



AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search
<http://ageconsearch.umn.edu>
aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

A SZENNYVÍZISZAP-HASZNOSÍTÁS ENERGETIKAI ÉS EGYÉB LEHETŐSÉGEI

Sewage sludge utilization for energetic and other purposes

GABNAI Zoltán – GÁL Balázs Sándor

Összefoglalás

A fenntarthatósági kritériumok szem előtt tartása végett napjainkban előtérbe kerülnek az olyan technológiák és megoldások, amelyek hozzájárulnak a környezettudatos, energia-hatékony és anyagtakarékos hulladékgazdálkodási tevékenységhez. E szemléletet alapul véve a szennyvízre, és a kapcsolódó melléktermékekre nem csupán kötelezően ártalmatlanítandó anyagként, hanem potenciális nyersanyagként kell tekinteni. Cikkünkben kitérünk a szennyvíztisztítás és szennyvíziszap-termelés helyzetére és jellemzőire nemzetközi és hazai szinten. Az iszapkezeléshez kapcsolódó költségek magas aránya miatt fontos e költségek csökkentése, vagy olyan megoldások alkalmazása, amelyek a bevételek növelésével javítják a jellemzően veszteséges hulladékgazdálkodási tevékenység gazdaságosságát. Az iszap-hasznosításhoz kapcsolódóan két technológiai megoldásra végeztünk kalkulációkat – a méretezés kérdéskörére helyezve a hangsúlyt – az elérhető szakirodalmi adatokat, kísérleti tapasztalatokat figyelembe véve, konkrét telepi adatokra alapozva. Írásunkban részletesen foglalkozunk a biogáz-előállítás követő energiatermelés során keletkező CO₂-kibocsátás csökkentésére irányuló innovatív algás rendszer lehetőségeivel, továbbá részletezzük a

keletkező szennyvíziszap környezettudatos felhasználására módot adó megoldást, az energianövények bevonása mellett. Következtetéseinkben az említett technológiai elemeken túl egyéb, energetikához kapcsolódó lehetőségekre hívjuk fel a figyelmet.

Kulcsszavak: hulladék-gazdálkodás, melléktermék-felhasználás, szennyvíztisztítás, szennyvíziszap, biogáz, alga, széndioxid, szennyvíziszap-komposzt

Abstract

Bearing in mind the sustainability criteria caused technologies and solutions that support environmentally aware, energy-efficient and material-efficient waste management to come into view. Based on this way of thinking, sewage and related by-products shouldn't be seen only as matter to dispose, but as potential raw materials. In our article we will discuss the state and features of wastewater cleaning and sewage sludge production, at both a national and international level. Because of the high costs of sludge treatments, it's important to reduce these expenses, or to use solutions that improve the typically unprofitable waste management's efficiency by increasing incomes. We made calculations about two technology solutions in the present article, related to sludge utilization - concentrating on scaling - taking the

available literature and experimental results in mind, based on data of a concrete plant. There is a detailed section in the article about the possibilities of an innovative algae system that lowers the CO₂ output in power generation following biogas generation, and we explicate a solution for the usage of sewage sludge in an environmentally conscious way, using energy plant species. In our conclusions, apart from the mentioned technology elements, we draw attention to other

solutions related to energetics. The publication was supported by the SROP-4.2.2.B-15/1/KONV-2015-0001 project. The project has been supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

Keywords: waste management, by-product utilization, wastewater treatment, sewage sludge, biogas, algae, carbon dioxide, sewage sludge compost

„Ne követeljünk többet a Földtől.
Inkább kezdjünk többet azzal, amit a Föld nyújt.”
/Gunter Pauli: A Kék Gazdaság/

Bevezetés

A gazdasági fejlődéssel és életszínvonal-növekedéssel párhuzamosan folyamatosan növekszik a termelői szennyvíz és a felhasznált energia mennyisége, emellett szigorodnak a szennyvíztisztításra, -kezelésre vonatkozó jogszabályok is. A keletkező szennyvíz tisztítására, kezelésére napjainkban technológiák széles köre ismert és alkalmazott, a hagyományos, legszélesebb körben alkalmazott technológiáktól kezdve az innovatív, újszerű, illetve természetközeli szennyvíztisztítási megoldásokig. Ezek mindegyikét érdemes energetikai, illetve gazdaságossági szempontból is megvizsgálni, ugyanis a biológiai tisztítási eljárásokhoz számos energetikai megoldás kapcsolódhat. Ily módon előtérbe kerülnek az olyan megoldások és technológiák, amelyek az elvárt tisztító hatás mellett lehetővé teszik a működési, üzemelési költségek csökkentését, vagy akár további megtakarítások, bevételek realizálására adnak lehetőséget. A szennyvíz energetikai hasznosítása lehetővé teszi egyúttal a szennyvíztelep energia-igényének csökkentését, vagy akár piacépes végtermékek előállítását is. Erre szolgálhat jó példaként a szennyvíz tisztítása során keletkező szennyvíziszap különböző módon történő hasznosítása.

A szennyvíztisztítás fontosabb jellemzői nemzetközi és hazai szinten

Az 1. számú táblázatban látható módon, a szennyvíztisztító telepek számát tekintve Európa jár az élen, nagyságrendileg 47 ezer db-os mennyiséggel (FAO, 2015, I1). A kontinensek közül Amerika a második, míg az országok rangsorában az Amerikai Egyesült Államok területén találhatóak szennyvíztisztító létesítmények a legnagyobb számban. A Föld szennyvíztermelése összességében véve a FAO becslése szerint nagyságrendileg 294 milliárd m³, míg a kezelt mennyiség 164 milliárd m³, az összes mennyiség 56 %-a.

A kezelt mennyiség és az összes mennyiség arányait tekintve igen jelentős eltérésekkel találkozhatunk az egyes kontinensek esetében. A tisztított, kezelt mennyiség arányát illetően Ausztrália és Európa jár élen. Elmondható továbbá, hogy kontinenseken belül is jelentős eltérések vannak az egyes országok között. Megközelítőleg a keletkező szennyvízmennyiség teljes egészének tisztítása történik Kanadában, és az európai kontinensen Németországban, az Egyesült Királyságban és Franciaországban (FAO, 2015, I2 adatai alapján).

1. táblázat: A szennyvíztisztítás fontosabb jellemzői a Földön

Kontinens	Ország	Telepek száma	Összes mennyiség (milliárd m ³)	Kezelt mennyiség (milliárd m ³)
Afrika		2 000 db	13,0	7,0
ebből:	DAK	923 db	3,5	1,9
	Egyiptom	372 db	7,1	4,0
Amerika		21 000 db	97,0	56,0
ebből:	USA	16 583 db	60,4	41,0
	Mexikó	2 289 db	7,5	3,1
	Kanada	1 265 db	6,6	5,6
Ázsia		8 000 db	130,0	62,0
ebből:	Kína	3 272 db	38,0	26,6
	Japán	2 148 db	16,9	11,6
Európa		47 000 db	52,0	37,0
ebből:	Németország	9 933 db	5,3	5,2
	Egyesült Királyság	8 035 db	4,1	4,0
	Oroszország	7 836 db	12,3	n.a.
	Lengyelország	4 253 db	2,3	1,4
	Franciaország	3 280 db	3,8	3,7
	...			
	Magyarország	593 db	0,2	n.a.
Ausztrália		580 db	2,1	2,0

Forrás: FAO, 2015 adatai alapján

A kezelt szennyvíz fentiekben feltüntetett mennyiségét, és a telepek számát tekintve összefüggésként elmondható, hogy Amerikában és Ázsiában a nagyobb telepek, míg Európában a kisebb kapacitású telepek dominálnak. Magyarországon a szennyvíztisztító telepek száma megközelíti a hatszázat. Hazánkban 1847-ben adták ki az első csatornázási szabályrendelet, egyik első lépésként a tervszerű és tudatos hálózatkiépítés felé. A szennyvíz-ágazat hazai fejlődését foglalja össze az alábbi, 2. számú táblázat.

2. táblázat: A szennyvíztisztítás magyarországi fejlődése

1847	Az első csatornázási szabályrendelet kiadása (Pestre vonatkozóan)
1869	Az első csatornázási terv elkészülése
1908	829 km kiépített csatornarendszer az országban
1948	Magyarország 58 városa közül még csak 23-ban van szennyvízcsatorna kiépítve
1960	Elkészülnek az első eleveniszapos rendszerek (Sajószentpéter, Budakeszi, Dél-Pest)
1985-től	Nagyvárosok szennyvíztisztítási programja, korszerű külföldi technológiákkal
Jelenleg	Több mint 44 ezer km szennyvízcsatorna (csatornázottság: lakások 75%-a)

Forrás: RABI, 2012 és KSH, 2015 (I3) alapján

Napjainkban Magyarországon a szennyvíztisztítás során az összes szennyvíz-mennyiség háromnegyedének tisztítását a legkomolyabb elvárásoknak is megfelelő, III. tisztítási fokozattal végzik, kiegészítve a mechanikai és biológiai tisztítási lépcsőt (KSH, 2015).

