

TELEPÜLÉSI SZENNYVÍZISZAP ENERGETIKAI KEZELÉSE ÉS AZ ALKALMAZHATÓ ELŐKEZELÉSEK A BIOGÁZ HOZAM FOKOZÁSA ÉRDEKÉBEN

Varga Terézia¹, Dr. Bokányi Ljudmilla²

¹tanszéki mérnök, ²egyetemi docens

Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet

ÖSSZEFOGLALÓ

A szennyvíziszap a települési szennyvíztisztítás melléktermékeként keletkezik. Az iszap kezelésének technológiája függ az iszap további felhasználásától, valamint szennyvíz kiindulási összetételétől. A szennyvíziszap felhasználható szerves trágyaként vagy energia forrásként. Amennyiben a mezőgazdasági felhasználás vagy komposztálás nem alkalmazható a nagy területigény, illetve a környezetvédelmi előírások miatt, a termikus eljárás vagy az anaerob lebontás megoldást jelenthet a kezelésére. A szennyvíztisztító telepeken az anaerob lebontást általában a primer és másodlagos iszap keverékére alkalmazzák, azonban az eleveniszap sokkal nehezebben bontható. Az eleveniszap hidrolízisének korlátozása miatt ajánlott előkezelésekkel elősegíteni az anaerob lebontást, mely megvalósítható mechanikai, termikus, kémiai, biológiai úton. Jelen tanulmány a különböző szennyvíziszap kezelés és felhasználás különböző módszereit írja le, valamint egy statikus laboratóriumi biogáz kísérletet is magába foglal.

BEVEZETÉS

Az Európai Unióban tilos a szennyvizet kezeletlenül lerakóba helyezni. Egy korszerű szennyvíztisztító telep három fő szakaszra osztható. Az első a mechanikai, amelyben a szennyvíz szitákon halad keresztül a durvább szilárd anyagok leválasztása érdekében, majd a homokfogó segítségével a homok, salak szintén eltávolítható. Végül, a mechanikai szakasz részét képezi egy ülepítő tartály a könnyen ülepedő szemcsék leválasztására. Ebben a lépcsőben leválasztott anyagot nevezzük elsődleges (primer) iszapnak, mely kb. 30% szerves és 70% szerves összetevőből áll (*Werther, 1999*). A második szakasz a biológiai lépcső, amelynél a cél a szerves anyag lebontása és stabilizálása aerob mikroorganizmusok révén, valamint a kolloid szemcsék koagulálása és leválasztása. A keletkező iszapot másodlagos iszapnak nevezzük. Az utolsó szakasz biztosítja a nitrogén és foszfor eltávolítását. A nitrogén nitrifikációval és denitrifikációval, míg a foszfor tartalmú vegyületek kémiai kicsapódással választhatók le.

Az utóbbi időben jelentősen növekedett az Európai Unióban a keletkező szennyvíziszap mennyisége a 91/271/EEC EU direktíva (Települési Szennyvízkezelési Direktíva) következtében. A 98/15/EC direktíva szerint a szennyvíziszapot hasznosítani kell, ha megfelelő minőségű, míg a 86/278/EEC direktíva korlátozza az iszap mezőgazdaságban való felhasználását a nehézfém-tartalom miatt (*Werle, 2010*). Napjainkban számos megoldás található az iszap kezelésére és felhasználására vonatkozóan.

Jelen tanulmány egy áttekintést ad a különböző iszapkezelési módszerekről, mint pl. mezőgazdasági alkalmazás, aerob-, anaerob- és termikus eljárások, megemlítve ezek előnyeit,

hátrányait, valamint néhány előkezelési megoldás is bemutatásra kerül, melyek célja a biogáz hozam növelése az anaerob lebontás során.

