására megemelkedett a kontrollhoz képest.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A talajba kijuttatott települési szennyvíziszap komposzt vagy a fűzhamu nem változtatta meg lényegesen a betakarított fűz vesszők fajlagos (1 gramm szárazanyagra vonatkoztatott) esszenciális makro- (N, P, K, Ca, Mg) és mikroelem- (Cu, Fe, Mn, Zn) felvételét, illetve toxikus elem (As, Ba, Cd, Pb) -akkumulációját. Hasonló jelenséget figyeltünk meg az olasz nád betakarított szárában, a szennyvíziszap komposzt kétszeri talajba juttatása nem változtatta meg szignifikánsan az elemfelvételt, elemösszetételt, egyedüli kivételt a jelentősen megemelkedett káliumfelvétel jelentett. Feltételezhetjük tehát, hogy a talajba kijuttatott települési szennyvíziszap komposztból vagy fűzhamuból nem kerülnek át olyan mértékben toxikus elemek a biomassza erőművekben elégetésre kerülő anyagba, melyek az elégetés során keletkező hamuban feldúsulnának, és a hamu későbbi kezelése, talajba történő visszajuttatása során környezetvédelmi problémát okoznának.

A szennyvíziszap komposzt szignifikánsan 34 %-kal, a fűzhamu pedig 17 %-kal növelte meg a betakarított fűz vesszők nedves összességét. A két anyag együttes kijuttatása nem gyakorolt serkentő hatást a fűz hozamára. Az olasz nád betakarított hajtásának (szár+levél) nedves tömegét a kétszeri szennyvíziszap komposzt kijuttatás nem befolyásolta szignifikánsan.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Tudományos munkánk a TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0014 pályázathoz („Települési szennyvizek innovatív és környezettudatos tisztítása és a szennyvíziszapok környezetbarát elhelyezése”) kapcsolódik. Köszönjük a Nitrogénművek Vegyipari Zrt. (Pétfürdő) anyagi támogatását. Külön köszönettel tartozunk Dr. Darvasiné Tasi Valériának és Dr. Varga Csabának a minták analízishez történő gondos előkészítéséért.

IRODALOMJEGYZÉK

- BLASKÓ L., 2008. Energianövények termesztése, termőhelyi alkalmasság, felhasználhatóság. In: CHLEPKÓ T. (szerk.) Megújuló Mezőgazdaság. Tanulmányok a zöldenergia termeléséről és hasznosításáról gondolkodóknak. Magyar Katolikus Rádió, Budapest. 167-207.
- CABRERA, C., ORTEGA, E., GALLEGÓ, C., LORENZO, M. L., ASENSIO, C., LÓPEZ, M. C., 1994. Lead concentration in farmlands in Southern Spain: Influence of the use of sewage sludge as fertilizer. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 53: 32-38.
- DIMITRIOU, I., ERIKSSON, J., ADLER, A., ARONSSON, P., VERWIJST, T., 2006. Fate of heavy metals after application of sewage sludge and wood-ash mixtures to short-rotation willow coppice. *Environmental Pollution* 142: 160-169.
- EPSTEIN, E., 2002. *Land Application of Sewage Sludge and Biosolids*. Lewis Publishers. Boca Raton FL. USA.
- GYURICZA, CS., NAGY, L., UJJ, A., MIKÓ, P., ALEXA, L., 2008. The impact of composts on the heavy metal content of the soil and plants in energy willow plantations (*Salix* sp.). *Cereal Research Communications* 36: 279-282.
- GYURICZA Cs., 2011. Fás szárú energianövények termesztése (5.). Növénytáplálás energiaültetvényekben. *Agrofórum*, 2011. március: 92-96.
- NSANGANWIMANA, F., MARCHAND, L., DOUAY, F., MENCH, M. 2014. *Arundo donax* L., a candidate for phytomanaging water and soils contaminated by trace elements and producing plant-based feedstock. A Review, *International Journal of Phytoremediation*, 16: 982-1017.
- PARK, B.B., YANAI, R.D., SAHM, J.M., LEE D.K., ABRAHAMSON, L.P. 2005. Wood ash effects on plant and soil in a willow bioenergy plantation. *Biomass and Bioenergy* 28:355-365.
- SIMON L., SZABÓ B., SZABÓ M., VARGA CS., 2010. Kosárfonó fűz, fehér akác és olasz nád energianövények tápanyag-utánpótlásának vizsgálata. Innovációs kutatási jelentés. Készült a Nitrogénművek Vegyipari Zrt. (Pétfürdő) számára. Nyíregyházi Főiskola, Műszaki és Mezőgazdasági Kar, Nyíregyháza. pp. 1-76. (kézirat).
- SIMON L., SZABÓ B., VARGA CS., URI ZS., BÁNYÁCSKI S., BALÁZSY S., 2011a. Energianövények hozamának és toxikus elem-felvételének vizsgálata. In: FARSANG A., LADÁNYI ZS (szerk.). Talajtani Vándorgyűlés. „Talajaink a változó természeti és társadalmi hatások között”. Szeged, 2010. szeptember 3-4. Talajvédelmi Alapítvány, Magyar Talajtani Társaság, Szegedi Tudományegyetem, Szeged. Talajvédelem (különszám): 421-430.
- SIMON L., SZABÓ B., SZABÓ M., VARGA CS., VINCZE GY., 2011b. Energianövények hozamának és tápanyag-ellátásának vizsgálata, különös tekintettel a nitrogén-műtrágyák és különféle biohulladékok együttes hatásának tanulmányozására. Innovációs kutatási jelentés. Készült a Nitrogénművek Vegyipari Zrt. (Pétfürdő) számára. Nyíregyházi Főiskola, Műszaki és Mezőgazdasági Kar, Nyíregyháza. pp. 1-91. (kézirat).
- SIMON L., SZABÓ B., VINCZE GY., VARGA CS., SZABÓ M., KONCZ J., 2012a. Ammónium-nitrát műtrágya és talajadalékok hatása az energiafűz (*Salix viminalis* L.) elemfelvételére. In: LEHOCZKY É. (szerk.). I. Talajtani, Vízgazdálkodási és Növénytermesztési Tudományos Nap. „Talaj-víz-növény kapcsolatrendszer a növénytermesztési térben”. Debrecen, 2012. november 23. Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont, Talajtani és Agrokémiai Intézet, Budapest. Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő. 127-130.
- SIMON, L., GY. VINCZE, CS. VARGA, B. SZABÓ, J. KONCZ, 2012b. Passive phytoextraction of toxic elements from sewage sludge compost by *Salix viminalis* energy plants. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 47: 285-291.
- SIMON, L., M. MAKÁDI, G. VINCZE, B. SZABÓ, M. SZABÓ, T. ARANYOS, 2013a. Impact of ammonium nitrate and rhyolite tuff soil application on the photosynthesis and growth of energy willow. In: International Multidisciplinary Conference, 10th edition. May 22-24, 2013. Baia Mare, Romania – Nyíregyháza Hungary. (Eds.: UNGUREANU N., COTETIU R., SIKOLYA L., PÁY G.). 143-146. Scientific Bulletin, Serie C, Fascicle: Mechanics, Tribology, Machine Manufacturing Technology.. Besenyei Publishing House, Nyíregyháza.