Fontos tény, hogy a szennyvíztisztító telepeken a szennyvízkezelés során jelentkező összes (működési) költségen belül igen magas a szennyvíziszap-kezeléshez és -gazdálkodáshoz kötődő költséghányad. Az egyes telepeken LEBLANC et al. (2008) kimutatásai alapján ennek mértéke jellemzően 30-50%. Ezt alapul véve fontos célként jelölhető meg a szennyvíziszap-felhasználás hatékony, egyben környezettudatos módszereinek elősegítése és ösztönzése, amelyek akár jelentős mértékben javíthatják a gazdaságosságot – habár köztudott, hogy a hulladékgazdálkodási tevékenység jellemzően veszteséges kimenetelű.

A szennyvíziszap (szilárdfázis) a különböző eredetű szennyvizek tisztítása, kezelése során a technológia végén visszamaradó, nagyobb szárazanyag-tartalmú másodlagos anyag (SINGH et al, 2008). Ami e hulladékfajta, vagyis a keletkező szennyvíziszap mennyiségét illeti, országoként igen eltérő egy főre vetített kilogrammonkénti értékekkel lehet számolni.

Az alábbi, 3. számú táblázatban megfigyelhető értékek alakulását több tényező is befolyásolja. Környezeti szempontból sok esetben valószínűleg éppen a magas értékek jelentik a környezettudatos szennyvíztisztítási tevékenység meglétét, ugyanis hiányzó tisztítókapacitás esetén – mint Afrika és Ázsia jelentős részében – értelemszerűen szennyvíziszap sem keletkezik, mint a tisztítási folyamat végén keletkező másodlagos anyag, vagy nyersanyag. A magas érték utalhat az adott ország lakosainak magas egy főre jutó szennyvíz-termelésére is, ugyanakkor egyben azt is jelenti, hogy a magasabb fajlagos értékekkel rendelkező országban minden bizonnyal fejlettebb tisztítási és kezelési technológia van kiépítve, ily módon nagyobb mennyiségű iszap keletkezik, amit a technológia végén különböző célokra lehet hasznosítani.

3. táblázat: Különböző országok egy főre vetített szennyvíziszap-termelése

Rangsor	Ország	Érték (kg/fő/év)	Rangsor	Ország	Érték (kg/fő/év)
1	Luxemburg	41	21	Kanada	16
2	Koreai Köztársaság	34	26	Japán	13
3	Németország	30	27	Írország	10
4	Dánia	28	28	Lengyelország	9
5	Svájc	28	29	Magyarország	9
6	Ausztria	26	39	Belgium	8
7	Svédország	25	41	Ausztrália	6
10	USA	24	44	Görögország	3
12	Norvégia	23	45	Portugália	3
13	Hollandia	22	46	Izland	1

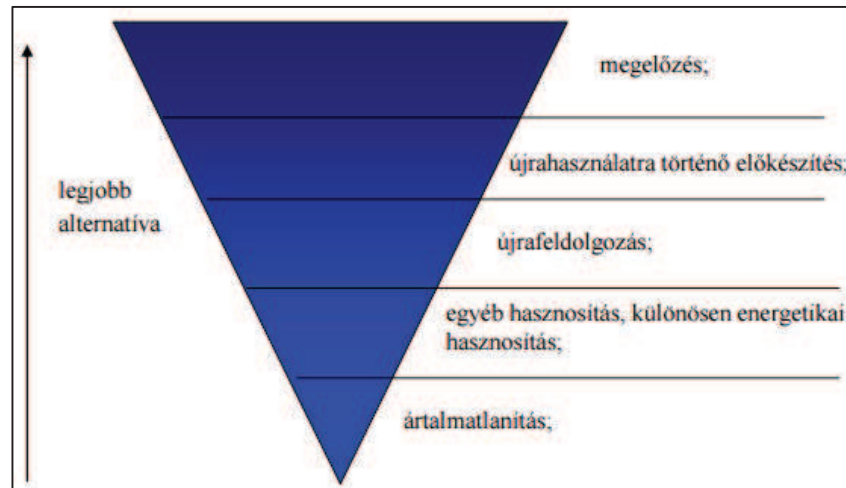
Forrás: I4, SASI Group (Univ. of Sheffield) és NEWMAN (Univ. of Michigan), 2006 adatai alapján

A szennyvíziszapot sok esetben környezeti szempontból ártalmasnak ítélik meg. E megközelítés bizonyos esetekben helyes lehet (pl. magas toxikus anyag-tartalom, nehézfém-tartalom, patogén szervezetek és mikroorganizmusok), azonban a keletkező szennyvíziszap komoly hányadánál a problémák kiküszöbölhetőek a különböző technológiai elemek alkalmazásával.

A káros, patogén szervezeteknél és szerves anyagoknál egyik – egyre általánosabban alkalmazott – megoldás a szennyvíziszapból megfelelően kialakított fermentorokban történő

biogáz-termelés, majd a megtermelt biogáz közvetlen, vagy közvetett módon történő hasznosítása például hőtermelés és/vagy villamos áram-termelés céljából.

Hazánkban a Központi Statisztikai Hivatal nyilvántartása alapján évente 450-500 millió m³ kommunális szennyvíz tisztítása történik a közüzemi szennyvíztisztító telepeken. Ehhez kapcsolódóan az egy főre jutó átlagos szennyvíziszap-termelés (a 3. számú táblázatban látható módon) 9 kg/fő/év. A szennyvíztisztítási tevékenységgel kapcsolatos újrahasznosítási követelményként fogalmazhatjuk meg a szennyvízben megjelenő, hasznosítható mikro- és makroelemek ésszerű felhasználására való törekvést, amely összhangban van az Országos Hulladékgazdálkodási Tervben (2014-2020) megfogalmazott célkitűzésekkel (1. számú ábra):



1. ábra: A hulladékgazdálkodás hierarchiája

Forrás: I5

Az Európai Közösség külön irányelvben fogalmazta meg a 2000 lakosegyenérték szennyezőanyag-terhelés feletti települések kötelezettségeit a szennyvíz-gyűjtésre és tisztításra vonatkozóan, amelyről a Nemzeti Település Szennyvízelvezetési és -tisztítási Megvalósítási Program szól, a vonatkozó rendelettel együttesen (VM, 2010). A 2000 lakosegyenértéknél kisebb szennyezőanyag-terhelésű települések esetében számos megoldás létezik a környezettudatos tisztító tevékenység megvalósítására (GRANT et al, 2009).

A szennyvíztisztítási tevékenységből, mint kötelezettségből egyenesen következik, hogy egyre nagyobb mennyiségben keletkezik a másodlagos anyagként kezelt szennyvíziszap. A lehetséges alternatívák előtt fontos megemlíteni, hogy ezek a különböző technológiai elemek sok esetben ugyanúgy alkalmazhatók, beépíthetők a hagyományos rendszerekbe is, mint az újonnan épített, legmodernebb tisztító telepeknél – akár a tisztítási folyamat előtt, közben, vagy az azt követő szakaszban.

Magyarországon a szennyvizek és szennyvíz-iszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályait foglalja magában a 40/2008. (II. 26.) kormányrendelet, amely a korábbi vonatkozó rendeletet, az 50/2001. (IV. 3.) kormányrendeletet módosította. A módosítás elsődlegesen a szennyvíziszap komposzt témakörét érinti, eszerint: a szennyvíziszap komposzt olyan szennyvíziszap, amelyhez a 40/2008. (II. 26.) kormányrendelet előírásainak megfelelő minőség elérése érdekében biohulladékot és ásványi eredetű adalékokat keverték, és az a külön jogszabály szerinti komposztáló telepen került előállításra.

Anyag és módszer

A szennyvíziszap-hasznosításra vonatkozó, releváns szakirodalom, továbbá az elérhető online adatbázisok, nyilvántartások szolgálták a konkrét alapadatokon alapuló kalkulációink elvégzésére, és a reális következtetések levonása céljából.