SZENNYVÍZISZAP KEZELÉSE ÉS FELHASZNÁLÁSA

Mezőgazdasági felhasználás

A szennyvíziszap felhasználható a talaj szervesanyag tartalmának és tápanyagának javítására, mivel trágyaként számos pozitív hatással bír (*Csőke-Bokányi, 2008*). Másrészt nagy figyelmet igényel az esetlegesen előforduló toxikus- és környezetterhelő komponensek miatt, melyek károsíthatják a talajt, valamint az emberi egészségre is veszélyt jelenthetnek bekerülve a táplálékláncba, illetve a talaj és felszíni vizeket is szennyezheti. Mezőgazdasági területre csak aerob-, anaerob-, kémiai kezeléssel stabilizált vagy 3-6 hónapig tárolt iszap helyezhető ki. Korlátozás nélkül alkalmazhatóak azok az iszapok, amelyek például a meghatározottnál több sugárzó anyagot, illetve fekáliás szennyezőket nem tartalmaznak, vagy például azon iszapok, melyek olyan gyártási technológiából származnak, amelyek fekáliás vízzel nem érintkezhetek (gyümölcs-, konzerv-, cukorgyártás szennyvizei, stb.). A mezőgazdasági területre kiszállított iszapot ideiglenesen tárolni kell, mivel a trágyaként való felhasználása periodikus. Az átmeneti tározó létrehozásának szintén számos feltétele van, valamint szakértői tanulmányt kell készíteni a felhasználási terület kiválasztásához, mely tanulmány tartalmazza többek között az iszap összetételére vonatkozó adatokat, a talaj, illetve az adott terület jellemzőit. További előírás az iszap mezőgazdasági hasznosítása esetén, hogy 300 m védőtávolságot kell biztosítani lakott -, illetve minden olyan területtől, ahol a jogszabály értelmében az szennyvíziszap felhasználása tilos (*Kovács, 2003*).

A nehézfémek eltávolítására számos vegyszert kipróbáltak (pl. $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 , EDTA, NTA, stb.), azonban ez az eljárás igen költségesnek bizonyult a nagy mennyiségű vegyszer igény, a magas üzemeltetési költségek miatt, valamint további hátrányt jelentettek az üzemeltetési problémák, illetve a másodlagos szennyezés. A vegyszeres kezelés helyett a biológus szintén alkalmazható módszer (*Pathak, 2009*). Az eljárás során a kén- és vas-oxidáló mikroorganizmusok metabolikus tevékenységéből eredő katalitikus hatást használják ki a szulfidok kémiai degradációjának fokozására. A vegyszerek tekintetében ez a módszer olcsóbb, de a tőkebefektetési költségek, az energia költségek, valamint a karbantartási költségek magasak lehetnek, így ezt a kezelést csak kis kapacitás és nagy szilárdanyag tartalom esetén javasolják. Valamint további vizsgálatok szükségesek genetikailag manipulált mikroorganizmusok alkalmazásával a lúgzás hatásfokának növelése érdekében.

Komposztálás

Az aerob kezelés során a szerves anyag lebontása mikroorganizmusokkal történik, miközben hő fejlődik, aminek hatására a patogének nagy része elpusztul. A hőmérséklet elérheti a 50-70°C-ot is. A folyamat során az eljárástechnikai paramétereket, mint pH, nedvesség tartalom, C/N arány, szerves anyag tartalom, szabályozni kell. Mivel a szárazanyag tartalom min. 40%, ezért az iszap komposztálásához adalékanyagok (pl. mezőgazdasági hulladék, települési szilárd hulladék, ipari hulladékok) alkalmazása szükséges. A komposztálás három fő technológiai rendszerben valósítható meg, nem-reaktoros – agitált ágyas és statikus ágyas –, reaktoros és konténeres rendszerekben. A megfelelő levegőztetés a

folyamat szűk paramétere. A reaktoros és a nem-reaktoros rendszerek összehasonlítását az 1. táblázat tartalmazza.

Az agitált ágyas komposztálási rendszer előnye az alacsony beruházási, illetve üzemeltetési költség, másrészt viszont nagy területet igényel. A statikus ágyas rendszer esetében az üzemeltetési és beruházási költségek magasabbak, ugyanakkor a területigény és a környezeti hatások (pl. levegő, talaj, vízszennyezés, tűzveszély, stb.) kisebbek. Végezetül a reaktoros komposztálás nagyobb mértékű folyamatszabályozást tesz lehetővé.