- SIMON, L., B. SZABÓ, M. SZABÓ, GY. VINCZE, CS. VARGA, ZS. URI, J. KONCZ, 2013b. Effect of various soil amendments on the mineral nutrition of *Salix viminalis* and *Arundo donax* energy crops. European Chemical Bulletin 2(1). 18-21.
- SMART, B.L., CAMERON, K.D., 2012. Shrub willow. In: KOLE, Ch., JOSHI, Ch. P., SHONNARD, D.R. (eds.). Handbook of Bioenergy Crop Plants. CRC Press, Boca Raton, London, New York. pp. 687-708.
- 45/2007. (VI. 11.) FVM RENDELET a fás szárú energetikai ültetvények telepítésének engedélyezése, telepítése, művelése és megszüntetése részletes szabályairól, valamint ezen eljárások igazgatási szolgáltatási díjáról
- 50/2001. (IV. 3.) KORMÁNYRENDELET a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól

INVESTIGATION THE LONG-TERM EFFECTS OF MUNICIPAL SEWAGE SLUDGE COMPOST ON SALIX AND ARUNDO ENERGY CROPS

László Simon¹, Zsuzsanna Uri¹, György Vincze¹, Béla Szabó¹, József Koncz²

¹ College of Nyíregyháza, Technical and Agricultural Faculty, Department of Agricultural Science and Environmental Management, H-4400 Nyíregyháza, Sóstói str. 31/b, Hungary
E-mail: simonl@nyf.hu

² Institute for Soil Sciences and Agricultural Chemistry, Centre for Agricultural Research, Hungarian Academy of Sciences, H-1022 Budapest, Herman Ottó str. 15., Hungary

Open-field random block designed long-term experiment was set up on brown forest soil with willow (*Salix viminalis* x *triandra*, cv. Inger), grown as energy crop, to study the impact of municipal sewage sludge compost (MSSC) and willow ash (WA) on elemental composition and yield parameters of shoots. It was found that single application of MSSC and WA in moderate doses (15 t/ha or 600 kg/ha, resp.) have not influenced significantly the uptake of essential macro- (N, P, K, Ca, Mg) or microelements (Cu, Fe, Mn, Zn), or accumulation of toxic elements (As, Ba, Cd, Pb) in harvested willow shoots. The MSSC enhanced the wet total weight of harvested shoots significantly, by 34%. In case of WA soil application 17% yield increment was observed, while the combined treatment (MSSC+WA) had no significant effect. It was found that 2 times applied MSSC (2x25 t/ha) to the brown forest soil of giant reed (*Arundo donax* L.) have not influenced significantly the elemental composition of harvested shoots, expect of enhanced concentration of potassium. The twice application of MSSC did not affect significantly the yield (the total weight of harvested shoots) of giant reed.

SZENNYVÍZISZAPOK ÁLTAL TÖRTÉNŐ NEHÉZFÉM-TERHELÉSES KÍSÉRLETEK ÖSSZEFOGLALÓ ÉRTÉKELÉSE

Uzinger Nikolett, Draskovits Eszter, Rékási Márk

*MTA Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézet
1022 Budapest, Herman Ottó út 15.
E-mail: rekasi.mark@agrar.mta.hu*

ÖSSZEFOGLALÁS

A szennyvíziszapok és -komposztok egyik legjelentősebb hasznosítási formája a mezőgazdasági felhasználás. Az ilyen irányú alkalmazás gátló tényezői a felhasználást nem ösztönző szabályozási háttér, a felhasználói magatartás és a szennyvíziszap beltartalmi paraméterei. Kádár Imre itt összegyűjtött vizsgálataiban arra kereste a választ, hogy a hazai szabályozásban rögzített nehézfém határértékek túllépése milyen változásokat okozhat a talaj-növény rendszerben. Tartamjellegű tenyészedény kísérletében savanyú és karbonátos homok, savanyú és karbonátos vályog talajokon vizsgálta egy városi-ipari és egy bőrgyári szennyvíziszap hatását.

A szennyvíziszapokkal kijuttatott elemterhelések a jelenleg érvényes szabályozásban rögzített határértékeket sokszorososan meghaladták. Ennek ellenére az árpa szemtermése átlagosan közel 5-szörösére, a szalmatermés 3,5-szeresére nőtt a kontrollhoz képest. A szennyvíziszap egyik kezelésben sem idézett elő csökkenést a növény biomasszájának tömegében. A potenciálisan toxikus elemek (Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Zn) tekintetében Zn és a Cd kivételével nem történt jelentős koncentráció emelkedés a növényben. A szerzők szerint az ekkora nehézfém-terhelések a szemtermés élelmiszer célú hasznosítást nem tennék lehetővé, viszont a takarmány célú hasznosítás megvalósítható. A takarmányok minőségi követelményei szerteágazóak, azok minőségi előírásai állat- és korcsoport függőek.