Az iszaphasznosítási lehetőségek bemutatásán túl két technológiai lehetőség alkalmazására irányulóan vázolunk fel konkrét alternatívát, a szennyvíztisztítási tevékenység fejlesztése, valamint költséghatékony üzemelésének elősegítése céljából. Mindezen tevékenység során kiemelten fontos az adottságoknak és körülményeknek megfelelő technológiai elemek rendszerbe integrálása. Kalkulációkat végzünk a Debreceni Szennyvíztisztító telep alapadataira vonatkozóan, amely során meghatározzuk, hogy milyen méretezés mellett oldható meg a keletkező szén-dioxid passzíválása, továbbá milyen kiegészítő jellegű, energetikai megoldásokat lehet rendszerbe építeni az iszapmennyiség hasznosítására.

Mivel a tisztított szennyvíz minőségi paramétereit illetően kielégíti a hazai és Európai Unió elvárásait, így módon az algás rendszer tisztító funkciójára vonatkozóan nem végeztünk kalkulációkat – habár tisztító hatás még ekkor is érvényesül.

Az algás rendszer méretezését a gázmotorokban keletkező füstgáz CO₂-tartalmának egy részének hasznosítására végeztük el.

A Debreceni Szennyvíztelep által megadott fontosabb alapadatok:

biogáz mennyisége, kihozatal: 4000-5500 Nm³/nap (~1 734 ezer Nm³/év)

biogáz összetétele: 58-62% metán (CH₄), 27-31% szén-dioxid (CO₂), 1% egyéb gázok

biogáz fűtőértéke: 23,2 MJ/Nm³

(Forrás: Debreceni Vízmű)

A szennyvíziszap energianövény-termő területen történő hasznosításához felhasznált átlaghozam, elérhető többlethozam adatokat szintén a releváns szakirodalom alapján határoztuk meg, az elérhető szám adatok esetében átlagokat/középtételeket alkalmazva. BORKOWSKA et al. (2012), WRÓBLEWSKA et al. (In: KURUCZ et al., 2014) vizsgálatai, valamint SIPOS (2012) kísérletei alapján az átlagos termőterületeken megtermelhető sida, és olasz nád hozamok esetében az éves betakarítható mennyiséget tekintve 10-15 abszolút száraz tonna feltételezése reális lehet. Kalkulációinkban ennek középértékét vettük, 12,5 száraz tonna megtermelését éves szinten.

A szennyvíziszap-komposzt kijuttatás következtében a szakirodalomban megjelölt többlethozamokat figyelembe véve, számításainkban 50%-os hozamnövekedést feltételeztünk az évek során, 10-20 százaléknyi „biztonsági tartalékot” beépítve a számításokba.

A széndioxid-passzíválás algás tavakban történő tervezésekor különböző szempontok szerint történhet a méretezés megállapítása: CO₂-mennyiség alapján, vagy a szükséges tisztítási kapacitás (szennyvízben maradó makroelemek mennyisége) alapján. Utóbbinál átlátszó víz szükséges (megközelítőleg 50-60 cm-es maximális vízmagasság mellett) a megfelelő fotoszintetikus aktivitás érdekében, így az utóülepítő tavakba szánt, már megtisztított szennyvíz szeparálása szükséges, amelynek költsége relatíve magas. Amennyiben azonban így módon az algás tavakban sikeresen történik a biomassza-termelés, úgy – amellet, hogy tisztább víz keletkezik – az esetleges szeparálás költségét várhatóan meghaladná a megtermelt alga értéke.

A megtakarítások lehetséges nagysága a rezsicsökkentés hatására csökkent, újbóli energiaár- és tisztítási tarifák emelkedésekor azonban a megtérülési idők is a változás mértékének megfelelően alakulnának.

A Debreceni Szennyvíztelep iszap- és gázvonala, annak jellemzői és részletei az 1. számú mellékletben található.

Eredmények

A szennyvíziszap hasznosítása nemzetközi és hazai szinten

A szennyvíziszap elhelyezésben jelentős változások történtek az elmúlt évtizedekben. 1998-at megelőzően a szennyvíziszapokat a tengerekben ártalmatlanították, vagy mezőgazdasági területen helyezték el. Az azt követően meghozott európai jogszabályok (Urban Waste Water Treatment Directive: UWWTD) 1998 óta tiltják a szennyvíziszapok tengerekben történő elhelyezését. Ennek következtében a szennyvíziszapok jelentős része (35-45%) került a hulladéklerakókba (RÓZSÁNÉ SZŰCS, 2013). A hasznosítási arányok megváltozása kedvező módon az utóbbi évtizedben az újrahasznosítás felé indult el, és potenciális alapanyagként tekint a szennyvíziszapra.

A szennyvíziszap-gazdálkodással és -hasznosítással, valamint az erre vonatkozó új megközelítésekkel kapcsolatos Európai Unióspolitikát (kitérve az „End-of-waste” kritériumra), a kapcsolódó jogszabályi környezetet és a vonatkozó sztenderdeket, vizsgálati/elemezési módszereket foglalja össze cikkében MININNI et al. (2015) és CIEŚLIK et al. (2015). Tanulmányukban kitérnek az egyes hasznosítási módokkal, előállított termékekkel és anyagokkal szemben támasztott, országonként különböző paraméterekkel jellemezhető követelményekre és előírásokra, amelyek esetenként döntően meghatározzák a lehetséges felhasználási irányokat.

A szennyvíziszap-hasznosítás környezettudatos módon kínál lehetőséget a fenntartható anyag- és energiagazdálkodás elősegítésére, az eljárások pozitív energiamérlege, és a hulladékok újrafelhasználása révén (CAOA et al, 2012). Egy másik megközelítést képvisel tanulmányában YOSHIDA et al. (2013), amelyben a szennyvíziszap életciklus-elemzésének fontosságát, sajátosságait és esetleges buktatóit, hiányosságait foglalja össze, továbbá kitér az alternatív iszapkezelés környezeti szempontból jelentős hatásainak és externáliáinak számszerűsítésének, értékelésének fontosságára is.

Energetikai és egyéb hasznosítási lehetőségek

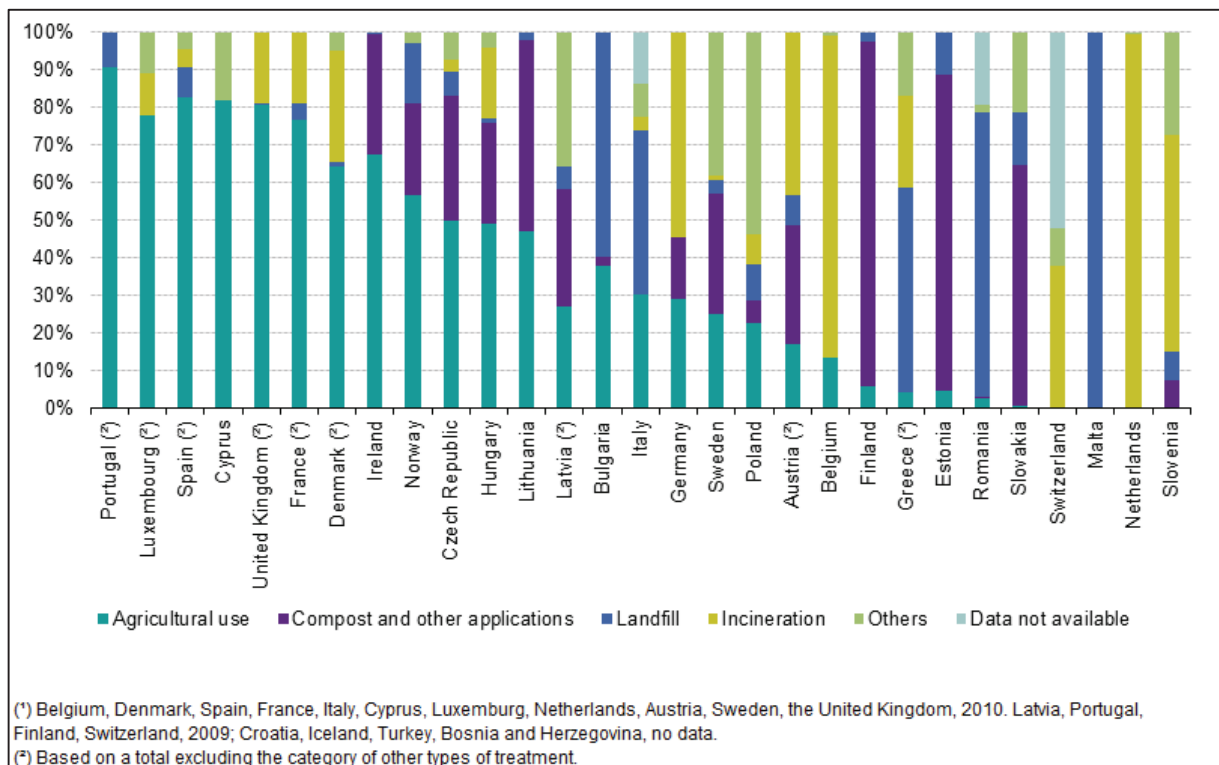
Az iszaphasznosításra a szennyvíztisztítás szerves részeként érdemes tekinteni, amelynek felhasználása az adott ország, illetve terület sajátosságaitól, körülményeitől függ. A technológiák széles köre ismert, az általánosan alkalmazott komposztálástól és biogáz-termeléstől kezdve a termikus eljárásokon át (pl. pirolízis, gáztermelés különféle alapanyagokkal, akár élelmiszer-hulladékkal történő keverést követően) a cementgyártásban (LIN et al., 2012), és hidrogén-termelésben történő felhasználásig (FYTILI et al, 2008; KIM et al, 2004; IACOVIDOU et al, 2012). SAMOLADA et al. (2014) kutatásában egy adott ország adottságainak és körülményeinek megfelelő iszaphasznosítási technológia/technológiák kiválasztását vizsgálta, az „iszapból energiát” szemléletet alapul véve.