1. Táblázat: Komposztáló rendszerek összehasonlítása (Bokányi, 2001)

		Nem-reaktoros		Reaktoros	
		Agitált ágy	Statikus ágy	Kényszer szell. + agitalás	Kényszer szellőztetés
1.	Beruházás	↓	↓*	↑	↑
2.	Üzemeltetés	↓	↑	↓	↓
3.	Területigény	↑	↑	↓*	↓*
4.	Utószáritás	+	++	++	++
5.	Klíma érzékenység	+	-	-	-
6.	Adalék/mátrix	+ adalék	+ mátrix	+ adalék	+ adalék
7.	Szag emisszió	↑↑	↑	↓	↓
8.	Poremisszió	↑↑	↑	↓	↓

* - az utóérlelés megnövelheti

↓ - relatíve kis

↑ - relatíve nagy

↑↑ - nagy

+

++ - feltétlenül szükséges

Települési szennyvíziszap termikus kezelése

Égetés során az iszap energiatartalmát hasznosítjuk. Az iszap égetése előkezelést igényel, mint kondicionálás, víztelenítés, előszáritás. Az önfenntartó égés fizikai paraméterei a következők: nedvesség tartalom <50%, hamutartalom <60% és szerves anyag tartalom <25% (Tamás, 1998). Az 50% és 60%-nál kisebb nedvesség és hamutartalom ritkán jellemző, ezért másodtüzelőanyag bekeverése szükséges.

2. Táblázat: A települési szennyvíztisztító művek különböző iszapjainak jellemző fűtőértékei (Barótfi, 2000)

Nyers iszap	25 500 kJ/kg sz.a.
Fölös eleveniszap	20 900 kJ/kg sz.a.
Rothasztott iszap	11 600 kJ/kg sz.a.
Rothasztott kevert iszap	13 400 kJ/kg sz.a.

Az égetés előnye, hogy jelentősen csökken az iszap térfogata, a toxikus anyagok ártalmatlaníthatók vagy csökkenthetők, a termikus energia pedig hasznosítható. Hátránya, hogy a beruházási és üzemeltetési költségek magasak, megfelelő tisztítási technológia szükséges a légszennyezés elkerülése érdekében, a keletkező hamut kezelni kell, valamint az

égéstermékek korrozív hatásúak lehetnek. A leggyakrabban alkalmazott égető berendezések a fluidizációs kemence, az etázskemence, de a forgódobos kemencét és a ciklonos égetőkamrát szintén alkalmazzák. Az eljárás során nagy mennyiségű füstgáz, valamint salak keletkezik. A füstgáz tisztítása, illetve a salak, valamint a füstgázból leválasztott pernye deponálása hátrányosan befolyásolja a költségeket. A füstgáz térfogata nagymértékben csökkenthető a települési szennyvíziszap elgázosításával, mely jó minőségű éghető szintézisgázt eredményez, ami felhasználható villamos áram és hő előállításra. Alternatív megoldást jelenthet az iszap pirolízise 300-900°C-on oxigén hiányos környezetben. A pirolízis előnye, hogy a keletkező termékek (gáz, koks, olaj) mind hasznosíthatók.

Anaerob lebontás

A termikus kezelés az iszap víztelenítését, előszárítását igényli, ezért a fajlagos energiaköltségek viszonylag magasak. Az anaerob lebontás egy jobb megoldást jelent, mivel ez megvalósítható akár nedves vagy akár száraz eljárással is viszonylag alacsony hőmérsékleten (35-55°C). Az anaerob lebontás endoterm folyamat, amely során a szerves anyag stabilizálódik, degradálódik, ezáltal az iszap tömege, térfogata csökken miközben nagy fűtőértékű, hasznosítható biogáz keletkezik. Minden biogáz telep ugyanazokat az alap berendezéseket tartalmazza: rothasztó, gáztároló, gázmotor, keverők, stb. Technológiát tekintve az eljárások a teljes szilárdanyag tartalom, a hőmérséklet, a feladás módja és az eljárás lépcsőinek száma alapján csoportosíthatók. Hangsúlyozni kell, hogy a kiindulási paraméterek optimalizálása itt is épp olyan fontos, mint a komposztálás esetén.