BEVEZETÉS

Az Európai Unió első talajvédelmi irányelve a 86/278 EGK irányelv, ami a szennyvíziszapok termőföldön történő felhasználását szabályozza. A irányelv követelményeket határoz meg az iszap és a talaj minőségével, a talaj terhelhetőségével, a szükséges vizsgálatokkal, ellenőrzésekkel, valamint az adatszolgáltatással kapcsolatban. Mivel a direktíva figyelembe vétele és az abból fakadó jogharmonizáció a tagországok, így Magyarország számára is kötelező volt, megszületett az 50/2001. (IV. 3.) Kormányrendelet, amely keletkezése óta több módosításon átesve, a mai napig szabályozza a hulladék státuszú szennyvizek és szennyvíziszapok, szennyvíziszap komposztok mezőgazdasági felhasználását. A szennyvíziszapok és -komposztok egyik legjelentősebb hasznosítási formája a mezőgazdasági felhasználás. A látszólag egyszerű megoldás mellett és ellene is számtalan érv sorolható fel. A szennyvíziszapok a makro-, mezo-, és mikroelemek mellett a talajminőség szempontjából is fontos szervesanyagot is tartalmaznak. Kémiai hatásukon kívül a talaj fizikai tulajdonságait, vízgazdálkodását is kedvezően módosíthatják és növelhetik annak adszorpciós képességét is (WONG és SU, 1997; STABNIKOVA et al., 2005; JAYASINGHE et al., 2010; XU et al., 2012). Tartalmazhatnak

azonban nehézfémeket és egyéb toxikus anyagokat, amelyek a talajból kilúgzódással, növényi felvétellel, erózióval és deflációval távozhatnak (GOVE et al., 2001; BOUSSEN et al., 2013; SUCHKOVA et al., 2014), veszélyeztetve a táplálékláncot.

A mezőgazdasági hasznosítását gátló tényezők közé tartoznak a felhasználást alapotően nem ösztönző szabályozási háttér, a felhasználói magatartás és a szennyvíziszap beltartalmi paraméterei (tápanyag-, mérgező elem és káros anyag tartalom).

A szennyvíziszapok és -komposztok felhasználáskori határérték rendszerének szigorítása állandóan vitatott kérdés. Az ilyen jellegű változtatásokat azonban csak vizsgálati eredményekre alapozottan, a hazai talajviszonyainkra kidolgozottan szabad véghezvinni (KÁDÁR, 2007). Az 50/2001. (IV. 3.) Kormányrendelet tervezetben 2016. január 1-vel életbe lépő módosítása az iszap és komposzt mezőgazdasági hasznosítás esetén alkalmazandó beltartalmi határértékeinek a jelentős szigorítását célozta (DOMAHIDY, 2013), ami végül nem valósult meg.

Jelen közleményben a Talajtani és Agrokémiai Intézetben¹ folytatott, Kádár Imre munkásságához köthető nehézfém-terhelési kísérleteiből származó, összefoglaló jellegű eredmények kerülnek bemutatásra. Vizsgálataiban arra kereste a választ, hogy a hazai szabályozásban rögzített nehézfém határértékeknek a túllépése milyen változásokat okozhat a talajokban és a növényben.

Kísérletek ismertetése (KÁDÁR és MORVAI, 2007, 2008a, b, c, d, e, 2009a, b, c):

A. városi-ipari szennyvíziszap-terhelés vizsgálata gödöllői szennyvíziszappal tartam jellegű tenyészedényes kísérletben

B. bőrgyári szennyvíziszap-terhelés vizsgálata debreceni bőrgyári szennyvíziszappal tartam jellegű tenyészedényes kísérletben

A hazai talajviszonyok figyelembe vételével a 3 éves tenyészedény kísérleteket 4 talajváltozaton, azaz meszes és savanyú, valamint a homok és vályog talajokon, 20 kezeléssel (4 talaj×5 iszapterhelés) 4 ismétlésben, összesen 80 edénnyel állították be. A talajok és az iszapok tulajdonságait az 1. és 2. táblázat tartalmazza.

A kezelések 0; 7,5; 15; 30; illetve 60 g iszap sz.a./kg talajterhelést jelentettek 3 év alatt légszáraz tömegre számítva, amelyek 7,5; 15; 30; 60 t iszap sz.a./ha/év dózisnak számítanak. Az átlagos hazai szennyvíziszap hasznosítás 7-8 t_{sz.a.}/ha/év. Ezekkel a dózisokkal kijutatott elemtartalmak gyakran (városi-ipari szennyvíziszap: Zn-, Cu-, Cr-, Cd-mennyiségek, bőripari szennyvíziszap: Cr) többszörösen túllépték a szennyvíziszapokra vonatkozó határértékeket. A tesztnövény Jubilant tavaszi árpa volt, amelynek vetése megfelelt az ajánlott 500 csíra/m² vetésnormának. Az öntözés a növények igénye szerint történt.

Szennyvíziszapból származó nehézfém-terhelések hatása a talajra

A nehézfém-terhelések hatását a talajok összes elemtartalmával (cc. HNO₃+cc. H₂O₂-oldható „összes” elem, MSZ 21470-50:2006) és azok növények által felvehető frakciójával (NH₄-acetát+EDTA-oldható elem (LAKENEN és ERVIÖ, 1971)) jellemezték. A tömény savak a talajok „összes” elemtartalmának meghatározására alkalmasak, de önmagukban nem elégségesek ahhoz, hogy a biológiailag hozzáférhető fémfrakciók

¹ Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézet

1. táblázat: A kísérletben felhasznált talajok főbb tulajdonságai (Forrás: KÁDÁR és MORVAI, 2007, 2008a)