Az energiatermeléshez kapcsolódó megoldások a következők lehetnek:

1. szennyvíziszap-hasznosítás (szilárd frakció)
 - biogáz-előállítás anaerob fermentáció útján
 - felhasználás tüzelőanyagként (égetés, nedves oxidáció, pirolízis, brikettálás)
 - felhasználás hidrogén-termelés céljából
2. algatermesztés a szennyvíz híg frakcióján
 - biogáz-előállítás anaerob fermentáció útján
 - felhasználás bioüzemanyag-gyártás céljából
3. utótisztítás energetikai célból: szikkasztás fás szárú energetikai ültetvényen
 - tüzelési célú alapanyag előállítása
4. energetikai alapanyag-termesztés gyökérmezős rendszer által
 - tüzelési célú alapanyag előállítása.

(BAI et al, 2014; FYTILI et al, 2008 és KIM et al, 2004 alapján)

Az EUROSTAT legfrissebb nyilvántartása alapján (a 2. számú ábrán látható módon) országonként igen eltérő az egyes hasznosítási módok aránya.



2. ábra: A kommunális szennyvíztisztítókból származó szennyvíziszap ártalmatlanításának módjai az EU országokban, 2011

Forrás: EUROSTAT, 2015, I6

Az Európai Unióban a legszélesebb körben alkalmazott iszap-hasznosítási, iszapkezelési megoldások a következők: mezőgazdasági hasznosítás különféle formákban, hulladéklerakóba történő szállítás, talajjavítási és talajremediációs célból történő kijuttatás, égetés és egyéb újszerű módszerek.

A külföldi szakirodalomból ismert, hogy a kezelt szennyvíziszapok – megfelelő mennyiségben a talajba kijuttatva – kedvező hatást gyakorolnak az energianövények növekedésére és hozamára (LABRECQUE et al., 2003). A szennyvíziszap kijuttatása, és megfelelő

energianövények megválasztása által lehetőség nyílik az olyan területek művelésbe vételére, amelyek egyébként nem, vagy korlátozottan hasznosíthatók (I7).

A szennyvíziszapot, mint alapanyagot tartalmazó termékek energianövény-termő területeken történő alkalmazására több nemzetközi példa ismert. Ezen növények között egyaránt megtalálhatóak a fás szárú és a lágyszárú energianövények. LABRECQUE et al. (2003) alapján a szennyvíziszap – megfelelő mennyiségű talajba juttatás mellett – kedvező hatást gyakorol az energianövények hozamára. A növények a szennyvíziszapból jelentős mennyiségű nitrogén felvételére képesek, amely elősegíti a nagyobb hozam elérését (Simon et al., 2000).

SIPOS (2012) vizsgálatában a szennyvíziszap-komposzt energianádra való hatását vizsgálta. Megállapítása szerint az energianád 50 t/ha szennyvíziszap-komposzt kijuttatása mellett éri el a legnagyobb szárazanyag-hozamot (65%-os össz tömeg-növekedés), míg ennél kevesebb mennyiség alkalmazásával alacsonyabb hozam érhető el, magasabb dózisban (100 t/ha kijuttatott mennyiség mellett) viszont már növekedésgátló hatás jelentkezhet (4%-os hozamcsökkenés) a kontroll, vagyis iszapkijuttatás nélküli parcellákhoz képest. A sida energianövény esetében a kijuttatandó mennyiség NABEL et al. (2014) kísérletei alapján hasonló nagyságrendű, 40 t/ha. A szennyvíziszap-tartalmú anyagok kijuttatása számos növényfaj intenzív növekedését elősegítheti, amelyek tolerálják a relatíve magas víztartalmat és tápanyagot, ilyen lehet például a fehér fűz (*Salix viminalis* L.), a csicsóka (*Helianthus tuberosus* L.), vagy a sida (*Sida hermaphrodita* R.) is – utóbbi jelentős mennyiségű nehézfém felvételére képes a szennyezett talajból, ily módon alkalmas a talajok rekultivációjára is. Utóbbi növény szennyvíziszapon történő termesztését vizsgálták BORKOWSKA et al (2003), a növényeket 50 cm vastagságú szennyvíziszap-rétegbe vetve és ültetve. A vizsgálat eredményeként megállapításaik a következők: a kísérleti időszak végére a sida-termesztés hatása pozitív változás eredményezett a táptalaj, vagyis jelen esetben a szennyvíziszap szerkezetében; egységnyi területre vetítve nagyobb tőszám mellett nagyobb mennyiségű kobalt, vas és nitrogén szárba történő felvétele történt; vegetatív szaporítási mód mellett nagyobb mennyiségű vas felvétele történt, valamint magasabb átlagosan hosszabb szárú állomány alakult ki.

Megfelelő megoldás lehet a magas nehézfém-tartalommal rendelkező szennyvíziszap energianövényekre való kijuttatása, amely akár jelentős mértékben képes az egyéb tápanyagok mellett a nehézfém-tartalom csökkentésére is. Ezzel kapcsolatosan több kísérlet irányult arra vonatkozóan, hogy milyen mértékben képes egy-egy lágyszárú energianövény csökkenteni a talaj, illetve a szennyvíziszap nehézfém-tartalmát, és mindeközben milyen mértékű (többször) biomassza-hozamot képes produkálni. Ily módon két előny egyesítésére adódik lehetőség: egyrészt a növény csökkenti a káros nehézfém-tartalmat, másrészt pedig a keletkező biomassza energetikai célból válik felhasználhatóvá, javítva a tisztítási tevékenység gazdaságosságát. A szennyvíziszap – elsősorban a nem élelmezési célú területeken – a műtrágyák egyfajta alternatívájaként is felfogható (NABEL et al. (2014).

PSZCZÓLKOWSKA et al. (2015) tanulmányában több, a különféle energianövények szennyvízzel, vagy szennyvíziszappal történő tápanyag-utánpótlásával foglalkozó cikk tanulságait foglalja össze. A cikk szerint a szennyvíziszap-kijuttatás mellett – amely sok esetben a tápanyag-utánpótlás mellett a talaj pH-ját is javítja – a sida energianövény hozama átlagosan 9-11 tonnányi száraz biomassza. Az iszapból származó tápanyagokat, mikro- és makroelemeket a fűzfajok is hatékonyan hasznosítják, és 20 t/ha-os mennyiség kijuttatása mellett kedvező eredményeket kaptak a miscanthus (Kínai-nád) esetében is, míg más kutatásban 60 tonnát meghaladó mennyiséget is eredményesen alkalmaztak, a hagyományos műtrágyák

alternatívájaként. A műtrágya kijuttatás (N-P-K, 90:70:90 kg/ha mennyiségben) 96%-os hozamnövekedést, míg a 63 t/ha mennyiségű szennyvíziszap kijuttatása 81%-os növekedést eredményezett a miscanthus hozamában.