Számos reaktor típus létezik a szennyvíziszap anaerob lebontására, mint pl. kontakt reaktor, UASB reaktor, stb. A tökéletes keveredésű reaktorok a leggyakrabban alkalmazott típusai az anaerob rothasztóknak. Sok szennyvíztisztító telep kedveli ezt az eljárást, ami szintén működhet mezofil vagy termofil hőmérsékleti tartományban és a fűtést főként spirális áramlású hőcserélő biztosítja. A keverés szükséges a friss szubsztrát beoltásához, a hő megfelelő eloszlásához, valamint az uszó iszapréteg kialakulásának elkerülése érdekében, végezetül pedig a szubsztrátban rekedt buborékok kiszabadításához. Nagy térfogatú reaktorokban általában két, három keverőt alkalmaznak különböző mélységekben elhelyezve, míg a kisebb méretű telepek csak egyetlen keverőt szerelnek be gazdasági okok miatt.

A reaktor tetején levő úszó gáztartály az alacsony nyomású tárolók közé tartozik. Úszó gáz tározóval ellátott különálló tartály szintén alkalmazható a rothasztott iszap és a nyers biogáz tárolására. A rugalmas felfújható szerkezetű tető szintén nagyon kedvelt módszer, mivel nagyon olcsó és nem lép reakcióba a biogázban lévő H₂S-el. A takarás ezen típusait gyakran alkalmazzák a dugó-áramlású és a teljes keverésű reaktoroknál. Általában rugalmas membránokat használnak, beleértve pl. a HDPE (magas-sűrűségű polietilén), LDPE (alacsony-sűrűségű polietilén) anyagokat. A biogáz tárolható közepes nyomáson is, de először a biogázt meg kell tisztítani a benne található kén-hidrogéntől a tartály korróziójának elkerülése és a biztonságos működés biztosítása érdekében, majd a tisztított gázt komprimálni kell a tárolás előtt.

A biogáz-termelés hatékonyságának növelése

A főlősiszap mikroorganizmusokat, ill. nagyméretű mikroorganizmus telepeket tartalmaz. Az eleveniszapos eljárás során a szuszpendált alkotók asszimilálódnak és metabolizálódnak a mikroorganizmusok által. A mikroorganizmusok akkumulálódnak és pelyheket képeznek, melyek olyan összetevőket tartalmaznak, mint önálló baktérium,

baktérium aggregátok, sejt maradvány, szerves rostok vagy szervesetlen alkotók. A flokkok komponenseit extracelluláris polimer anyagok (EPS) tartják össze, melyek komplex szénhidrátokat, fehérjéket, hosszú láncú szénhidrogéneket tartalmaznak többértékű kationok, hidrofób kölcsönhatások és hidrogén kötések révén (Akerlund, 2008). Az eleveniszap tehát a sejtszerkezete miatt nehezen bontható. A dezintegrálás a pelyhek roncsolását, a szemcseméret csökkenését, ezáltal a fajlagos felület növelését eredményezi. Továbbá, a pelyhek roncsolása mellett a baktérium sejtek feltárása is végbemegy a dezintegrálás során. Így az anaerob lebontási folyamatban a szennyvíziszap hidrolízise fokozható, ami viszont elősegíti a lebontás folyamatát.

Az iszap szerves anyag tartalmának meghatározására kémiai oxigén igényt alkalmaznak (KOI), valamint szintén ezt használják a dezintegráció fokának megállapítására is. A dezintegráció teljesítménye számítható az oldott fázis szerves anyag tartalmának növekedése, valamint az iszap teljes szerves anyag tartalmának ismeretében. Mivel az eleveniszap szerkezete megváltozik a dezintegrálása során, így az iszap viszkozitásában is változás következik be. Az iszap viszkozitásának mérése gyakran az egyik módja a dezintegrálási eljárás hatékonyságának kiértékelésének. A dezintegráció megvalósítható mechanikai, kémiai, termikus, biológiai vagy kombinált eljárásokkal.

SZENNYVÍZISZAP GÁZTERMELŐ KÉPESSÉGÉNEK VIZSGÁLATA

A Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézete számos projektben vett részt a szennyvíziszap, települési szilárd hulladék, stb. anaerob lebontása területén. A legutóbbi projekt (*Kis méretű szennyvíz-tisztító és víz újrahasznosító berendezés fejlesztése, TET_08_RC_SHEN, WWTRECO9*) során a saját bányai kommunális szennyvíztisztító telepről származó szennyvíziszap biogáz-termelő képességét vizsgáltuk.