Vizsgált jellemzők	Mértékegység	Kovárányos barna erdőtalaj, savanyú homok (Nyírlugos)	Karbonátos homoktalaj (Örbottyán)	Mészlepedékes csernozjom, vályogtalaj (Nagyhőrcsök)	Barna erdőtalaj, savanyú agyagos vályog (Gyöngyös)
K_A		23–25	23–25	38–40	44–46
Humusz	%	0,5–0,8	0,6–0,8	2,6–3,0	3,0–3,5
$CaCO_3$ %	%	–	10–13	8–10	–
pH_{H_2O}		5,4–5,8	7,8–8,3	7,8–8,1	6,6–6,8
Al	%	0,62	0,76	2,54	3,69
Fe	%	0,58	0,76	1,97	2,47
K	%	0,13	0,13	0,45	0,81
Mg	%	0,11	0,97	1,11	0,53
Ca	%	0,09	4,83	3,46	0,71
P	mg/kg	274	389	894	1088
Mn	mg/kg	205	336	699	996
Na	mg/kg	72	114	208	292
S	mg/kg	62	194	277	306
Ba	mg/kg	29	31	121	226
Zn	mg/kg	19	21	60	96
Cr	mg/kg	11	13	36	50
Sr	mg/kg	7	70	56	41
Ni	mg/kg	6	9	28	35
Pb	mg/kg	5	6	13	21
Cu	mg/kg	5	8	17	27
Co	mg/kg	3	4	10	15
B	mg/kg	3	3	15	16
As	mg/kg	0,5	1,9	2,8	2,9
Cd	mg/kg	68	134	234	485

megállapíthatóak legyenek. A fémek mobilitásának, felvehetőségének vizsgálatára általában EDTA, DTPA, és ecetsavas kivonószereket alkalmaznak (PEIJNENBURG et al., 2007).

Az idézett munkákban salétromsavas feltárással becsülték az „összes” elem koncentrációt a jogszabályokban rögzített királyvizes feltárás helyett. Habár a szerzők szerint a salétromsavas feltárás nem alkalmas a talajterhelés szabatos megítélésére, hiszen a kalkulált szennyezés 60%-a volt visszamérhető, más szerzők szerint a salétromsavas és királyvizes feltárás az úgymond klasszikusnak számító toxikus nehézfémek talajbani vizsgálatára egyaránt alkalmasak, érdemi különbséget nem adnak (SASTRE et al. 2002). ŠČANČAR et al (1999) szerint azonban a királyvizes feltárás nem alkalmas az „összes” elemtartalom megítélésre, habár ők elsősorban üledékeket vizsgáltak. A kalkulált szennyezés visszamérésénél tapasztalható eltérések okai jórészt még tisztázatlanok.

2. táblázat: A tenyészedényes kísérletben felhasznált szennyvíziszapok tulajdonságai (KÁDÁR és MORVAI, 2007; 2008a)

Paraméter	Me.	Szennyvíziszapok		Határérték**
		városi*	börgyári	
pH		6,08	7,4	
szervesanyag tartalom	%	35	11	
N	%	2,84	3,17	
K	%	0,36	0,09	
Ca	%	5,36	1,15	
P	%	2,42	0,26	
Mn	mg/kg	421	204	
Sr	mg/kg	239	258	
Zn	mg/kg	6200	200	2500
Ba	mg/kg	1300	200	
B	mg/kg	49	48	
Cu	mg/kg	1900	100	1000
Cr	mg/kg	1800	5200	1000
Pb	mg/kg	355	117	750
Ni	mg/kg	159	8	200
As	mg/kg	6	8	75
Co	mg/kg	9	4	50
Mo	mg/kg	7	1	20
Se	mg/kg	8	0,3	100
Cd	mg/kg	35	0,8	10
Hg	mg/kg	16	0,6	10

* a városi szennyvíziszap elemkoncentrációi ipari terhelésre utalnak.

** 50/2001. Kormányrendelet szennyvíziszapokra vonatkozó határértékei mg/kg sza.

A tenyészedény kísérletekben a 3. év végén a városi-ipari szennyvíziszap alkalmazásakor a legkisebb dózisu iszapkezelés esetében – ami a NÉBIH adatainak sokéves átlaga alapján megfelel az átlagos szennyvíziszap hasznosítási dózishoz – egyetlen elem sem lépte túl a „B” talajszennyezettségi határértéket (6/2009. (IV. 14). Kv-VM-EüM-FVM együttes rendelet), függetlenül attól, hogy az iszap mezőgazdasági hasznosításra alkalmatlan volt. A börgyári iszap esetében viszont már a legkisebb dózishoz is volt határérték túllépés a Cr esetében. A provokatívnak számító nagyobb iszapidózisoknál a következő elemek haladták meg a „B” határértéket: Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Zn (3. és 4. táblázat). A növények általi felvehetőségnek a sorrendje az alábbi volt: Hg<Cr<Ba<Cd<Zn<Cu (3. és 4. táblázat).

A fenti elemek közül a Ba haladta meg legkisebb mértékben a szennyezettségi határértéket a városi-ipari szennyvíziszap kezelés hatására és csak a gyöngyösi talajon, hiszen a modell talajok közül ennek a talajnak volt a legnagyobb az „összes” Ba tartalma (203 mg/kg) szennyvíziszap terhelés nélkül is. Amíg a Cr és Ba növények

általi felvehető frakciója jelentéktelen volt, a Hg teljes mértékben oldhatatlan formában maradt. A Ba a savanyú, laza textúrájú talajokban könnyebben fölvehetővé válik, azonban nem jellemző, hogy toxikus mennyiségben halmozódjon fel a növényekben (KABATA-PENDIAS, 2010). Mind a két szennyvíziszap kezelés estében a Cr a savanyú homoktalajon volt a legmobilisabb, de az összes elemtartalom százalékában a növények által felvehető frakció kicsi volt (3. és 4. táblázat), egyetlen egyszer sem haladta meg 10%-ot. A krómvegyületek csak erősen savanyú talajokban ($\text{pH} < 5,5$) oldódnak, a közel semleges kémhatású talajokban a Cr kissé mobilis csupán, és a növények számára kevésbé hozzáférhető (KABATA-PENDIAS, 2010). A talajban leggyakrabban előforduló Cr^{3+} forma stabil, azonban a kémhatás és a redox viszonyoktól függően, átalakulhat Cr^{6+} -tá, ami sokkal mérgezőbb a Cr^{3+} -nál. (MCBRIDE, 1994; ADRIANO, 2001). A Cd, Zn, Cu növények által felvehető frakciója jelentősnek mondható, szinte mindegyik talajtípus esetében (3. táblázat).