A szennyvíziszap magas nehézfémtartalmára irányuló vizsgálatok mellett találhatóak kutatási eredmények egyéb hozzáadott anyagokkal való kiegészítésre vonatkozóan is, mint például az (ártalmatlanítandó) energetikai hulladéknak számító barnaszén-hamu kijuttatásával egyidejű szennyvíziszap-trágyázás. OCIEPA (2011) és KRZYWY-GAWROŃSKA (2012) vizsgálata alapján a kijuttatás igen kedvezően hat a talaj szorpciós kapacitására, amely a növények szempontjából is kedvező, hatékonyabb tápanyag-felvételt tesz lehetővé. A kutatás eredményeként a beltartalmi értékeket megvizsgálva kimutatták, hogy a növények nitrogén, foszfor, kálium, kalcium, magnézium és kén tartalma határozottan meghaladta a szennyvíziszap- és barnaszénhamu-kijuttatás nélküli területeken található növényekét.

SZEMPLIŃSKI et al. (2014) cikkében különböző növények biogáz-termelésbe való bevonásának lehetőségét vizsgálta, egyfajta alternatívaként a bioágáz-célú kukoricatermesztés területeinek visszaszorulására. A kutatásban három növényre tért ki, több ismétlésben változtatva az input mennyiségeket és termesztéstechnológiát is. A három növény – vagyis a silókukorica, a silócirok és a sida energianövény – közül a hagyományosan alkalmazott silókukoricánál érték el a legkedvezőbb hozam és energiakihozatali értékeket. Megállapításaik szerint mindkét utóbbi növénynél alacsonyabb értékeket lehet elérni. Ha azonban ezen növényeket kedvezőtlen adottságú területen, magas nehézfém-tartalom és/vagy szennyvíziszap-kijuttatás mellett természeténél hasonló célra, akkor minden bizonnyal a sidához és olasz nádhoz hasonló energianövények mutatnának kedvezőbb hozam-adatokat. Ily módon kialakulhat egy körfolyamat, amely az iszaphasznosítást oly módon oldja meg, hogy a biogáz-termelést követően megmaradó, kierjesztett szennyvíziszapot energianövény-termő területre juttatja ki (egyben az ártalmatlanítást is megoldva), és az ott – biogáz-előállításra alkalmas növényvel – megtermelt biomasszát a biogáz fermentorokba visszajuttatva fokozza annak hozamát, illetve biogáz-kihozatalát.

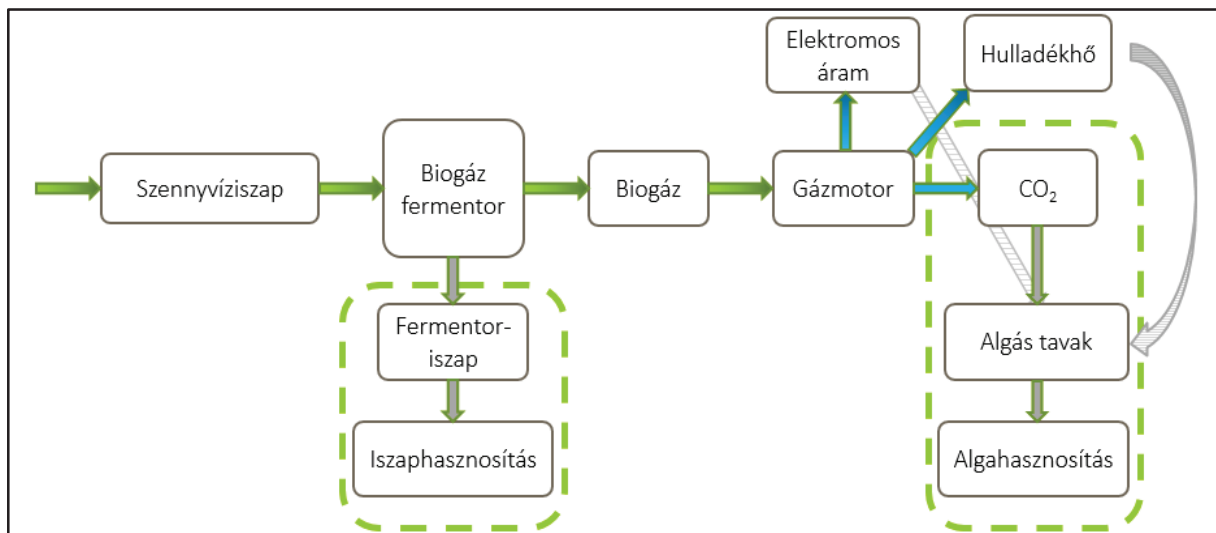
Számos részletre kitérő kutatások ismertek a szennyvíziszap, és egyéb biomassza-féleségek felhasználásával történő hajtóanyag és gáztermelés céljából is, amelyek a nyersanyagok szén- és hidrogéntartalmának kiaknázására irányulnak (MANARA et al, 2012; FONTS et al, 2012). A szennyvíztelepeken a kezelési tevékenység során termelhető biogáz tisztítását követően előállítható jó minőségű, sűrített biometán (CBG) lokális felhasználási lehetőségeire hívja fel a figyelmet BAI (2015). A szerző számos gyakorlati szempontból fontos kérdésre és lehetőségre hívja fel a figyelmet, előtérbe helyezve a helyi közlekedés által történő biometán-felhasználást, amely egyszerre jelenthet az adott önkormányzatnak megtakarítást és költségcsökkentést, valamint környezetvédelmi szempontból is előnyös az adott térségre vonatkozóan. Ily módon a szennyvíztelepen megtermelt biogáz tisztítása és továbbfelhasználása gazdaságossági és méretezési szempontból is versenyképes megoldás lehet a kapcsolt hő- és villamosenergia-termeléshez képest.

Innovatív megoldásokkal találkozhatunk az égetést követően megmaradó szennyvíziszap-hamu magasabb hozzáadott értéket képviselő hasznosítására irányulóan is, mint például az agyagtégla- és cserépgyártásban, a magas sűrűségű üveg-kerámiákban, vagy éppen a cement, habarcs és betongyártásban. Mindezek hozzájárulhatnak az anyagtakarékossághoz és környezettudatossághoz egyaránt (DONATELLO et al., 2013).

Az energetikával összefüggő hasznosítási módok mellett komoly figyelmet érdemel a visszamaradó szennyvíziszap mezőgazdasági talajerő-gazdálkodási célból történő hasznosítása is. A komposztálást, valamint az iszap meghatározott anyagokkal (pl. zöld hulladék, mezőgazdasági melléktermékek) történő keverését követően napjainkban is fontos szerepet kap a keletkező termék földterületekre történő visszajuttatása.

A szennyvíziszap élelmezési célú területre történő kijuttatásával foglalkozik SINGH et al (2008), megemlítve számos olyan kockázati tényezőt, amely hasonló esetben jelentkezhet. A mezőgazdasági területekre való kijuttatást sok esetben a magas nehézfém-tartalom akadályozza meg. FYTILI et al (2008) kutatásában részletesen foglalkozik a szennyvíziszap nehézfém-tartalmával, és e nehézfém-tartalom csökkentésének megoldásaival. Amennyiben tehát élelmezési célú területre nem engedélyezett a kihelyezés, úgy ismételten szóba jöhet az energetikai ültetvényeken történő hasznosítás, amellyel jelentős többlethozam érhető el. Így ez a megoldás is kapcsolódhat az energetikai célú elemzésekhez és vizsgálatokhoz. A szennyvíziszap-komposztálási folyamatot elősegítő reaktorok (hagyományos, szolár kiegészítővel ellátott és „üvegház” típusú reaktorok) összehasonlításával foglalkoztak kutatásukban CHEN et al. (2014), eredményként pedig azt kapták, hogy a szolár megoldással ellátott rendszer tudja leginkább elősegíteni a folyamatot, beleértve a kedvezőbb hőmérséklet és anyagállapot elérését, és a folyamat metántermelő képességének növelését is.

A koncepcióban szereplő technológiai elemek kapcsolódása



3. ábra: A technológiai elemek kapcsolódása

Forrás: KGYSZSZ (2015) alapján saját szerkesztés

A fenti ábra a tisztítási folyamat egyik utolsó lépéseként a szennyvíziszap felhasználását mutatja be, a jelen cikkben kiemelt két technológiai megoldásra vonatkozóan. Ezek közül – szaggatott vonallal bekeretezve – egyik a rothasztást követően visszamaradó fermentoriszap hasznosítása, a másik pedig a gázmotor füstgázában jelen lévő széndioxid algás tavakban történő hasznosítása. Az alábbiakban e két technológiai megoldásra vonatkozó kalkulációinkat ismertetjük.