A kísérleteket statikus laboratóriumi berendezésben végeztük. Reaktorként Erlenmeyer lombikokat alkalmaztunk, melyeket csatlakoztattuk a gázmennyiség mérő egységhez, majd vízfürdőben 54°C-on tartottuk. A gázmennyiség mérése térfogat kiszorítás elvén alapszik, a keletkezett gáz kiszorítja a gázmennyiség mérő egységből a kénsavas telített sóoldatot, így a gáz mennyiséget naponta meghatároztuk.



1. ábra: Laboratóriumi statikus biogáz reaktor

Az iszap dezintegrálásához a 2. ábrán látható mechanikus berendezést alkalmaztuk. Az álló és a járókoszorú úgy van kialakítva, hogy üzem közben a beszívott anyagot reológiai értelemben rendkívül beható nyíróhatás veszi igénybe. A többszörösen megismételt ütközések és az ezzel egyidejű nyírás a folyadékban lévő szilárd részecskék, így sejtek diszperzitásfokát növeli.

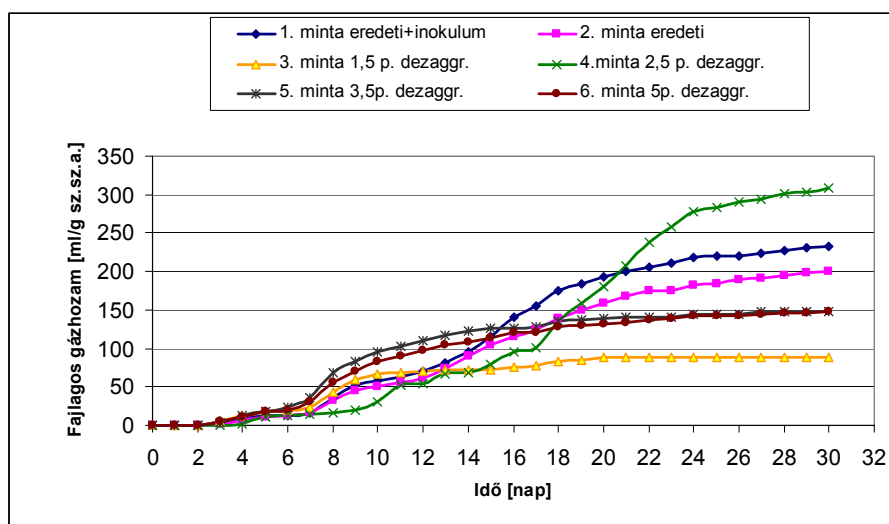
A dezaggregátor fordulatszáma 2855 1/perc. Szállítási teljesítménye 2 liter víz esetén 5,6 sec. A mérés során azt vettük alapul, hogy a minimum ütközések száma 30, így határoztuk meg az általunk alkalmazott dezintegrálási időket, melyek 1,5; 2,5; 3,5 és 5 perces dezintegrálást jelent 1 liter iszapmennyiségre vonatkozóan.



2. ábra: A mérés során alkalmazott DEZ-2L típusú laboratóriumi dezaggregátor

A szennyvíziszap fizikai és kémiai jellemzőit meghatároztuk a dezintegrálás előtt, illetve után is. Azt tapasztaltuk, hogy a kezdeti száraz anyag tartalom (4,33%) csökkent a mechanikai előkezelést követően, azonban ez a csökkenés nem volt jelentős mértékű. Az összes szerves szén tartalom (TOC) 383g/kg értékről 5 perces dezintegrálást követően 267g/kg-ra csökkent, míg a kémiai oxigén igény (KOI) értéke 601g/kg-ról 742 g/kg, 704g/kg, 760g/kg és 843g/kg értékre nőtt rendre a dezintegrálási idő növelésével.

A gáztermelés kinetikáját a 3. ábra szemlélteti.