A Cd a talajban számos formában előfordulhat: szervetlen és szerves kolloidokhoz kötve, oldott és oldhatatlan csapadék formájában, valamint talajásványokba zárva. A feltalajban veszélyes mértékben feldúsulhat, és a növények különösen a savanyú kémhatású talajból könnyebben felvehetik (CSATHÓ, 1994; SIMON, 1999). A talajba került Zn nagyon könnyen felvehető, ezért az egyik legveszélyesebb nehézfémé válhat magas koncentráció esetén. Emellett azonban a növények számára esszenciális mikroelem. A talajban általában Zn^{2+} formában van jelen, és leggyakrabban az Al- és Fe-oxidokhoz, agyagásványokhoz kötődik (SIMON, 1999). PONIZIWSKY et al (2006) szerint a Cu mobilitását meghatározó tényezők a következők: a talaj szerves anyag tartalma és a kémhatása, valamint a réz mennyisége, azonban a Cu mobilitása 7-8 pH értéken jelentősen csökken, viszont a növények által felvehető Cu mennyiség ALLEN (1993) szerint nem az összes elemtartalomnak a függvénye.

A nehézfémek mobilitásának, növényi felvehetőségének két legmeghatározóbb tulajdonsága a kémhatás és szervesanyag-tartalom. Az 5. táblázat tartalmazza ezen tulajdonságok az iszapkezelések hatására történő változását. Mind a két tulajdonságban szignifikáns változások igazolhatóak (KÁDÁR és MORVAI, 2008c, 2009c), amik befolyásolhatják a növények általi felvehető frakciót is.

Szennyvíziszapból származó nehézfém-terhelések hatása a tesztnövényre

A kísérlet első évében mind a városi-ipari mind a börtényi szennyvíziszap 30-40%-kal növelte a tavaszi árpa szem és szalmatermését. A hatás elsősorban a savanyú homoktalajon volt kifejezett. A városi-ipari szennyvíziszap kezelés esetében a 3. kísérleti évben a trágyázatlan kontroll talajokon a termékek mérsékeltek maradtak feltételezhetően a tápelem tartalom elszegényedés miatt, emiatt viszont a trágyahatások, sokkal látványosabbak voltak. A magtermés átlagosan közel 5-szörösére, a szalmatermés 3,5-szeresére emelkedett a kontrollhoz képest. Depresszió a kezelések hatására a biomasszában egyik szennyvíziszap kezeléskor sem jelentkezett (KÁDÁR és MORVAI, 2007, 2008a, b, c, d, e, 2009a, b, c).

A „B” talajszennyezettségi határértéket túllépő elemek közül a Ba dúsulás a szemtermésben és a szalma-pelyvában sem mutatkozott (6. táblázat), annak ellenére, hogy az alkalmazott iszap 1300 mg/kg Ba-ot tartalmazott. CHAUDRY et al (2007) szerint a csak a talaj 2000 mg/kg értéket meghaladó Ba szennyezettsége gátolja az árpa növekedését.

3.táblázat: A talajokban bekövetkező elemtartalom változások a városi szennyvíziszap kezelés hatására (KÁDÁR és MORVAI, 2008c, 2009c)

Talajok szár- mazási helye	Iszapterhelés t _{szárazanyag} /ha/év						„B” szennyezettségi határérték talajokra mg/kg
	15		30		60		
	A mg/ kg	B %	A mg/ kg	B %	A mg/ kg	B %	
Ba							
Gyöngyös	212	12	255	9	269	8	250
Cd							
Nyírlugos	0,7	71	1,1	64	2,0	70	1
Örbottyán	0,6	67	0,9	67	2,2	55	
Nagyhörcsök	0,8	63	1,6	63	2,8	61	
Gyöngyös	1,1	73	2,1	62	3,0	77	
Cr							
Nyírlugos	45	10	63	10,5	114	8,8	75
Örbottyán	36	2,5	49	2,9	112	2,1	
Nagyhörcsök	67	1	105	1,14	161	1,2	
Gyöngyös	78	1,7	126	1,8	170	2,2	
Cu							
Nyírlugos	36	81	57	72	106	84	75
Örbottyán	33	64	47	81	113	65	
Nagyhörcsök	51	59	90	66	147	73	
Gyöngyös	61	69	100	68	153	84	
Hg							
Nyírlugos	0,35		0,50		0,80		0,5
Örbottyán	0,22	<kh	0,38	<kh	0,92	<kh	
Nagyhörcsök	0,20		0,57		1,01		
Gyöngyös	0,16		0,54		0,84		
Zn							
Nyírlugos	133	77	208	64	371	76	200
Örbottyán	107	57	158	77	388	63	
Nagyhörcsök	173	58	311	64	513	67	
Gyöngyös	226	58	374	58	538	73	

A. „összes” elemtartalom mg/kg

B. növények által felvehető elemtartalom az „összes” elemtartalom %-ban.

kiemelt – túllépte a B szennyezettségi határértéket

4. táblázat: A talajokban bekövetkező elemtartalom változások az börgyári szennyvíziszap kezelés hatására (KÁDÁR és MORVAI, 2008a)

Talajok származási helye	Iszapterhelés $t_{\text{szárazanyag}}$ /ha/év							
	7,5		15		30		60	
	A mg/kg	B %	A mg/kg	B %	A mg/kg	B %	A mg/kg	B %
Cr („B” szennyezettségi határérték talajokra 75 mg/kg)								
Nyírlugos	52	7,7	108	9,3	216	7,9	355	8,5
Órbottyán	65	6,2	153	5,2	186	6,5	350	6,9
Nagyhörcsök	95	3,2	138	4,3	238	5,0	404	5,4
Gyöngyös	115	2,6	180	3,3	248	4,8	442	5,0

A. „összes” elemtartalom mg/kg

B. növények által felvehető elemtartalom az „összes” elemtartalom %-ban.

kiemelt – túllépte a B szennyezettségi határértéket

5. táblázat: A talajokban bekövetkező pH és H% változások a szennyvíziszap kezelésekre hatására (KÁDÁR és MORVAI, 2008a,c)