A keletkező szennyvíziszap komposztálásának tervezése, energianövény tápanyag-utánpótlás

Kalkulációnkban a komposztok esetében szükséges 40% feletti szárazanyag figyelembe vételével, továbbá 1:3 térfogat-, illetve tömegarányú iszap/adalékanyag arányt feltételezve (I8), és $1,15 \text{ t/m}^3$ (I9) víztelenített iszap-sűrűséggel, és $0,3 \text{ t/m}^3$ adalékanyag-sűrűséggel számolva határoztuk meg a Debreceni Szennyvíztelepről kikerülő víztelenített iszapmennyiségre (70-80 t/nap) alapozott, előállítható szennyvíziszap-komposzt mennyiségét. Adalékanyagként általában fűrészpor, faapríték, szalma és széna, valamint közterületi és egyéb zöldhulladékok kerülnek hasznosításra, minimális mennyiségű oltóanyag alkalmazása mellett (I10).

Számításaink szerint – az előzetesen ismertetett paramétereket felhasználva – napi szinten nagyságrendileg 150 tonna szennyvíziszap-komposzt állítható elő. Ez a mennyiség önmagában elegendő lehet 3 hektár (fás vagy lágy szárú) energiaültetvény tápanyag-utánpótlására, vagy kiegészítésére. Az 50 tonna/hektáros mennyiségű komposzt-kijuttatás alapján tehát az összes egy év alatt keletkező mennyiség több, mint ezer hektár energianövény komposzttal való trágyázására lenne elegendő.

A szakirodalomban megismert energianövény-hozamokat (12,5 tonna szárazanyag/év), valamint a szennyvíziszap és szennyvíziszap-komposzt kijuttatást követő többlethozam-adatokat (+ 50% többlethozam) feltételezve e tevékenység hektáronként 18,75 tonna szárazanyag megtermelésére adhat módot. A megtermelt alapanyag többcélú hasznosításra alkalmas, beleértve a tüzelési és biogáz-termelési célú, valamint a komposzt adalékanyag-célú hasznosítást.

A biogáz-, vagy tüzelési célú biomassza-előállítás mellett egy további irány lehet a megtermelt biomassza aprítása, majd ennek adalékanyagként történő bekeverése a komposztba.

Az adalékanyag nélküli szennyvíziszap-komposztálás csak ritka esetben, olyan körülmények között valósulhat meg, ahol megoldható a folyamatos keverés a levegőztetés érdekében. Más esetekben az anyag szerkezetének javítása, a szén-nitrogén arány javítása és a nedvességtartalom beállításának céljából különböző mezőgazdasági, kommunális vagy ipari eredetű (nem veszélyes) szerves hulladékok adalékanyagként történő alkalmazására van szükség.

A keletkező CO₂ passzíválása algás tavakban

A konkrét telepről származó, előzőleg ismertetett adatokra alapozva (középtételekkel számolva) először meghatároztuk a füstgáz CO₂-tartalmát (Debreceni Vízmű, 2015 és BAI et al., 2007), amelyre 520 ezer m³-es értéket kaptunk. Ebből a CO₂ sűrűségét figyelembe véve ($1,98 \text{ kg/Nm}^3$) 2,87 tonna/év CO₂-mennyiség adódott. A szakirodalmi, kísérleti alapadatokra támaszkodva – az algák, elsősorban a legkedvezőbb eredményeket mutató *Chlorella Vulgaris* faj szénhidrát-tartalmát (BAI et al., 2011), CO₂-igényét és -felhasználását (VAN DEN HENDE et al., 2012), továbbá a szakirodalomnak (BAI et al., 2012) megfelelő – 100 tonna száraz alga biomassza hektáronkénti mennyiséget feltételezve azt az eredményt kaptuk, hogy körülbelül 20-22 hektár algás tó lenne képes az említett CO₂-mennyiség passzíválására.

A kalkulációk során kapott, nagyságrendileg 20 hektárnyi algató elhelyezésére meglátásunk szerint egy alternatíva lehet a Lovász-zugi tórendszer. A csatornahálózat által összegyűjtött szennyvizek tisztítására már az 1930-as években használták az ún. Lovász-zugi tórendszert. Felülete kezdetben 19 ha volt, míg 1981-ben a Tóció-Kösely menti tórendszer megépülésével

50 hektárra bővült. Az így kialakult szennyvíztisztító rendszer szárazidei szennyvízbefogadó képességét akkor 80 000 m³/d-ben határozták meg. Az utóbbi időben a terület csak esetenként kapott szennyvíz-utánpótlást, és egy ISPA beruházás keretében megépülő 2 db záportározó átvette a szerepét. A funkcióvesztést követően 2013-ban megkezdődött a rekultiváció, mégpedig fitoremediációs eljárással. A szennyvíziszapot nem termelték ki, hanem energianövényeket telepítettek rá, és különböző növényeket használnak a nehézfém-tartalom csökkentésére (I12).

Következtetések

A szennyvíztisztítás költségein belül az iszapkezeléshez kapcsolódó költségek igen magas arányt képviselnek. Ebből kifolyólag kiemelten fontos ezen költségek csökkentése, vagy olyan megoldások alkalmazása, amelyek a bevételek növelésével javítják a jellemzően veszteséges hulladékgazdálkodási tevékenység gazdaságosságát. A szennyvíziszap-hasznosításra irányuló energetikai és egyéb megoldások felhívják a figyelmet arra, hogy egy olyan másodlagos termékről, mintegy nyersanyagról van szó, amely ésszerű hasznosítására való törekvés elengedhetetlen a fenntarthatósági, környezetvédelmi és gazdaságossági szempontokat szem előtt tartó döntéshozók és szakemberek számára.

Egy szennyvíziszapra alapozott rothasztó egység (biogázüzem) – a szennyvíztisztítási folyamat részeként – képes ellátni vízzel és tápanyaggal a szántóföldeket, feldolgozni és hasznosítani szinte bármilyen szerves anyagot, valamint akár biometánnal, akár villamos energiával és hővel kiváltani a saját szükségletét, és a fennmaradó részt piaci alapon vagy egyéb módon értékesíteni. Az iszaphasznosítás során többféle termék állítható elő közvetlenül vagy közvetve, amelyek szintén hozzájárulnak az anyagtakarékos, egyben környezettudatos és költséghatékony hulladékgazdálkodáshoz. A tevékenység környezetvédelmi és energetikai szempontból is figyelemre méltó, és a cikkben ismertetett megoldásokhoz hasonló elemek rendszerbe integrálásával tovább javítható.

Cikkünkben kalkulációk segítségével utaltunk a szennyvíziszap-komposzt és az energianövény-termesztés, valamint a CO₂-hasznosítás és az algás rendszer kapcsolódási lehetőségeire, méretezésének sajátosságaira. Az algák egyik nagy előnye azok kiváló fotoszintetikus aktivitása, amely során kedvező körülmények között magas hozamok elérésére képesek, csupán a nap energiájának segítségével, a szennyvíztelepről származó különböző hulladékfélék, melléktermékek hasznosítása mellett. A fermentorokat követő algás tisztítás legjelentősebb pozitívuma pedig az, hogy a fermentálás során a szerves anyagok lebomlása történik, míg az algás tavakban a kiejert anyagban található szerves elemek (és CO₂) hasznosítására van lehetőség. Az algás tavak szükséges nagyságát elsődlegesen a technológia hatékonysága, így biomassza-termelő képessége, valamint az adott algafaj széndioxid-felvevő képessége határozza meg. Ez irányban történő részletesebb gazdaságossági kalkulációk esetében érdemes lehet kitérni a széndioxidkibocsátás-csökkentéshez kapcsolódó kvótakereskedelmi kérdésekre is.

Megemlítendő, hogy az algatavak megvalósításához, az alga betakarítás technológiájához és az algaalapú bioüzemanyag előállításához szükséges infrastruktúra kiépítésének igen komoly befektetési igénye van, ugyanakkor képes hosszú távú, környezetbarát melléktermék-ártalmatlanításra. Az EU-n prioritást élveznek a fenntarthatósági és környezetvédelmi célkitűzéseket segítő beruházások, így hasonló támogatási források várhatóan igénybe vehetők majd a jövőben.

Környezettudatos lehetőségként tartható számon a szennyvíziszap nehézfém-tartalmának, és egyéb energetikai melléktermékeknek (pl. hőerőművekből, fűtőművekből származó hamu) energianövény-termesztés céljából történő felhasználása, amelyek kötelezően ártalmatlanítandó, olcsó alapanyagok. További lehetőség a szennyvíziszap-kijuttatást követően a megtermelt biomassza tüzelési célú alapanyagként történő hasznosítása, amely újabb energetikai beruházások (tüzelőberendezések, stb.) kivitelezését teszi szükségessé, további forrásbevonással, egyben megtakarítási, bevétel-generálási lehetőségekkel. A szennyvíziszap energianövényekre való kijuttatásának esetében megfontolandó az iszap mellett a tisztított szennyvízzel történő öntözés, a jelenleg általános szikkasztásos megoldás helyett, amely szintén a hozamok további fokozására adhat módot.