3. ábra: A szerves száraz anyag tartalomra vonatkozó fajlagos gázhozam értékei

A dezintegrálás célja a biogáz hozam növelése. Ezzel szemben a mérési eredmények azt mutatják, hogy jelentős gázhozam növekedést csak a 2,5 perces tartózkodási idő mellett sikerült elérni. Ekkor az eredeti szennyvíziszaphoz képest 1,5-szer nagyobb mennyiségű biogáz képződött. A laboratóriumi statikus berendezés mellett, félüzemi méretű folyamatos keverésű reaktorokban végzett további vizsgálatok szükségesek a mechanikai előkezelés hatásának igazolására.

ÖSSZEFOGLALÁS

A települési szennyvíz iszap mezőgazdasági felhasználását korlátozzák a környezetvédelmi előírások. A mérgező komponensek eltávolíthatók vegyszeres kezeléssel vagy biológussal, viszont az előbbi drága, illetve további tisztítási technológiákat igényel, míg ez utóbbi eljárás területén pedig további kutatások szükségesek genetikailag manipulált mikroorganizmusokkal a lúgzás fokozása érdekében. Az iszap komposztálásához adalékanyagokra van szükség az optimális paraméterek szabályzásához, az alkalmazott komposztálási rendszertől függően káros környezeti hatásai lehetnek, valamint nagy területet igényel. Továbbá, a lebontott iszap hasznosíthatósága nagymértékben függ a lebontott iszap minőségétől is. A szennyvíziszap kezelésének másik csoportja az energetikai hasznosítást célozza meg. Ide sorolható a termikus kezelés, - égetés, pirolízis, elgázosítás -, valamint az anaerob lebontás. Mivel az égetés az iszap előkezelését igényli, mint víztelenítés, előszárítás, ezért a költségei magasak. A legalkalmasabb megoldásnak az anaerob lebontás tekinthető, amely során környezetbarát és energia tartalmú biogáz keletkezik, valamint a folyamat végén a komposztálásnál jobb minőségű stabilizált iszap nyerhető. Ezen kívül az anaerob kezeléssel az üvegház hatású gázok kibocsátása csökkenthető, a termelő biogáz felhasználható fosszilis tüzelőanyag helyettesítésére a megújuló energiaforrásként.

Irodalom

AKERLUND, A.: **Evaluation of a disintegration technique for increased biogas production from excess activated sludge**, Swedish University of Agricultural Sciences, Report, 2008, p. 12-17

BARÓTFI, I. (szerk.): **Környezettechnika**, Mezőgazda Szerkesztő, Budapest, 2000, ISBN 963-286-009-8

BOKÁNYI, L.: **Ipari komposztálás**, Jegyzet-kézirat, Miskolci Egyetem, 2001

BOKÁNYI, L.: **Hulladékkezelés kémiai és biológiai eljárásai**, Jegyzet, Miskolci Egyetem, 2002

BOUGRIER, C., ALBASI, C., DELGENES, J.P., CARRERE, H.: **Effect of ultrasonic, thermal and ozone pre-treatments on waste activated sludge solubilisation and anaerobic biodegradability**, Chemical Engineering and Processing, Vol. 45, Issue 8, 2006, p.711-718

CSÓKE, B.- BOKÁNYI, L.: Technológiák kapcsolódási lehetőségeinek bemutatása.

In: CHLEPKÓ, T. (szerk.): **Megújuló mezőgazdaság**, Tertia Szerkesztő, 2008, ISBN 978-963-06-4971-1. 7. fejezet p 208-216.

KOVÁCS, A., KOVÁCS, R., PÉTSY, ZS., SZŰCS, B., ZELEI, K.: **A szennyvíziszap-kezelés és hasznosítás jogi, gazdasági, műszaki, környezet-egészségügyi feltételrendszere**, Tanulmány, Budapest, 2003.

TAMÁS, J.: **Szennyvíztisztítás és szennyvíziszap elhelyezés**, Debreceni Agrártudományi Egyetem, 1998.

PATHAK, A., DASTIDAR, M.G., SREEKRISHNAN, T.R.: **Bioleaching of heavy metals from sewage sludge: A review**, Journal of Environmental Management 90, 2009, p. 2343-2353

WERLE, S., WILK, R.K.: **A review of methods for the thermal utilization of sewage sludge: The Polish perspective**, Renewable energy 35, 2010, p. 1914-1919

WERTHER, J., OGADA, T.: **Sewage sludge combustion**, Progress in Energy and Combustion Science 25, 1999, p. 55-116