Talajok származási helye	Városi-ipari iszapterhelés $t_{\text{szárazanyag}}$ /ha/év				
	0	7,5	15	30	60
	pH_{H_2O}				
Nyírlugos	6,0	6,8	6,7	6,7	6,9
Órbottyán	8,1	8,0	7,8	7,6	7,2
Nagyhörcsök	8,0	8,0	7,9	7,8	7,6
Gyöngyös	6,8	7,0	7,0	7,0	7,2
Humusz%					
Nyírlugos	0,6	0,8	1,0	1,5	2,4
Órbottyán	0,7	1,0	1,1	1,6	2,5
Nagyhörcsök	3,0	3,1	3,4	4,2	4,9
Gyöngyös	3,1	3,3	3,5	4,4	5,3
Talajok származási helye	Börgyári iszapterhelés $t_{\text{szárazanyag}}$ /ha/év				
	0	7,5	15	30	60
	pH_{H_2O}				
Nyírlugos	5,6	7,8	7,9	8,1	8,1
Órbottyán	8,2	8,2	8,3	8,2	8,0
Nagyhörcsök	8,0	8,0	8,0	8,0	7,9
Gyöngyös	7,2	7,5	7,6	7,6	7,7
Humusz %					
Nyírlugos	0,7	0,8	0,8	0,9	1,2
Órbottyán	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2
Nagyhörcsök	2,8	2,8	3,0	3,2	3,4
Gyöngyös	3,2	3,3	3,4	3,3	3,8

A Cd nem számít esszenciális elemnek, arra az élő szervezetnek nincsen szüksége, azonban könnyen abszorbeálódik a föld alatti és feletti növényi részekben, valamint a talaj mikroorganizmusában. A Cd szignifikáns dúsulást mutatott a városi-ipari szennyvízkezelés hatására (Cd: 35 mg/kg) az árpa szalmájában és pelyvájában, valamint a szemtermésben (6. táblázat). A Cr az esetek többségében alig felvehető a növények számára, és nehezen transzlokálódik a növények föld feletti részeibe, így elsősorban a gyökerekben halmozódhat fel (ZAYED et al., 1998). Az eredmények alapján a városi-ipari (Cr: 1800 mg/kg), valamint a börtgyári szennyvíziszap (Cr: 5200 mg/kg) terhelés leginkább a savanyú homoktalajon növelte meg a szalma és a pelyva Cr tartalmát, azonban a tavaszi árpa szemtermésének a Cr tartalma a kontrollhoz képest egyik esetben sem változott (6. táblázat).

A Cu esszenciális elem a növények számára. Számos enzim működésében vesz részt, amelyek olyan folyamatokat határoznak meg, mint a fotoszintézis, légzés, vízvisszatartás, szaporodás, betegségekkel szembeni ellenálló képesség (KABATA-PENDIAS, 2010). A Cu növények általi felvétele nagyban függ magától a növény fajtától (GRUPE és KUNTZE, 1988). A tavaszi árpa szalma és pelyva melléktermésében a Cu tartalom a kontrollhoz képest statisztikailag igazoltan 2-3-szorosára nőtt, a szemtermésben a növekmény valamivel mérsékeltőbb volt, de a változás szignifikáns volt a városi-ipari szennyvíziszap kezelés hatására (Cu: 1900 mg/kg) (6. táblázat).

A Hg igen korlátozott oldhatósága a növények föld feletti részében is megmutatkozott, hiszen a Hg koncentráció mind a szalmában és pelyvában, mind a szemtermésben kimutatási határ alatti volt (6. táblázat), annak ellenére, hogy a városi-ipari szennyvíziszap Hg koncentrációja a 16 mg/kg volt. Habár a Hg gyökereken keresztül könnyen bejut a növények föld feletti részeibe. LAGERWERFF (1972) szerint 7 körüli pH értéknél a növények gyökerének Hg felvétele minimalizálódik. Ismert továbbá az is, hogy a növények könnyen abszorbeálják a Hg gőzt, így ha a talajból közvetlenül nem is, a talajból származó Hg gőztől könnyen szennyeződhet a növény (GROSHEVA és VORONSKAYA, 1999).

A tavaszi árpa Zn tartalma a városi-ipari szennyvíziszap hatására szignifikánsan megnövekedett mind a szalmában és a pelyvában, mind a szemtermésben (6. táblázat). Az előbbieken nagyobb volt a növekmény, mint a szemtermésben. A Zn növények általi felvehetősége gyakran egyenes arányban van a közeg összes Zn tartalmával (KABATA-PENDIAS, 2010).

A szerzők szerint az ekkora nehézfém-terhelések a szemtermés élelmiszer célú hasznosítást nem tennék lehetővé, viszont nem lehetne kizárni a takarmány célú hasznosítást. A takarmányok minőségi követelményei szerteágazóak, azok minőségi előírásai állat- és korcsoport függőek.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Természetesen a tenyészedény kísérletek, melyek elsősorban egy zárt, kontrollált rendszerben történő vizsgálatot tesznek lehetővé, önmagukban nem elegendőek ahhoz, hogy a szennyvíziszapok és –komposztok szántóföldi hasznosítása során kialakuló nehézfém-terhelések hatásai megállapíthatóak legyenek, viszont alkalmasak arra, hogy ezen anyagokból származó nehézfém szennyezés bizonyos szempont szerinti környezeti kockázatát becsülni lehessen, jelen esetben az elemek növények által felvehető frakciói által.

6. táblázat: A szennyvíziszap kezelés hatásai a tavaszi árpa elemtartalmára (KÁDÁR és MORVAI, 2008a, c, 2009c)