A részletesebb gazdaságossági kalkulációk során fontos figyelembe venni a saját előállítású hőenergia (elsősorban hulladékhő) és villamos energia felhasználásának előnyeit, amely során megtakarítható az ÁFA értéke. Ily módon kiváltható a hálózathoz vételezett villamos energia jelentős része. A fermentorok saját hőfelhasználásán túl fennmaradó hulladékhő jelenleg több esetben a távfűtésben van hasznosítva. Amennyiben azonban az önkormányzatnak lenne lehetősége a megtermelt hőmennyiséget például ipari parkba vezetve technológiai hőként értékesíteni, oly módon a nyári időszakban fennmaradó (egyébként nem hasznosított) hulladékhő is felhasználható kerülhetne.

Komoly figyelmet érdemel a szennyvíztelepen, és annak környezetében az anyagáramlással kapcsolatos körfolyamatok megvalósíthatósága és gazdasági értékelése, az adottságoknak és körülményeknek leginkább megfelelő technológiai elemek rendszerbe integrálásával. Vizsgálatra kifejezetten érdemes kérdéskör a biogáz tisztítása esetén a biometán saját járműparkban való hasznosításának lehetősége is.

A kutatómunka folytatásaként meglátásunk szerint érdemes kitérni az iszap-hasznosítás életciklus-elemzésére, az externális hatások számszerűsítésére, a folyamat energiamérlegének sajátosságaira, valamint további, hulladék-gazdálkodáshoz és megújuló energetikához kapcsolódó lehetőségek elemzésére a hulladékgazdálkodási tevékenység fenntarthatóságának további elősegítésének érdekében.

Köszönetnyilvánítás: *A publikáció elkészítését a TÁMOP-4.2.2.B-15/1/KONV-2015-0001 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.*

Hivatkozott források

- BAI, A. (2007): A biogáz. Szakkönyv. Szerk.: Bai A. Társszerzők: Bagi Z., Dr. v. Bartha I., Dr. Fenyvesi L., Hódi J., Dr. Kovács K., Mátyás L., Mogyorósi P. Dr. Petis M. Száz Magyar Falu Könyvesháza Kht. Budapest, 2007. pp. 1-284.
- BAI, A. (2015): Helyi közlekedés és hulladékgazdálkodás. Magyar Energetika. Vol. 22. pp. 21-25.
- BAI, A., GABNAI, Z. (2014): Energiatermeléssel kombinált innovatív szennyvíztisztítási eljárások. LVI. Georgikon Napok Nemzetközi Tudományos Konferencia. Konferencia kiadvány, Keszthely. pp. 25-34.
- BAI, A., JOBBÁGY, P., DURKÓ, E. (2011): Algae production for Energy and Foddering. Biomass Conversion and Biorefinery. Springer-Verlag. Vol. 1. pp. 163-171.

- BAI, A., STÜNDL, L., BÁRSONY, P., JOBBÁGY, P., HERPERGEL, Z., FEHÉR, M., VASZKÓ, G. (2012): Algae production on pig sludge. *Agronomy for Sustainable Development*. Vol. 32. pp. 611-618
- BORKOWSKA, H., MOLAS, R. (2012): Two extremely different crops, *Salix* and *Sida*, as sources of renewable bioenergy. *Biomass and bioenergy*. Vol. 36. pp. 234-240.
- BORKOWSKA, H., WARDZINSKA, K. (2003): Some Effects of *Sida hermaphrodita* R. Cultivation on Sewage Sludge. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 12. pp. 119-122.
- CAOA, Y., PAWŁOWSKIA, A. (2012): Sewage sludge-to-energy approaches based on anaerobic digestion and pyrolysis: Brief overview and energy efficiency assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 16. pp. 1657-1665.
- CHEN, Y., YU, F., LIANG, S., WANG, Z., LIU, Z., XIONG, Y. (2014): Utilization of solar energy in sewage sludge composting: Fertilizer effect and application. *Waste Management*. Vol. 34. pp. 2014-2021.
- CIEŚLIK, B.M., NAMIEŚNIK, J., KONIECZKA, P. (2015): Review of sewage sludge management: standards, regulations and analytical methods. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 90. pp. 1-15.
- DONATELLO, S., CHEESEMAN, C.R. (2013): Recycling and recovery routes for incinerated sewage sludge ash (ISSA): A review. *Waste Management*. Vol. 33. pp. 2328-2340.
- FONTS, I., GEA, G., AZUARA, M., ÁBREGO, J., ARAUZO, J. (2012): Sewage sludge pyrolysis for liquid production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 16. pp. 2781-2805.
- FYTIL, D., ZABANIOTOU, A. (2008): Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 12, pp. 116-140.
- GRANT, N., MOODIE, M., WEEDON, C. (2009): Szennyvízkezelés. Élőgépek – Gyökérmezők – Komposztvécék. Cser Kiadó.
- IACOVIDOU, E., OHANDJA, D-G., VOULVOULIS, N. (2012): Food waste co-digestion with sewage sludge – Realising its potential in the UK. *Journal of Environmental Management*. Vol. 112. pp. 267-274.
- KIM, S-H, HAN, S-K, SHIN, H-S (2004): Feasibility of biohydrogen production by anaerobic co-digestion of food waste and sewage sludge. *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol. 29. pp. 1607-1616.
- KRZYWY-GAWROŃSKA, E. (2012): The effect of industrial wastes and municipal sewage sludge compost on the quality of virginia fanpetals (*SIDA HERMAPHRODITA RUSBY*) biomass Part 1. Macroelements. *Polish Journal of Chemical Technology*. Vol. 14. pp. 9-15.
- KURUCZ, E., ANTAL, G., FÁRI, M.G., POPP, J. (2014): COST-EFFECTIVE MASS PROPAGATION OF VIRGINIA FANPETALS (*SIDA HERMAPHRODITA L. RUSBY*) FROM SEEDS. *Environmental Engineering and Management Journal*. Vol. 13.
- LABRECQUE, M., TEODORESCU, T.I. (2003): High biomass production by *Salix* clones on SRC following two 3-year coppice rotation on abandoned farmland in southern Quebec. *Canada Biomass and Bioenergy*. Vol. 25. pp. 135-146.
- LEBLANC, R.J. – MATTHEWS, P. – RICHARD, R.P. (2008): GLOBAL ATLAS OF EXCRETA, WASTEWATER SLUDGE, AND BIOSOLIDS MANAGEMENT: MOVING FORWARD THE SUSTAINABLE AND WELCOME USES OF A

- GLOBAL RESOURCE. United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT), 2008.
- LIN, Y., ZHOU, S., , LI, F., LIN, Y. (2012): Utilization of municipal sewage sludge as additives for the production of eco-cement. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 213-214. pp. 457-465.
- MANARA, P., ZABANIOTOU, A. (2012): Towards sewage sludge based biofuels via thermochemical conversion – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 16. pp. 2566-2582.
- MININNI, G., BLANCH, A.R., LUCENA, F., BERSELLI S. (2015): EU policy on sewage sludge utilization and perspectives on new approaches of sludge management. *Environ Sci Pollut Res*. Vol. 22. pp. 7361–7374.
- NABEL, M., BARBOSA, DBP., HORSCH, D., JABLONOWSKI, ND. (2014): Energy crop (*Sida hermaphrodita*) fertilization using digestate under marginal soil conditions: A dose-response experiment. *European Geosciences Union General Assembly 2014, EGU 2014. Energy Procedia* Vol. 59 pp. 127–133.
- OCIEPA, E. (2011): The effect of fertilization on yielding and heavy metals uptake by maize and Virginia fanpetals (*Sida hermaphrodita*). *Archives of Environmental Protection*. Vol. 37. pp. 123-129.
- RABI, ZS. (2012): Vízellátás, csatornázás. Épületgépészeti szakmai képzés, 2. kiadás. Szakkönyv. Carol, 2012, Szeged. 284 p.
- RÓZSÁNÉ SZŰCS, B. (2013): ANAEROB ELŐKEZELÉS HATÁSA A SZENNYVÍZISZAPOK KOMPOSZTÁLÁSÁRA. DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS. Szent István Egyetem, Környezettudományi Doktori Iskola.
- SAMOLADA, M.C., ZABANIOTOU, A.A. (2014): Comparative assessment of municipal sewage sludge incineration, gasification and pyrolysis for a sustainable sludge-to-energy management in Greece. *Waste Management*. Vol. 34. pp. 411-420.
- SIMON, L., PROKISCH, J., GYŐRI, Z. (2000): Effect of municipal sewage sludge compost on the heavy metal accumulation of maize (*Zea mays* L.). *Agrokémia és Talajtan*. Vol. 49. pp. 247-256.
- SINGH, R.P., AGRAWAL, M. (2008): Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management*. Vol. 28. pp. 347-358.
- SIPOS, R. (2012): A szennyvíziszap komposzttal kezelt olasz nád (*Arundo donax* L.) termeszthetősége. Szakdolgozat. Debreceni Egyetem, Gazdálkodástudományi és Vidékfejlesztési Kar, Debrecen.
- SZEMPLIŃSKI, W., PARZONKA, A., SAŁEK, T. (2014): YIELD AND ENERGY EFFICIENCY OF BIOMASS PRODUCTION OF SOME SPECIES OF PLANTS GROWN FOR BIOGAS. *Acta Sci. Pol., Agricultura*. Vol. 13. pp. 67-80.
- VAN DEN HENDE, S., VERVAEREN, H., BOON, N. (2012): Flue gas compounds and microalgae: (Bio-)chemical interactions leading to biotechnological opportunities. *Biotechnology Advances*. Vol. 30. pp. 1405-1424.
- WRÓBLEWSKA, H., KOMOROWICZ, M., PAWŁOWSKI, J., CICHY (2009): Chemical and energetical properties of selected lignocellulosic raw materials, in: *Folia Forestalia Polonica, Series B, Issue 40*, pp. 67-78.
- YOSHIDA, H., CHRISTENSEN, T.H., SCHEUTZ, C. (2013): Life cycle assessment of sewage sludge management: A review. *Waste Management & Research*. Vol. 31. pp. 1083-1101.

Internetes források:

- Internet 1: FAO (2015). Number of municipal wastewater treatment facilities. On-line: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html?regionQuery=true&yearGrouping=SURVEY&yearRange.fromYear=1960&yearRange.toYear=2015&varGrpIds=4515®Ids=9805,9806,9807,9808,9809&includeRegions=true&showValueYears=true&categoryIds=-1&XAxis=YEAR&showSymbols=true&showUnits=true&hideEmptyRowsColumns=true&hideEmptyRowsColumns=on&lang=en&query_type=glossary. Letöltés dátuma: 2015. 10. 18.
- Internet 2: FAO (2015). Treated municipal wastewater (10^9 m³/year). On-line: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html?regionQuery=true&yearGrouping=SURVEY&yearRange.fromYear=1960&yearRange.toYear=2015&varGrpIds=4270®Ids=9805,9806,9807,9808,9809&includeRegions=true&showValueYears=true&categoryIds=-1&XAxis=YEAR&showSymbols=true&showUnits=true&hideEmptyRowsColumns=true&hideEmptyRowsColumns=on&lang=en&query_type=glossary. Letöltés dátuma: 2015. 10. 18.
- Internet 3: KSH (2015). Közüemi szennyvízgyűjtő-hálózattal rendelkező települések és lakások (1990-). On-line: https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_zrk002.html. Letöltés dátuma: 2015. 11. 09.
- Internet 4: SASI Group (University of Sheffield) és NEWMAN, M. (University of Michigan) (2006). Sewage Sludge. High and low generation of sewage sludge. On-line: http://www.worldmapper.org/posters/worldmapper_map306_ver5.pdf. Letöltés dátuma: 2015. 10. 22.
- Internet 5: Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2014-2020. On-line: http://web.okir.hu/dokumentum/318/Orszagos_Hulladeggazdalkodasi_Terv_20142020.pdf. Letöltés dátuma: 2015. 07. 12.
- Internet 6: EUROSTAT (2011). Sewage sludge disposal from urban wastewater treatment, by type of treatment, 2011. On-line: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Sewage_sludge_disposal_from_urban_wastewater_treatment_by_type_of_treatment_2011_\(%C2%B9\).png#file](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Sewage_sludge_disposal_from_urban_wastewater_treatment_by_type_of_treatment_2011_(%C2%B9).png#file). Letöltés dátuma: 2015. 10. 23.
- Internet 7: AGATA PSZCZÓLKOWSKA, A., ROMANOWSKA-DUDA, Z., PSZCZÓLKOWSKI, V., GRZESIK, M., WYSOKIŃSKA, Z. (2015): Biomass Production of Selected Energy Plants: Economic Analysis and Logistic Strategies. VERSITA. Letöltés dátuma: 2015. 15. 11.
- Internet 8: TAMÁS J., BLASKÓ L. (2008): A szennyvizek hasznosításának lehetőségei. Environmental management. Debreceni Egyetem, TÁMOP 4.1.2. On-line: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0032_kornyezettechnologia/ch09s02.html#id520187. Letöltés dátuma: 2015. 10. 22.
- Internet 9: FAZEKAS B., PITÁS V., THURY P., KÁRPÁTI Á. (2011): Komposztálás. On-line: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Komposztalas/ch03s03.html. Letöltés dátuma: 2015. 10. 21.
- Internet 10: Oltóanyagok és kezelés. AKSD Városgazdálkodási Kft, Debrecen. On-line: <http://www.aksd.hu/biomass-super-komposzt/>. Letöltés dátuma: 2015. 10. 21.
- Internet 11: Szennyvízszolgáltatás. On-line: <http://www.debreceni-vizmu.hu/szolgalatasok/szennyvizszolgalatas/>. Letöltés dátuma: 2015. 08. 10.
- Internet 12: Debrecen Megyei Jogú Város Környezeti Atlasza, 2014. Tiszántúli Környezetvédelmi és Természetvédelmi Felügyelőség, DMJV Polgármesteri Hivatala.

On-line: <http://portal.debrecen.hu/upload/File/Hirek/Hatter/kornyezetiatlasz2014.pdf>.
Letöltés dátuma: 2015. 10. 09.

MELLÉKLETEK

1. számú melléklet

A Debreceni Szennyvíztelep iszap- és gázvonala

A technológiába jelen cikkben az iszapkezelést – vagyis az iszapok szárazanyag tartalmának (4-5%-ra történő) növelése iszapszűrővel, elősűrítővel, centrifugákkal, majd 50 m³-es homogenizáló medencékbe szivattyúzását – követően kapcsolódunk be.

Az iszaprothasztás az iszaprothasztókban történik, amelyekben az elősűrített iszap anaerob úton, mezofil tartományban (+35°C) történő rothasztását végzik. Ennek során az iszap biológiai stabilizálása, jobb vízteleníthetősége és a maximális biogáz-kinyerés van lehetővé téve, összesen 15 ezer m³-es rothasztó térfogaton, 19-25 nap közötti tartózkodási idővel.

Az anaerob fermentáció melléktermékeként a lebomlott szerves anyagból keletkező biogáz – mely főleg metánt (58-62%-ban), valamint széndioxidot és (1% alatti) egyéb gázokat tartalmaz – mennyisége naponta átlagosan 4000-5500 Nm³. Ennek fűtőértéke 23,2 MJ/Nm³.

A következő lépés a víztelenítés, ahol a rothasztókból túlfolyó stabilizált iszap a két kigázosító műtárgyba folyik. Folyamatos kevergetés mellett napi szinten 400-600 m³ 2-3%-os sz.a. tartalmú stabilizált iszap kerül a víztelenítő centrifugákba, polielektrolit hozzáadásával. Ezt követően, 23%-ot meghaladó sz.a. tartalommal a víztelenített iszapot (napi szinten átlagosan 70-80 m³) elszállítják a felhasználás helyére, jellemzően komposztáló telepre.

A technológiához tartoznak még a gáztárolók, a rothasztók (és az iszap) fűtésére használt hőcserélős kazán (550 kW és 300 kW), továbbá az 1800 kW összteljesítményt meghaladó gázmotorok (összesen 4 db), amelyek a villamos energiatermelésért és a hőenergiát biztosítják egyrészt a szennyvíztelep részére, valamint a fennmaradó mennyiséget az egyéb fogyasztók részére (Debreceni Vízmű Zrt., Debreceni Szennyvíztelep, II 1).

Szerzők:

GABNAI Zoltán

PhD hallgató

Debreceni Egyetem, Gazdaságtudományi Kar

4032 Debrecen, Böszörményi út 138.

gabnai.zoltan@econ.unideb.hu

GÁL Balázs Sándor

PhD hallgató

Miskolci Egyetem, Gazdaságtudományi Kar

3515 Miskolc-Egyetemváros

reggabas@uni-miskolc.hu