Talajok származási helye	Városi-ipari iszapterhelés t _{szárazanyag} /ha/év									
	0		7,5		15		30		60	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
<i>Ba mg/kg</i>										
Nyírlugos	11	0,4	11	0,4	11	0,3	9	0,2	8	0,1
Órbottyán	14	0,3	10	0,2	9	0,2	7	0,2	5	0,1
Nagyhörcsök	13	0,7	14	0,2	11	0,2	10	0,2	9	<0,1
Gyöngyös	15	1,2	14	0,9	14	1,1	13	0,8	10	0,6
<i>1: Cd mg/kg, 2: µg/kg</i>										
Nyírlugos	0,1	9	0,1	48	0,2	56	0,4	50	0,4	95
Órbottyán	<0,1	2	0,1	4	0,2	10	0,4	51	0,6	91
Nagyhörcsök	<0,1	6	<0,1	7	0,2	10	0,3	51	0,4	61
Gyöngyös	0,1	15	0,2	26	0,2	21	0,3	31	0,4	105
<i>Cr mg/kg</i>										
Nyírlugos	0,7	0,1	0,5	0,2	0,6	0,2	0,6	0,2	3,6	0,1
Órbottyán	0,5	0,2	0,6	0,2	0,6	0,2	0,9	0,2	0,8	0,2
Nagyhörcsök	0,5	0,2	0,6	0,2	0,7	0,2	0,7	0,2	1,1	0,2
Gyöngyös	0,3	0,3	0,3	0,2	0,6	0,1	0,5	0,2	0,7	0,2
<i>Cu mg/kg</i>										
Nyírlugos	5	8	10	10	10	10	10	10	17	12
Órbottyán	8	7	8	8	10	8	14	10	16	13
Nagyhörcsök	4	5	5	7	6	7	9	9	11	12
Gyöngyös	3	6	5	7	5	8	6	8	9	13
<i>Zn mg/kg</i>										
Nyírlugos	32	36	97	52	120	56	169	73	191	94
Órbottyán	51	30	87	42	138	51	155	73	252	96
Nagyhörcsök	32	28	61	44	98	45	183	68	261	98
Gyöngyös	39	36	76	45	103	49	122	62	171	102
Börgyári iszapterhelés t _{szárazanyag} /ha/év										
0		7,5		15		30		60		
<i>Cr mg/kg</i>										
Nyírlugos	1,0		1,2		2,2		1,7		3,1	
Órbottyán	0,4	<kh	1,0	<kh	1,7	<kh	1,6	<kh	2,0	<kh
Nagyhörcsök	0,6	<kh	0,8	<kh	0,8	<kh	1,1	<kh	1,1	<kh
Gyöngyös	0,7	<kh	0,8	<kh	0,7	<kh	0,8	<kh	2,5	<kh

1: szalma és pelyva, 2: szemtermés

Bár a nehézfémek talajbani viselkedésének jelentős irodalma van azonban a szennyvíziszapok és -komposztok hosszú távú hasznosításából származó nehézfémek környezeti kockázatának vizsgálata a mai napig indokolt az eltérő talajfizikai és -kémiai tulajdonságú talajokon és eltérő növénykultúrák esetében.

IRODALOMJEGYZÉK

- MSZ 21470-50:2006. Környezetvédelmi talajvizsgálatok. Az összes és az oldható toxikuselem-, a nehézfém és a króm (VI) tartalom meghatározása. Magyar Szabványügyi Testület
- 6/2009. (IV.14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről
- 50/2001. (IV.3.) Korm.rendelet (2001) a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól
- ADRIANO D.C. 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risk Assessments. 2nd edn, Springer-Verlag, Berlin.
- ALLEN H.E. 1993. The significance of trace metal speciation for water, sediment and soil quality criteria and standards. *Sci. Total Environ. Suppl.* 1:23–45.
- BOUSSEN S., SOUBRAND M, BRIL H, OUFELLI K, ABDELJAOUAD S. 2013. Transfer of lead, zinc and cadmium from mine tailings to wheat (*Triticum aestivum*) in carbonated Mediterranean (Northern Tunisia) soils *Geoderma* 192: 227-236.
- CHAUDRI A., MCGRATH S., GIBBS P. et al. 2007. Cadmium availability to wheat grain in soils treated with sewage sludge or metal salt. *Chemosphere* 66:1415–1423.
- CSATHÓ P. 1994. A környezet nehézfém szennyezettsége és az agrártermelés. Tematikus szakirodalmi szemle. Budapest: MTA TAKI.
- DOMAHIDY L. 2013. Szennyvíziszapra vonatkozó hazai szabályozás tervezet változásai. KSZGYSZ: Szennyvíziszap 2013 - Haladunk, de merre? 2013. május 30., Budapest. http://www.kszgyisz.hu/files/4313/7344/5767/Domahidy_Iszap_jogszabalyok.pdf
- GOVE L., COOKE C. M., NICHOLSON F. A., BECK A. J. 2001. Movement of water and heavy metals (Zn, Cu, Pb and Ni) through sand and sandy loam amended with biosolids under steady-state hydrological conditions. *Bioresource Technology* 78: 171-179.
- GROSHEVA, E., VORONSKAYA, G. 1999. Mercury Transport between atmosphere and soil: role of the plants. *Proc. 5th Conf. Mercury as a Global Pollutant, Rio de Janeiro, May 23–28*, p.175.
- GRUPE, M., KUNTZE, H. 1988. Zur Ermittlung der Schwermetallverfügbarkeit lithogen und anthropogen belasteter Standorte. 1. Cd und Cu, *Z. Pfl anzenernaehr. Bodenkdl* 151(5): 319-324.
- JAYASINGHE, G.Y., TOKASHIKI, Y., ARACHCHI, I.D.L., ARAKAKI, M. 2010. Sewage sludge sugarcane trash based compost and synthetic aggregates as peat substitutes in containerized media for crop production. *Journal of Hazardous Materials* 174: 700–706.
- KABATA-PENDIAS, A. 2010. Trace Elements in Soils and Plants, 4th Edition, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- KÁDÁR I. 2007. A talajszennyezés megítélése kutatói szemmel. *Agrokémia és Talajtan*. 56: 391-408.
- KÁDÁR I., MORVAI B. 2007. Ipari-kommunális szennyvíziszap-terhelés hatásának vizsgálata tenyészedény-kísérletben. *Agrokémia és Talajtan* 56: 333-352.
- KÁDÁR I., MORVAI B. 2008a. Bőrgyári szennyvíziszap vizsgálata tenyészedényes kísérletben. A Ca, Na, Cr elemek forgalma. *Növénytermelés* 57: 35-48.
- KÁDÁR I., MORVAI B. 2008b. Bőrgyári szennyvíziszap-terhelés hatása a K, Sr, S, P, Fe, Mn és Al elemek forgalmára különböző talajokon. *Növénytermelés* 57: 123-134.

- KÁDÁR I., MORVAI B. 2008c. Városi szennyvíziszap-terhelés hatásának vizsgálata tenyészé-
dény-kísérletben. II. Agrokémia és Talajtan 57: 97-112.
- KÁDÁR I., MORVAI B. 2008d. Városi szennyvíziszap –terhelés hatásának vizsgálata tenyészé-
dény-kísérletben. III. Agrokémia és Talajtan 57: 305-318.
- KÁDÁR I., MORVAI B. 2008e. Bőrgyári szennyvíziszap-terhelés hatása a Zn, Mo, Cd, Pb, As, Se
elemek forgalmára különböző talajokon. Növénytermelés 57: 291-304.
- KÁDÁR I., MORVAI B. 2009a. Városi szennyvíziszap-terhelés hatásának vizsgálata tenyészé-
dény-kísérletben. IV. Agrokémia és Talajtan 58: 91-104.
- KÁDÁR I., MORVAI B. 2009b. Bőrgyári szennyvíziszap-terhelés hatása a tavaszi árpa B, Ba, Ni,
Co, Cu elemeinek forgalmára tenyészé-
dény kísérletben. Növénytermelés 58(2): 41-57.
- KÁDÁR I., MORVAI B. 2009c. Városi szennyvíziszap-terhelés hatásának vizsgálata tenyészé-
dény-kísérletben. V. Agrokémia és Talajtan 58(2): 343-358.
- LAKANEN, E., ERVIÖ, R. 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant
available microelements in soils. Acta Gr. Fenn. 123. 223–232.
- LAGERWERFF, J. V. 1972. Lead, mercury and cadmium in environmental contaminants. in: Micro-
nutrients in Agriculture. Mortvedt, J. J., Giordano, P. P., and Lindsay, W. L. (eds.) Soil Science
Society of America, Madison, WI, 593-636.
- MCBRIDE, M.B. 1994. Environmental Chemistry of Soils. Oxford University Press, New York.
- PEIJNENBURG, W. J. G. M., ZABLOTSKAJA, M., VIJVER, M. G. 2007. Monitoring metals in
terrestrial environments within a bioavailability framework and a focus on soil extraction. Ecotox-
icology and Environmental Safety 67:163–179.
- PONIZOVSKY A.A., THAKALI S., ALLEN H.E. et al. 2006. Effect of soil properties on copper
release in soil solution at low moisture content. Environ. Toxic. Chem. 25:671–682.
- RÉKÁSI M., KÁDÁR I. 2008. Study of soil-plant interrelations on contaminated soil in a pot exper-
iment. Cereal Research Comm. 36:1355-1358.
- RÉKÁSI M., KÁDÁR I., FILEP T., LONCARIC, Z., RAGÁLYI P., KOVACEVIC V. 2010. Effect
of sewage sludge treatment on mobility and soil-plant transfer of Cu, Mn, Ni and Zn. In: 45th
Croatian Symp. on Agriculture Proc. 906-910. Eds.: Maric, S. and Loncaric, Z. Faculty of Agri-
culture, Osijek, Croatia. 2010.02.16-19.
- SASTRE, J., SAHUQUILLO, A., VIDAL, M., RAURET G. 2002. Determination of Cd, Cu, Pb and
Zn in environmental samples: microwave-assisted total digestion versus aqua regia and nitric acid
extraction. Analytica Chimica Acta 462(1): 59–72.
- ŠČANČAR, J., MILAČIČ, R., HORVAT M. 2000. Comparison of Various Digestion and Extraction
Procedures in Analysis of Heavy Metals in Sediments. Water, Air, and Soil Pollution 118(1):
87-99.
- SIMON L. 1999. Talajszennyeződés, talajtisztítás. Környezetügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató
KGMT-5. Budapest: Környezetgazdálkodási Intézet,
- SUCHKOVA N., TSIRIPIDIS I., ALIFRAGKIS D., GANOULIS J., DARAKAS E., SAWIDIS TH.
2014. Assessment of phytoremediation potential of native plants during the reclamation of an area
affected by sewage sludge. Ecological Engineering 69: 160-169.
- STABNIKOVA, O., GOH, W-K., DING, H-B., TAY, J-H., WANG, J-Y. 2005. The use of sewage
sludge and horticultural waste to develop artificial soil for plant cultivation in Singapore. Biore-
source Technology 96:1073–1080.
- WONG, J.W.C., SU, D.C. 1997. The growth of *Agropyron elongatum* in an artificial soil mix from
coal fly ash and sewage sludge. Bioresource Technology 59: 57–62.

- XU, J-Q., YU, R-L., DONG, X-Y., HU, G-R., SHANG, X-S., WANG, Q., LI, H-W. 2012. Effects of municipal sewage sludge stabilized by fly ash on the growth of Manilagrass and transfer of heavy metals. *Journal of Hazardous Materials* 217–218:58–66.
- ZAYED, A., LYTLE, C. M., QIAN, J-H., TERRY, N. 1998. Chromium accumulation, translocation and chemical speciation in vegetable crops. *Planta* 206(2): 293–299.

SUMMARIZING THE RESULTS OF SEWAGE SLUDGE EXPERIMENTS ON HEAVY METAL LOADS

Nikolett Uzinger, Eszter Draskovits, Márk Rékási

*Institute for Soil Sciences and Agriculture Chemistry, Centre for Agricultural Research,
HAS 1022 Budapest, Herman Ottó street 15. Hungary
E-mail: rekasi.mark@agrar.mta.hu*

One of the most significant methods of sewage sludge and sewage sludge compost utilisation is agricultural application on soil. However, the relevant regulations, the mistrust of the farmers and some parameters of the sewage sludge are interfering with this way of utilisation. Imre Kádár's experiments that are discussed in this work focused on the consequences of the application of sludge loads above regulation limits on soil-plant system. The long-term pot experiment examined the effect of communal-industrial and tannery sludge loads on acidic and calcareous sandy and acidic and calcareous loamy soils. The potentially toxic element contents in the sludge loads were many times higher than the limit values of the regulation. Notwithstanding, the grain and stem yield of barley increased on the average 5 and 3.5 times compared to the control, respectively. The sewage sludge loads did not cause any decrease in the above ground biomass of the barley in any treatments. With the exception of Zn and Cd the concentration of potentially toxic elements (Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Zn) did not increase significantly in the plant. According to the authors such element loads would not allow the utilisation of barley as food but it could be applied as a fodder. The quality standards of fodders are diversified and depend on animal and its life stage.

SZÉCHENYI 



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE