

LAKOSSÁGI SZENNYVÍZISZAPOK ÉS ROTHASZTÁSUK TAPASZTALATAI II.

BIOGÁZ TERMELÉS NÖVELÉSE A SZENNYVÍZTISZTÍTÁSNÁL EGYÜTTROTHASZTÁSSAL

KÁRPÁTI ÁRPÁD¹ – KISS GÁBOR² – VOLF BALÁZS³

¹ PANNON EGYETEM, VESZPRÉM; ²VASIVÍZ ZRT., SZOMBATHELY;

³BAKONYKARSZT ZRT., VESZPRÉM

Kulcsszavak: teljesoxidáció, együttlrothasztás, zsír lebontás, ATEV, segédanyag, fehérje, veszprémi rothasztás tapasztalatai.

BEVEZETŐ

Mint a jelen tanulmányt megelőző összefoglaló cikkben (Kárpáti, 2018) már említésre került, a szennyvíztisztítás kiépítése során kezdetben csak a nagyobb szennyvíztisztítók primer és szekunder iszapmennyiségének további csökkentésére, stabilizálására történt rothasztó kiépítés. Így volt ez azoknál a nagyobb szennyvíztisztítóknál is, melyeknél nem épült ki előülepítés, hanem teljes oxidációs üzemmódban működtek. Egyértelmű, hogy ezeknél csak szekunder iszap keletkezett, így fajlagos gáztermelésük is meglehetősen gyenge lett. A helyzeten nem sokat javított, hogy a szennyvizek tisztításának általánossá válásával a kisebb tisztítók iszapjának a rothasztása is a nagyobb tisztítók rothasztóinak a feladata lett. A kisebb lakossági tisztítók ugyanis döntően előülepítő nélkül, teljes oxidációra épültek, hogy náluk ne kelljen kétféle iszap kezeléséről gondoskodni. Ezzel

természetesen a nagyobb tisztítók iszaprothasztását kedvezőtlenebbé tették, ugyanakkor iszapbedolgozásukat mind mennyiségben, mind fajlagos terhelésében növelték. Ilyen értelemben ez gázhozam növekedést kellett jelentsen, ami számos tisztító esetében a biogáz termelés növelése révén a nagyobb belső energia visszaforgatásukat is jelenthette. Ez az idegen iszap bedolgozás ugyanakkor szükségszerűsége is az országnak, mert a kisebb tisztítók esetében a keletkező szennyvíziszap megfelelő elhelyezése igen sok esetben megoldatlan. A rothasztott iszap a nyers iszapnál egy fokkal biztonságosabb a mezőgazdasági hasznosíthatóság illetően, a komposztok elhelyezésének a jelenlegi szabályozása, korlátozása tekintetében, ugyanakkor így is komoly problémát jelent a lakosság szennyvíztisztításának a költségigénye oldaláról.

Ezekről a kérdésektől eltekintve a rothasztókban keletkező biogáz viszont valamennyi rothasztónak hasznát jelenthet, ha azt energetikailag, vagy bármiképpen hasznosítani tudja. Ebben a tekintetben alapvető kérdés, hogy van-e valamely rothasztónak terhelésnövelési lehetősége, illetőleg van-e a rothasztó közelében olyan energiahordozó hulladék, melléktermék, amit biztonságosan lehet a lakossági szennyvíziszappal együtt rothasztani. A környező tisztítók iszapjának a rothasztása egyébként nyilvánvaló kötelezettsége a nagyobb tisztítóknak. Ezen túl fölösleges kapacitását egyéb segédanyagok feldolgozására is fordíthatja.

LAKOSSÁGI SZENNYVÍZISZAP EGYÜTTROTHASZTÁSA ALKALMAS SEGÉDTÁPANYAGOKKAL

Hogy valamely üzemben jelentkezik-e szabad kapacitás, az elsősorban a rothasztó helyes tervezésétől, kiépítésétől függ. Ebben a vonatkozásban a rothasztó kapacitása a nyersanyag előkészítés, feladás, felfűtés teljesítményétől, valamint a rothasztó korábban már egyértelműen említett térfogatától, keverésének a kiépítettségétől függ. A rothasztásnál előállítható biogáz hasznosíthatósága természetesen ugyanúgy meghatározó oldala a kérdésnek. Mivel azonban a szennyvíztisztítás jelenleg még egy-két hazai üzem kivételével külső energiát is kell, hogy felvegyen, a biogázból előállítható energiára üzemben belül igény van. Ennek a biztosításához csupán a gázmotorok megfelelő kiépítettsége, kiépítése, illesztése szükséges. Mint a bevezetőben már említésre került, a szennyvíztisztítás

energiaigénye jelentős, a lakossági energiafogyasztásnak mintegy a 2-4 %-a. A tisztítóknak történő fenntartható energiatermelésre, a lakosság energiaéhségének biztosítására ezért elengedhetetlenül szükség van.

A fentieket mi sem bizonyítja jobban, mint hogy a biogáz gyártását ma már nem csak mezőgazdasági hulladékokra, hanem közvetlenül termékekre is kiépítik, annak ellenére, hogy azzal a lakosság ételkészítésének lehetőségét csökkentik. Rendkívül fontos tehát a szennyvíztisztításban megfelelő kapacitások, illetőleg azok hasznosítására szóba jöhető hulladékok feltárása. A hulladék megnevezés azonban ebben a vonatkozásban meglehetősen zavaró, hiszen egy ételkészítés termék, ha lejár a garanciája, törvényileg hulladéknak minősül, holott az esetenként még akár ételkészítésként is forgalmazzák, hasznosítják. Hasonlóan hulladéknak minősülnek a különböző ételkészítés gyártások termék-váltásainál keletkező keverék termékek, vagy fermentációs maradványok is. Ezek többnyire megfelelő sterilitással rendelkező anyagok, tehát az iszaprothasztásban különösebb termikus fertőtlenítés nélkül hasznosíthatók, a mezőgazdaság számos nyers termékéhez, állattartási maradékához hasonlóan. Az állati trágya ilyen tekintetben csak annyiban tekinthető fertőzésmentesnek, hogy nem emberi fogyasztás végterméke.

Bonyolultabb a helyzet a lakosság mindennapi kis, vagy nagykonyhai termelésének a maradvékjaival. Az első szeparált gyűjtése megoldhatatlan, az vagy a szennyvízbe, vagy a szilárd

hulladékba kerül. Végül is mindegyikre megfelelő gyűjtés, szállítás biztosítja a továbbfelhasználás lehetőségét. Az éttermi hulladékok ilyen gyűjtése és kármentesítése a nagyobb városokban, mint fővárosunk megfelelő gyakorlattal is bír. Az élelmiszer-termelésnek a hasonló hulladékaik üzemekben keletkeznek, s onnan kerülnek szervezett elszállításra valamelyik rothasztóba (lakossági iszaprothasztó, vagy mezőgazdasági biogáz üzem). Külön hulladékfajta az éttermeknél kötelezően kiépítésre kerülő zsírfogókból szippantott zsíros iszap. Ennek a további feldolgozása (rothasztás, vagy komposztálás) már nem jelent akkora higiénés biztonságot, mint az előzőeké, mégis többnyire termikus sterilizálás nélkül kerülnek rothasztásra a lakossági szennyvíztisztítóban. Ez bizonyára azért van így, mert a kisebb rothasztók esetében a termikus sterilizálás kiépítése a kis mennyiségű ilyen hulladék esetén annyira drágítaná az előkezelést, hogy az üzem inkább lemondana arról.

Különleges alapanyaga a rothasztásnak a tejiparban, fagylaltgyártó üzemeknél jelentkező visszáru, termelési hulladék. Elvileg ez steril, tehát a lakossági rothasztókba bedolgozható. Gondot jelent azonban annak a csomagolása, ami rendszerint különös előkezelést, szeparációt igényel. Ezért nem is kedvelt hulladék a lakossági szennyvíztisztítók rothasztóinak. Hasonló, mégis lényegesebb tiszta szerves tápanyag ugyanakkor a rothasztáshoz a tejüzemek szennyvíz előtisztítóiban szeparálható zsír és fehérje (flotátum). Mivel ez szennyvízből kerül kivételre, sterilizása elvileg megkérdőjelezhető. Ha azonban azt szeparált

technológiai vízből távolítják el, nem lehet fertőzött emberi fekáliával, s közvetlen anaerob rothasztása ellen nem merülhet fel kifogás.

Másként vetődhet fel a sterilitás kérdése az ATEV üzemekből kibocsátott biogáz alapanyagánál, amely termikusan és nyomástartás mellett sterilizált anyag, s ez még a szennyvíztisztítóik iszapjára is akár érvényes. Az elsőt a legnagyobb hazai tisztítóink közvetlenül juttatják a rothasztókba. Az ilyen döntően fehérjét tartalmazó, újrahasznosíthatatlan melléktermékekben a fehérjetartalom minimálisan 15 % körüli, míg mellette további 3-4 % zsír is van. Ennek megfelelően rendkívül energia gazdag, de a nagy fehérjetartalma miatt a feldolgozás csak kellő óvatossággal történhet. Könnyen okozhat a zsírtartalma miatt erős savanyodást, illetőleg a fehérje miatt hasonló felhabzást. Bizonyára számos hazai biogáz üzem is fogad ilyen tápanyagokat, melléktermékeket, amit az bizonyít legjobban, hogy a korábban ilyen hulladékot fogadó lakossági szennyvíziszap rothasztókból az ilyen hazai termék igen nagy része eltűnt. Nyilván másutt kerül feldolgozásra. A mezőgazdasági biogáz gyártásnak a gázhozamát az ilyen alapanyag igen kedvezően alakíthatja. Azoknál egyébként igen sok esetben állati trágya rothasztására is sor kerül annak az előzetes stabilizálása nélkül. Az ATEV alapanyag tehát a technológia veszélyességén semmiképpen nem ronthat. Más lehet a helyzet a nem erről a vonalról bekerülő vágóhídi maradékok esetében, melyeknek ugyancsak komoly felvevői a hazai mezőgazdasági biogáz üzemek.

A LAKOSSÁGI SZENNYVÍZISZAP ROTHASZTÁS SZERVES ANYAG TERHELÉSE NÖVELÉSÉNEK REALITÁSA

Végül meg kell említeni a hús–keményítő–fehérje alapanyagú emberi, vagy állati élelmiszer előállító üzemeket, melyeknél a gyártás során keletkezik a fenti komponenseket többnyire főzött, sült, formában tartalmazó hulladék. Ezek az ATEV sterilizált termékéhez hasonlóan közvetlenül kerülhetnek anaerob rothasztásra, metanizálásra. Jelentős ilyen anyagokból a két kisebb budapesti szennyvíztisztító rothasztójának a bedolgozása. Ez eredményezi, hogy ezek az üzemek ma már teljes villamos energia igényüket fedezni tudják a keletkező biogázuk energiatartalmának a villanyárammá történő alakításával.

Különös eset hazai vonatkozásban az állati eledel gyártás fentiekhez hasonlóan keletkező steril hulladéka (Czakó et al, 2017). Ennek a feldolgozására a fentiekhez hasonlóan alkalmas a lakossági szennyvíziszap rothasztás, ha annak a felesleges kapacitásához a hulladék keletkezése, mennyisége, formája, előkészítés igénye megfelelő. Az állati eledel gyártás alapanyagainak egy része éppen az ATEV újrahasznosításra engedélyezett terméke. Ezek főzéssel sterilizált hús alapanyagot, valamint keményítőket, rostanyagokat is tartalmaznak. Hulladékuk a gyártásközi termékértékesítés, vagy visszáruként jelentkezik.

A terhelés növelését a fentiek alapján célszerűen zsír és fehérje adagolással célszerű végezni. A gyakorlatban azonban tiszta zsír hozzáadása azért nem realitás, mert annak a kereskedelmi forgalmi értéke még a legcélszerűtlenebb égetésre is nagyobb, mint amennyi abból egy biogázosítással kihozható. Ennek a következménye, hogy napjainkra az ATEV üzemeknél a zsírt szeparálják a húsfőzetből, s a takarmányiparnak adják el. Ha a minősége erre nem megfelelő, saját kazánjaikban égetve is hasznosíthatják, míg bármilyen rothasztásra történő értékesítés esetén az ATEV-nek abból csak költsége származik. Ezen túl a különböző zsírfogókból, vagy kisebb üzemek zsíros hulladékaiból juthatnak a lakossági iszaprothasztók nagyobb zsírtartalmú hulladékhoz.

A hazai gyakorlat azt mutatta, hogy a délpesti szennyvíztelep rothasztójában 2007-ben a fenti ATEV hulladék mintegy a rothasztó terhelésének a harmadát is elérte. Mivel ekkor még nem működött az észak-pesti rothasztó, ezzel az anyagmennyiséggel a dél-pesti túlterheltté vált. Ez mintegy 6-7 kg szerves anyag/m³.d térfogati terhelésnél következett be. Fajlagosan tehát 4 volt a lakossági és 2-3 az ATEV terhelés. A problémát a rothasztó erős habzása és egyidejű savanyodása okozta. Hiába rendelkezett a rothasztó két szinten is működő mechanikus keverőkkel és habtöréssel, az egyik rothasztót le kellett állítani.

A gyakorlat tehát bizonyította, hogy ennél nagyobb terhelést vegyes fehérje és zsírtelítést a legjobban kiépített hazai rothasztó sem tudott elviselni, holott ebben a rothasztóban nem is történt belső gázkeverés, ami a felhabzást erősíthette volna.

A többi hazai szennyvíziszap rothasztók a dél-pesti egységeknél messze kisebb terheléssel üzemeltek, ennek ellenére például a soproni rothasztónál sokkal kisebb terhelésnél is komoly üzemzavart okozott a valamilyen hasonló összetételű állatieledelel gyártási hulladék (Czakó et al., 2017). Itt persze más okai is lehettek az üzemzavarnak. Talán elsősorban a rothasztó keverésében, megfelelő termosztálásában kereshető a hiba.

Ezek mellett különleges, nagyobb részarányú segédanyag hasznosítás folyik a veszprémi szennyvíztisztító iszaprothasztójában. Ott a rothasztó iszapterhelése mintegy 2 kg KOI/m³.d, amihez mintegy 1 kg tejipari iszap KOI/d rothasztás is történik. A rothasztók mechanikai keveréssel vannak ellátva, s úgy tűnik, ez a terhelés a megengedhető határ esetükben. Tudni kell, hogy a tejipari iszap mintegy fele-fele arányban tartalmaz tejsírt és tejfehérjét. A döntő része a tejüzem és a jégkrém gyár flotálóinak a leföldrőzött iszapja (Volf, B., 2017).

Igen érdekes az is, hogy a segédanyag összetételének a kérdésével nem foglalkoztak a fehérjét és szénhidrátot illetően a korábbi kutatások sem, bár számos esetben keményítőgyártás hulladék iszapjának

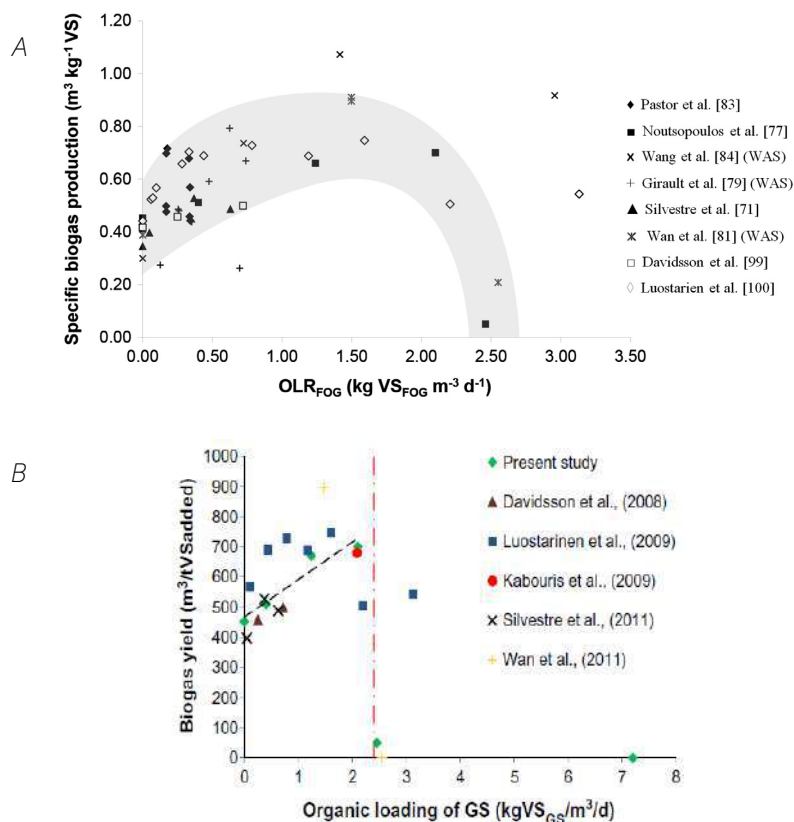
a feldolgozásáról is szó esett. Ami annak a rothasztási lehetőségét illeti, meggyőző, hogy az intenzív anaerob rothasztás (szennyvíztisztítás) ilyen hulladékokkal idehaza több helyütt is megvalósult. Csemegekukorica feldolgozó üzemben, szeszgyárban, sörgyárban, sőt legnagyobb kapacitással Kaposváron a cukorgyárban. Ott répaszeletet alakítanak rothasztással biogázzá, s viszonylag nagy terheléssel tudják terhelni a rothasztójukat. Mintegy 7 kg szerves anyag/m³.d ez az érték, s a répaszelet mintegy 80 %-os hatásfokkal alakul biogázzá. Ez az alapanyag tisztán szénhidrát és fehérje. Semmilyen más nyersanyag bevitel nem zavarja lejátszódó folyamatokat. Ez a hosszú szénláncú zsírsavak keletkezése tekintetében nagy előny. A lebomlás során nagy mennyiségű ammónium szabadul fel. Az iszapvíz átlagos ammónium koncentrációját azonban a termelődő gáz elnyelődése termelte alkalinitás kellően kompenzálja. Ennek a tisztításnak is az a problémája azonban, mint általában a növényi alapanyaggal dolgozó biogáz üzemeknek, hogy az iszapvíze mintegy 10 g/l KOI szennyezettségű, s abból ez az oldott rész gyakorlatilag eltávolíthatatlan.

A legújabb külföldi kutatások viszont részletesen vizsgálták a szennyvíziszap keverékek összetevőinek, elsősorban zsírtartalmának a szerepét az együttrothasztásnál (Kabouris, 2009 a,b; Boe et al., 2010; Astals et al., 2014; Nghiema et al., 2015; Kim et al., 2017; Cook et al., 2017; Xie et al., 2017). Megállapítható, hogy az ipari gyakorlatban a zsíros iszap ezeknél is valamilyen nagyobb zsírtartalmú vegyes terméket jelent. Általában kisterhelésű rothasztókhoz

történt a zsíros anyag adagolása, nyilvánvalóan a szabad kapacitásuk miatt. Azt, hogy a belső keverésük hogyan volt biztosítva, nem lehetett minden esetben pontosítani. Megállapítható azonban, hogy a zsíros anyag adagolása mértékének határa van, amit az 1. ábra szemléltet.

Az **1. ábra** a két hivatkozott cikken túl sok hasonló mérési sor adatait is bemutatja. Az egyes hivatkozott adatok forrásmunkáinak hivatkozásától eltekintve megállapítható, hogy már kisebb dózisú zsírszapp adagolás (0,2-0,5 kg zsír/m³.d) is növeli a rothasztás fajlagos gázhozamát, míg a 0,5-1,5 kg/m³.d

zsírbevitel egyértelmű javulást hoz. Mintegy 2 kg zsír/m³.d adagolást azonban nem javasolják túllépni, mert az már csökkenő fajlagos eredményez. Lehetett persze ez ilyenkor esetleges nitrogénhiány eredménye volt a főleg kis terhelésű anaerob rothasztóknál. A 2,4 kg zsír/m³.d adagolást akkor találták megfelelőnek, ha az mintegy 60 % volt csak a teljes szerves anyag bevitelnek, tehát minimum 40 % a szennyvíziszapból származott. Ezeknél a méréseknél egyébként mintegy 3,5 kg/m³.d összes szerves anyag terhelést alkalmaztak, ami elég nagy. A habzás okozta problémákról nem tettek említést cikkek.



1. ábra A és B: Fajlagos biogáz hozam lakossági szennyvíziszap és húszüzemi zsírfogók zsírszappjának a mezofil együttrothasztásakor. Ordináták: fajlagos biogáz hozam – m³/kg szerves anyag –, abszcissza: fajlagos zsírterhelés – kg zsír/m³.d. (A – Luostarinen, et al., 2009; B – Noutsopoulos et al., 2012, 2013)

Nagyon figyelemre méltó a külföldi kutatásoknak az az iránya is, amely az anaerob rothasztás biológiai modellje (Batstone et al., 2002; Arnell et al., 2016; Xie et al., 2016) alapján igyekszik behatárolni a zsír/fehérje/szénhidrát komponenseket tartalmazó hulladékok anaerob rothasztásának, terhelhetőségének a határait (Cook et al., 2017). Ezt elvégezték arra a változatra, amikor primer és szekunder szennyvíziszap 1-1 kg KOI/m³.d terhelése mellett növelték a három említett külső tápanyag bevitelét mintegy 9 kg KOI/m³.d határig a legváltozatosabb segédanyag összetételekkel végezve azután modellezést. Ez a vizsgálat a szennyvíziszap segédanyagokkal történő együttrothasztás kinetikai modelljével, illetőleg annak a kalibrációjával dolgozott. Végeztek ilyen modell vizsgálatot lakossági szennyvíziszap nélkül is ugyanilyen terhelés tartományban. Ez a változat a mezőgazdasági biogáz üzemek esetére történt. Szennyvíziszap keveréknél a segédanyag mintegy 7-20 % fehérje tartalma között várható legbiztosabb üzem. Alatta a szennyvíziszap fehérje tartalma kevés

nagy mennyiségű segédanyag biztonságos rothasztásához. Hogyha viszont nincs is szennyvíziszap a rothasztóban (biogáz üzem) a feldolgozandó nyersanyag 20-30 % fehérjét kell, hogy tartalmazzon a biztonságos üzemeltetéshez. A nyersanyag-keverék zsír és szénhidrát tartalmának az aránya ezen túl egyik esetben sem volt befolyásoló **(2-3. ábrák)**. Ez érdekes igazolása annak, hogy az anaerob mikroorganizmusoknak a fehérje, illetőleg annak a redukált nitrogénje elengedhetetlen tápanyag a szaporodásukhoz, míg a zsírsavak és a szénhidrátok a savtermelésükkel egyaránt metanizálás alapanyagát szolgálják.

A modellezést, mindkét esetre (2. ábra – szennyvíziszap és zsír/fehérje/szénhidrát tartalmú segédanyagok; 3. ábra – ugyanezen segédanyagok legkülönbözőbb keveréke szennyvíziszap nélkül) vizsgálták, s az azoknál kapott, szóba jöhető terhelési és összetétel határokat különleges minősítő skála segítségével mutatták be. A skála hét paraméter alakulása alapján készült jósági fokkal jellemzett üzembiztonság **(1. táblázat)**.

1. táblázat: A megfelelőséget minősítő paraméterek és tartományaik (Cook et al. 2017)

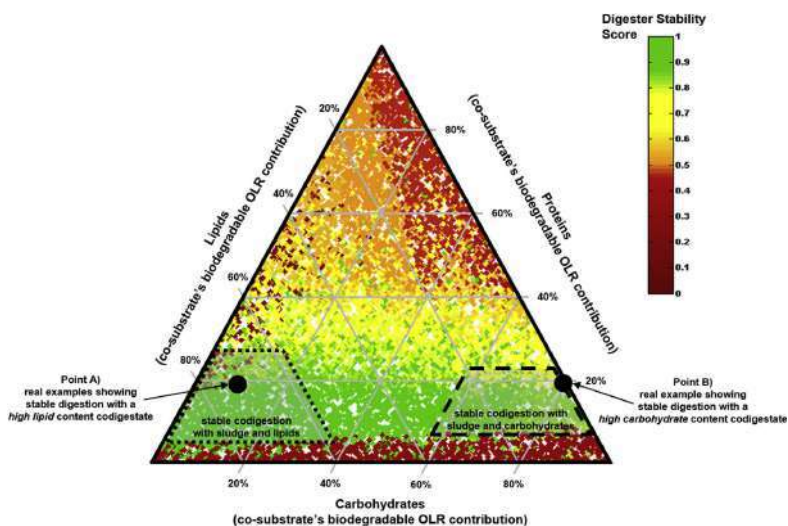
(Az üzembiztonság megítélésének kiemelt paraméterei és ajánlott értékei.)

Stability indicator	Units	Stable values	Citations
Biogas composition	% Methane (by volume)	Minimum 55	(Ferrer et al., 2010; Tchobanoglous et al., 2003)
pH	(–)	6.1–8.3	(Ferrer et al., 2010; Grady et al., 2011; Tchobanoglous et al., 2003)
Alkalinity	g CaCO ₃ /L	2–20	(Alvarez et al., 2010; Astals et al., 2012; Murto et al., 2004; Tchobanoglous et al., 2003)
Free ammonia	mg NH ₃ -N/L	maximum 200	(Chen et al., 2008; Parameswaran and Rittmann, 2012; Tchobanoglous et al., 2003; Wang et al., 2012)
Total VFA	mg COD/L	maximum 3250	(Ferrer et al., 2010; Hill et al., 1987; Kusowski et al., 2013)
Ammonium	mg NH ₄ ⁺ -N/L	maximum 5000	(Parameswaran and Rittmann, 2012; Tchobanoglous et al., 2003)
Long chain fatty acids	mg COD/L	maximum 1400	(Neves et al., 2009; Salminen et al., 2000)

Mindegyiknél 0-1 között negyedenkénti léptéssel kapott biztonsági értéket az adott paraméter alakulására. Tehát mindegyik paraméter alapján annak a biztonsága 0, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ és 1 lehetett. Az 1. táblázat mutatja a hét biztonsági kritériumnak ítélt paraméter eszerinti vizsgálatát. Végül a hét értéket átlagolták, s így egy átlagos érvényes biztonsági fokot kaptak, ugyancsak 0 és 1 között. A ranking, vagy megfelelőségi besorolás, osztályozás pontos elkészítésének módját a 2017-ben publikált cikk részletezi (Cook et al., 2017), s az egyes paraméterekre hivatkozó forrásmunkák is abban adóttak. Ugyanez igaz a **2. ábra** forrásmunkáinak megjelölésére is.

Nagy hiányossága a diagramnak, hogy nem érzékelteti a fajlagos szerves anyag terhelés

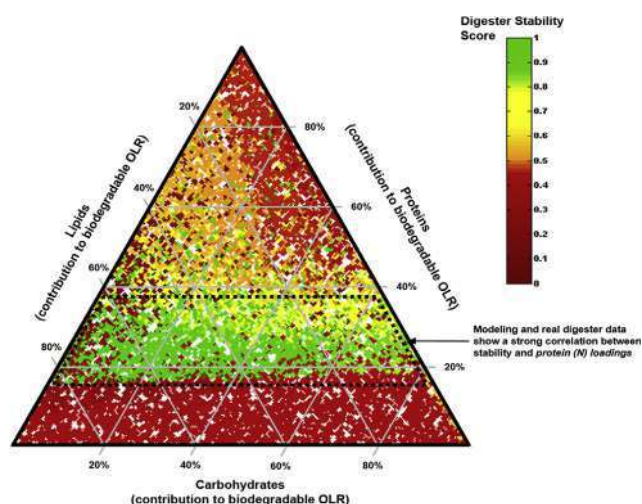
hatását. Azt is bemutatni egy háromszög alapú oszlop diagram kellett volna. Ezt bizonyára elkészítették ugyan, de valamilyen okból, például nagy szórás, nem mutatták be. Ez a szórás ugyanakkor már a 2-3 ábrákon is jól megfigyelhető az esetenkénti jelentős színkeveredésekben. A 2-3 ábrán hét üzemeltetési paraméter értéke alapján készítettek összegzett biztonsági mérték, (0-1 tartományban) alapján történt átlag behatárolása és biztonsági megítélése látható. A diagramban a színnek nem csak az összetételre, de az összes terhelésre is jellemzőként kerültek feltüntetve, de a terhelések abból ez semmiképpen nem ítélt meg. Az utóbbi tehát sajnos nem látható az ábrából, csak a három fő tápanyagtípus hatása.



2. ábra: Nyersanyag összetétel és az együttrohasztás üzembiztonsága közötti összefüggés szennyvíziszap és a segédanyagok három meghatározó komponense (fehérje/zsír/szénhidrát) arányai függvényében (modellezés). Az összetétel a hozzáadott segédanyag összetétele. A modellezés kiindulási érték volt $2 \text{ kg KOI/m}^3 \cdot \text{d}$ lakossági szennyvíziszap térfogati terhelés, míg ahhoz adták a segédanyagokat az ábrán látható összetételekben, a kompozíciók dózist 0-9 $\text{kg KOI/m}^3 \cdot \text{d}$ között változtatva. A biztonsági értéket az egyes összetételekre az ábra jobb felső oldalán látható magyarázó melléklet színei jelzik.

Nagyon fontos a 2. ábra kapcsán megjegyezni, hogy az abban feltüntetett, A pontnak megfelelő összetételű szennyvíziszap-zsírforogó iszap keverékek üzemi rothasztására is sor került, sikeresen (Davidson et al., 2008; Miot et al., 2013). Egyik esetben 1,9, másik esetben 2,1 kg KOI/m³.d alatt maradt a szennyvíziszaphoz hozzáadott zsíriszappal bevitt fajlagos terhelés. Ez az 4. ábrán látható terhelésnek közel az optimauma. Feltehetően ezeknél az üzemi eseteknél ezért a rothasztó szennyvíziszap és teljes szerves anyag terhelése elég kicsi volt, ugyanakkor közeli a **3. ábrán** látható egyúttrothasztás 2 kg összes szennyvíziszap KOI/m³.d értékhez, hogy a bemutatásának abban legyen értelme. Emellett az is megállapítható az A pont példáiból, hogy a zsírterhelés nem volt 1,5 kg zsír/m³.d fölött, ami a **4. ábra** szerint így kedvező iszap keverési arány lehetett.

Ugyanilyen modellezéssel vizsgálták a tápanyag C:N arányának és a megengedhető térfogati terhelésének a határait is a segédanyagoknak a lakossági szennyvíziszap nélküli rothasztására (biogáz gyártás), aminek a konklúziója a 3. ábrán látható. Jól megfigyelhető a két ábrából, hogy a lakossági szennyvíziszap már maga is jelentős mennyiségű fehérjét visz be a rothasztás modellezésénél vizsgált keverékbe, így sokkal kisebb az ábrák talpvonalán látható biztos üzemzavarhoz vezető barna sáv. Ha nincs ellenben ez a fehérje mennyiség a keverékben, sokkal nagyobb fehérjetartalom kell, legyen a keverékben a biztos üzemzavar elkerülésére

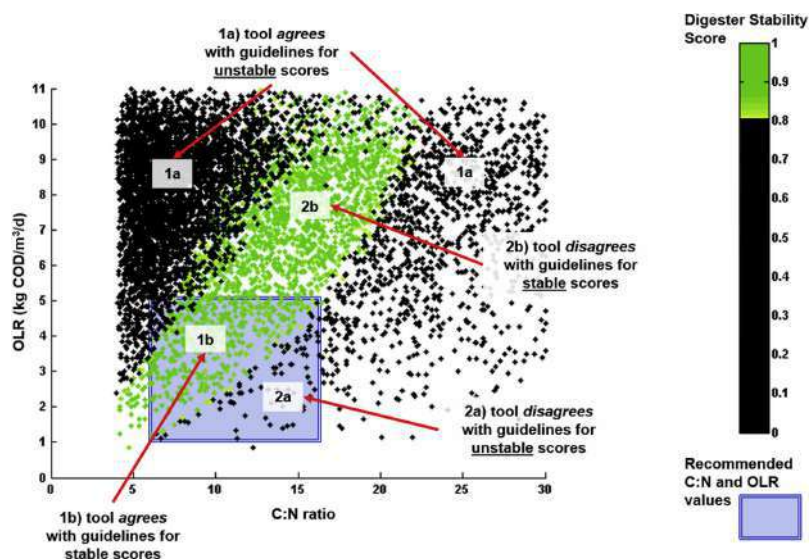


3. ábra: A biogázgyártás tápanyag összetételének hatása az üzemeltetés stabilitására.

(biogáz gyártás). A 3. ábrán látható terner diagram belső pontjai a szennyvíziszap nélküli rothasztás esetére mutatják a három fő komponens arányát.

A színek ebben is a biokinetikai modell becsülte üzembiztonságot mutatják, hasonlóan a 3. ábrához. Az iszapterhelést 1-11 kg COD/m³.d között változtatták, de a terhelés hatása az ábrából megbecsülhetetlen.

A fentiekben többször idézett cikk végső, összszegző megállapítását a 4. ábrán adta meg. Elég pontosan kijelöli a gyakorlatban is szóba jöhető iszapterhelés tartományokat, természetesen laboratóriumi kísérletekkel kalibrált modell eredményeit is feltüntetve. Ez utóbbit már csak a 0,8 alatti és feletti biztonság feltüntetésével.



4. ábra: Tápanyag összetétel (C:N arány) és a szerves anyag terhelés biztonsága a rothasztásnál. A keretezett négyzet az üzemi tapasztalatok alapján javasolható tartomány (Stroot et al., 2001; Tchobanoglous et al., 2003). 30 fölötti C:N arány nem került feltüntetésre, mert 0,8 alatti biztonságot mutattak.

A kalibrációhoz használt laborkísérleteknél azonban a rothasztás feltételeit, paramétereit egyszerűen be lehetett állítani, a keverést tökéletessé lehetett tenni, s talán ekkor a felhabzás sem okoz különösebb gondot. Más kérdés, hogy ezekre sem adták meg az iszapvíz maradó szennyezettségét, s az iszap vízteleníthetőségét sem. Ettől függetlenül az iszaprothasztás szóba jöhető fajlagos szerves anyag és C:N arányainak tartományaira a korábbi külföldi üzemeltetési tapasztalatoknak megfelelően elfogadhatjuk a négyzet kerettel kijelölt tartományt.

Látható abból, hogy a modellezés ugyan ki-zárja annak egy részét, de a gyakorlat még-sen a modellezés egyértelmű tapasztalatait bizonyítja. A nagyobb terhelés a négyzet bal

felső sarkában éppen azt a tartományt mu-tatja, ahova a rothasztás a mintegy 10 C:N arányú lakossági szennyvíziszap nagy fehérje tartalmú segédanyagokkal juttatható. Ekkor a rendszerben igen jó lesz a mikroorganiz-musok nitrogénellátása, de az 5 kg KOI/m³.d csupán 3,2 kg szerves anyag /m³.d terhelés-nek felel meg. Ekkora terhelésig a keletkező ammónium mennyisége (iszapvíz ammóni-um tartalma) még a gyakorlat alapján nem veszélyes az üzembiztonságra. A négyzet jobb alsó sarkában viszont a gyengébb nitro-géntartalom mellett a kisebb terheléssel tör-ténő üzemeltetés tűnik a modellezés szerint problémásnak. Ebben az esetben éppen a kis terhelés miatt a lebontás ideje lesz nagyobb, ami várhatóan kompenzálja a gyakorlatban a modellezésnél kapott kedvezőtlen hatást.

Igen érdekes az adatokból az is, hogy a 2. ábra A pontja még éppen a $4 \text{ kg KOI/m}^3 \cdot \text{d}$ összes szerves anyag terhelés alatt kellett legyen, hogy a nagy átlagos zsírtartalma összejöheszen. Ez pedig a 4. ábra szerint feltehetően még az 1b tartományba tartozó terhelés és iszap C:N arány pont ott jelentett, ami mindenképpen biztonságos üzemeltetési tartományban van. A szennyvíziszap szerves anyagának hatásán túl nem szabad megfeledkezni annak a mikro-tápanyag (fém) tartalmáról sem, ami a mezőgazdasági biogáz üzemek alapanyagaiban eltérő összetételben és mennyiségben várható. Hatását a modellezéssel végképpen nem vizsgálták a szerzők.

A fentiek alapján megállapítható lehetne, hogy az anaerob iszaprothasztásnál a térfogati terhelés akár a hazai tapasztalat kétszeresét is megengedné. Nem szabad azonban ilyen következtetést levonni a modellezés, szimulációk eredményeiből, azok ugyanis csak a szóba jöhető reakciókat, s azok sebességeit, termékeinek az átalakulását vizsgálják. Nem veszik figyelembe a rothasztásnál alkalmazott keverés hatását, a fehérjék átalakításánál keletkező felületaktív átmeneti termékek (lipoproteinek) habzást eredményezhető hatását, a rothasztás eredményeként keletkező iszapvíz szerves anyag tartalmát, sőt a maradék iszap vízteleníthetőségét, szeparálhatóságát sem. Az együttrothasztásnál ezért mind a külföldi, mind a korábban bemutatott hazai, elsősorban dél-pesti tapasztalatokat okvetlenül figyelembe kell venni, mind a terhelési arányok, mind az együttrothasztásra hozzáadásra kerülő segédanyagok tekintetében.

HABZÁS AZ ANAEROB ISZAPROTHASZTÁSNÁL

Fontos a fentiek mellett általánosságban foglalkozni az együttrothasztásnál várható habzás kérdésével is, melynek alapján minden rothasztónál megítélhető az együttrothasztás terhelésnövelésének és a vele járó felhabzás veszélyének a mértéke.

Ezt a jelenséget az elmúlt évtizedekben igen sok lakossági szennyvíztisztító iszaprothasztójában észlelték (Ganidi et al., 2009, 2011; Nghiema et al., 2017). Komoly hatása volt az iszapterhelésnek a rothasztás teljesítményére, s a jelentkező iszaphabzásra. Esetenként a gázelvételt blokkolta a gázelvétel csöveiben történő szilárd anyag kiválással, eltömődéssel, máskor a recirkulációs szivattyúk szállításánál okozott gondot, esetenként pedig az úszó tető működését zavarta az erős habképződés, majd hirtelen letörés (megszűnés). Ross és Ellis (1992) szerint a habzás oka az anaerob környezetben a szerves anyaggal történő túlterhelés és azzal történő nagy túlzott ecetsav termelődés volt. Barber (2005) és Barjenbruch et al. (2000) később az elégtelen keverést, a hőmérséklet jelentős fluktuációját, a lökésszerű terheléseket, az extracelluláris poliszacharidok (EPS) túlzott részarányát és hidrofób anyagok jelenlétét (bevitelét és keletkezését) vélték keletkezése legfőbb okainak (Ganidi et al., 2009).

A felületaktív anyagok vagy eredendően ilyen tulajdonságú komponensei lehetnek

az iszapoknak (zsírok, fehérjék), vagy a hidrolízis során alakulhatnak ilyen átmeneti termékekké. Rajtuk kívül természetesen az olajok, nagyobb móltömegű zsírsavak, detergenssek, és a finom részecskeméretű szilárd anyagok is habképző hatással bírnak (Barber, 2005; Ganidi et al., 2009, 2011; Nghiema et al., 2017). A lebontás során keletkező felületaktív komponenseket (hidroxilált és egymáshoz kapcsolt zsírsavak, glikolipidek, fehérjék, lipoproteinek, foszfolipidek és poliszacharid-lipid komplexek) biosurfactant névvel illetik.

Moeller és társai (2012) véleménye szerint a habzás kialakulásában a legfontosabb komponensek a fehérjék. Ezek az alapanyaggal nagy mennyiséggel érkeznek a rothasztóba. Egy részük már az aerob lebontás során keletkezik a már említett EPS polimerként, s döntően a sejtek kapszuláihoz, részecskéihez kötődve (partikuláris anyag) érkezik oda (Ganidi et al., 2009; 2011). Ha a betáplálás ilyenkor hosszabb idő intervallumonként történik, ami nagyobb dózisokat is jelent, lehetőség van koncentrációjuk ugrásszerű növekedésére, s vele erősebb felhabzásra. Ilyen betáplálás esetén napi 4 kg szerves (száraz) anyag/m³ (Organic Loading Rate - OLR) terhelés rendszerint már súlyos túlterhelésnek számít (Oelsner et al., 2007). Egyébként a fehérjék meghatározó szerepére utal az is, hogy az erősen habzó rothasztókban az iszapvízben rendszerint nagy ammónium koncentráció is jelentkezik, ami a fehérjék lebomlásának az eredménye (Moeller et al., 2012).

A habképződés okát Oelsner (2007) is az üzemeltetésben is látja. Szerinte is egyértelműen habzáshoz vezet, ha a rothasztó szerves anyag terhelését 4 kg/m³.d fölött tartják. Ez egyébként 6 kg KOI/ m³.d terhelésnek felel meg. A rothasztandó iszap nagy fehérje és könnyen bontható szerves anyag tartalma, no meg, ha azok nagy finom részecske mennyiséggel (koncentráció) érkeznek, a fenti terhelés fölött nagymértékben felgyorsítják a habzás jelentkezését (Oelsner, 2007; Moeller et al., 2012)

A fehérjék nagy molekulatömegű komplex vegyületek melyek mérete 14.6-250 kDalton között oszlik el (Clarkson et al., 1999), és nem oldódnak, illetőleg ülepednek különösebben a szennyvízben. Az előülepitésnél a nyersvíz ülepedő anyagához kapcsolódva kerül kis hányaduk (10 % körüli) a primer iszapba. A szekunder iszapba kerülő részük részben átalakítva sejtfehérjeként és EPS-ként jelentkezik. Ezek is döntően partikulárisak, bár valamivel már jobb az oldhatóságuk, ami az anaerob rothasztóban a hidrolízis révén tovább javul. Ettől függetlenül döntő részük az egyéb lebegő részekhez, a mikroorganizmusokhoz tapadva lesznek jelen az iszapkeverékben, így felületi aktivitásuk egyértelműen érvényesülhet. A rothasztóban működő mikroorganizmusok exoenzimjeikkel (proteasok és peptidázok) az eredeti fehérjéket, zsírokat tovább darabolják, majd hasznosítják sejteik építésére (szaporodás) elsősorban szerves szénforrásként. A sejtekben az aminosavak

szerves savakká és ammóniummá alakítják, melyek azután részben visszakerülnek a folyadékfázisba (Gerardi, 2003).

A fehérjék speciális micelláikkal ugyanakkor egyértelműen habképzők. Számos fehérje kritikus micellaképzési koncentrációját pontosították az elmúlt évtizedekben a kutatók. Ezzel együtt az a vélemény az uralkodó, hogy a rothasztókban a fehérjék ilyen értelmű hatása jóval erősebb, mint a zsíroké, mert a felületi aktivitásuk nagyobb, lebomlásuk pedig lassúbb azokénál. A cellulóz, hemicellulóz lebomlási termékei e tekintetben kevésbé felületaktívak, s lebomlásul még lassúbb is. Sok kutató állította már, hogy a rothasztók túlterhelése egyik oka lehet a habzásuknak (Pagilla et al., 1997; Barjenbruch et al.; Barber, 2005). Az ok talán elsősorban a lebomlásuk üteme, amely felületaktív termékek felhalmozódását

eredményezheti. A **2. táblázatban** láthatók a hagyományos mezofil lakossági iszaprothasztók terhelési tartományait.

Ez nagyon szélesnek tűnik (0,7–7,2 kg szerves anyag/m³.d), de Brown (2002) véleménye alapján 4,5 kg szerves anyag /m³.d fölött egyértelműen habzás várható. Ez persze a lakossági iszapra igaz, s lehet, hogy kevés zsír, netán jól bontható szénhidrát adagolásával ezen a határon is túl lehet lépni. Más közlemények ilyen egyértelmű összefüggést a terhelés és habzási hajlam között nem állapítottak meg. Ennek megfelelően nincs egyértelmű határ, hiszen a rothasztókba bevitt szennyvíziszap összetétele sem tekinthető mindenütt azonosnak. Nyilvánvalóan minden egyes rothasztóra a terhelési határ az alpanyagon túl a rothasztó kialakításától is nagymértékben függ.

2. táblázat: Mezofil szennyvíziszap rothasztók jellemző fajlagos terhelési tartományai
(Hivatkozott szerzők Ganidi et al. (2009) cikkében)

Forrás	Tipikus szerves anyag terhelés (kg VS m ³ .d ⁻¹)
Handbooks of UK Wastewater Practice (1996)	0.8–1.6
Water Pollution Control Federation (1996)	1.5–6.2
Metcalf and Eddy (2003)	1.6–4.8
Brown (2002)	<4.5
Lamelot (2004)	<2.5
Harrison et al. (2004)	Max. 2.75
Bolzonella et al. (2005)	1
Braguglia et al. (2007)	0.7–1.4
Zupancić et al. (2008)	0.8
Cartmell and Chinaglia (2009)	1.7–3.4

Talán egyértelműen megállapítható, hogy a keverés, és a rothasztó alakja is meghatározó a rothasztó működésében. Egyértelműnek tűnik, hogy a gázfáklyás keverés, illetőleg bármilyen túlzott mértékű keverés növeli a habzás veszélyét, de óvatossá kell lenni a felületaktív anyagokkal történő terhelésre is, mert a gázbuborékokhoz tapadva azok stabilitását megnövelik, s így stabil habképződéshez vezethetnek. Ugyanez igaz részben a finom részecskékre is, különösen, ha az anyaguk felületi aktivitást is biztosít.

Ennek megfelelően, bár igen széles terhelési tartományt ajánl az irodalom, a mindenkori tápanyag, sőt a rothasztási maradék minősége (összetétele) erősen befolyásolja a rothasztók terhelhetőségét, pontosabban azt a terhelést, melynél a habzás üzemzavart okozhat. Ezen túl, mint láthatták a rothasztó kialakítása, keverése, netán felső habtörés, vagy habzásgátló vegyszerek adagolása is meghatározó, bár az utóbbiak már inkább az üzemeltetés kényyszerű módosításait jelentik.

Ehhez alapvető a segédanyag, vagy tápanyagok összetételének ismerete, s beérkezésük, bekeverésük, adagolásuk pontos hangolása az üzemeltetés egyenletességének biztosításához. A fenti három tápanyagcsoport ugyanis eltérő sebességgel hidrolizál, alakul illó savakká, ecetsavvá, majd metánná és széndioxiddá. Ezek az átalakítások legjelentősebben a pH esetenkénti ugrásszerű változtatásával zavarhatják a biogázzá alakulás utolsó lépcsőjét, a metanizációt. A savasságot okozó vegyületek között a nagyobb

molekulatömegű illósavak közvetlen hatása fokozottan káros a metanizálók sejtmembránjának blokkolásával a folyamat haszonanyag termelő utolsó lépcsőjére.

EGYEDI ROTHASZTÓK HAZAI TAPASZTALATAI

Az alapvető kérdés, a fentiek alapján, hogy a szennyvíziszap keverék „fehérje” tartalmát milyen mértékben szabad növelni a rothasztáshoz külső fehérjével, hogy az még ne okozzon üzemeltetési problémát (kivédhetetlen habzás, ill. elviselhetetlen vízteleníthetőség romlást). Ezt elég kevés ilyen anyagot fogadó üzem gyakorlatából értékelhetjük. Valójában csak a két pesti tisztító rothasztása, illetőleg a soproni tisztító példája lehet iránymutató. Valamelyest hasznosítható még a veszprémi rothasztás tapasztalata is, de az ott adagolt flotált zsíriszap összetételét eddig még senki nem pontosította, becslés alapján elfogadják el fele zsír, fele fehérjének.

A veszprémi vegyes rothasztás

Ezt az utóbbi adatot azért felhasználva megállapítható, hogy ott napi 5,1 t szerves anyag kerül a rothasztóba a tisztításból és a környező tisztítók iszapbeszállításából, s ehhez napi 450 kg zsír és ugyanennyi fehérje, összesen 0,9 t tejipari eredetű szerves anyag kerül még bevitelre. Nyilvánvalóan adott a lakossági szennyvíziszap „fehérje” tartalma, amihez a tejipar 450 kg fehérje adódik hozzá. Az együttes szerves anyag bevitelre számolva a külső fehérje okozta fehérjetartalom

növekedést, az 7,5 %. Látszólag ez a növekmény ugyanekkora zsírtartalom növekménnyel együtt már éppen az üzemeltethetőség határára viszi csak az egyébként folyamatosan működő rothasztót.

Nem is annyira a rothasztó üzemeltetése látszik gondnak, hanem a rothasztó nagy szerves anyag terhelése, vagy HRT-je, amin persze nehéz változtatniuk. A szerves anyag (VS) terhelés összességében jelenleg 6 t/d a 3500 m³ osztérfogatú rothasztóra. Ez a rothasztó hasznos térfogatára mintegy 2 kg VS/m³d, vagy KOI-ben ennek a másfélszerese, 3 kg KOI/m³d. A HRT egyébként 3500/185=19 nap, de ez valójában a gázterek miatt ennél 1-2 nappal kevesebb. Ez a kellő lebontáshoz kevésnek tűnik, amiért is romlik a rothasztott iszap vízteleníthetősége az üzemeltetők szerint. Ez túlzott víztelenített iszaphozamot és növekvő elhelyezési költséget jelent. A napi 450 kg tejzsír az irodalmi adatok alapján (Mata Alvarez et al., 2014) nem látszik ilyen vízteleníthetőség romlást okozni, a gázhozamot pedig egyértelműen javítja. Ez utóbbit Veszprémben is így érzékelik.

A soproni vegyes rothasztás

Talán ez a tapasztalat mutatja, hogy a vízteleníthetőség tekintetében nem is a zsírbevitellel, hanem a túlzott fehérjebevitel lehet kritikus. Az ATEV által előállított biogáz alapanyag a korábban említett három hazai üzemben feltehetően a fehérjebevitellel okoztak elsősorban problémát. A kisebb terheléssel működő soproni üzemnél csak a vízteleníthetőséggel,

a dél pesti telepnél viszont emellett a veszélyes habzással is.

A soproni lakossági iszap rothasztóba 4,8 t VS/d a terhelés a primer és szekunder iszaphól. Ebbe az üzembe olyan állati eledel gyártásból származó maradék érkezett pár évvel ezelőtt, amely döntően fehérjét tartalmazott. Ennek az anyagnak is ezért vehetjük mintegy három-negyedét fehérjének, a többit zsírnak, szénhidrátnak és szervesetlen résznek. A beszállított, átlagosan napi 15 m³, 13,5 % szárazanyag tartalmú állati melléktermékkel így a mintegy 2 t napi többlet szárazanyagban 1,8 t volt a szerves, melyből 1350 kg lehetett a fehérje. Ez a fehérjemennyiség a rothasztóba került 6,6 t szerves anyagban 20,5 %-kal növelte a fehérjemennyiséget. Ez a veszprémi 7,5 %-hoz képest jelentős növekmény. Ráadásul nem kazeinnel és globulinnal történt a fehérje mennyiségének a növelése, hanem egy nehezen behatárolható fehérje keverékkel. Ilyen fehérje részarány növekedés a soproni iszaprothasztásnál olyan mértékű vízteleníthetőség romlást eredményezett, hogy le kellett állni a segédanyag adagolásával.

Meg kell ugyanakkor jegyezni, hogy a soproni rothasztóban a fajlagos szerves anyag terhelés az ATEV anyagának a bevitelére esetén is jóval kisebb volt, mint a veszprémi rothasztókban. Itt a napi 6,6 t szerves anyag került be a 4500 köbméteres rothasztókba. Ez csak 1,5 kg VS/m³.d, illetőleg 2,25 kg KOI/m³.d. terhelés. A rothasztási idő, vagy HRT tehát kedvezőbb volt ott a szerves anyag lebontásának. A vízteleníthetőség problémája ennek ellenére jelentkezett.

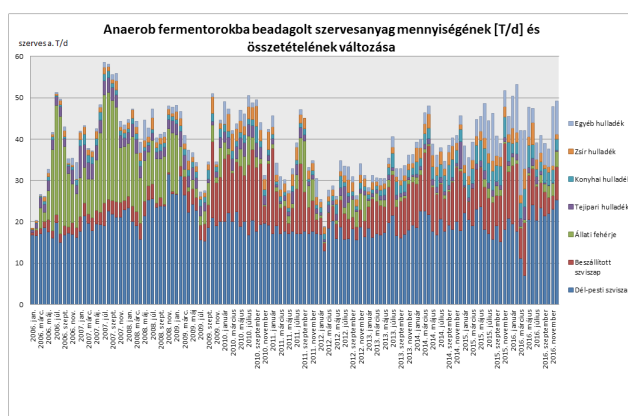
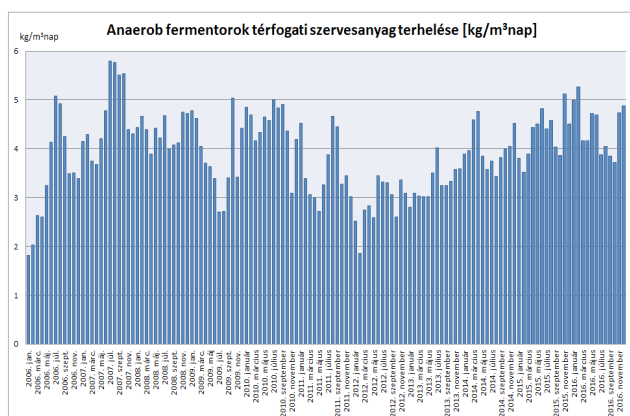
Észak-Pest és Dél-Pest

Az ATEV elmúlt évtizedben, s jelenleg is általános termelési gyakorlatában ugyanakkor folyamatosan keletkezik a fehérjében dús biogáz alapanyag. Ennek a fehérje tartalma talán még az állati eledel gyártásénál is nagyobb, mert az alapanyaguk zsírtartalmát más utakon hasznosítani tudják. A fehérje koncentrációja mintegy 15 % körül van. Ez azonban a számításokhoz nem lényeges, mert az ilyen folyadékkal bevitt szerves anyag teljes mennyisége így fehérjének is vehető. Két hazai lakossági szennyvíziszap rothasztó használ fel nagyobb mennyiségben ilyen mellékterméket, az észak-pesti és a dél-pesti szennyvíztisztítók.

Az **észak pesti** messze kisebb arányban és viszonylag folyamatosan fogad együttrothasztásra segédanyagokat. Esetükben ez mintegy 7 % ATEV fehérje a teljes szerves anyag bevitelre. Mellette hasonló hányadban fogad a rothasztó ecetsavat, valamint zsír és törköly

maradék keveréket is. Ez a 7 % fehérjetartalom növekedés nem jelent problémát az üzemnek, hiszen a fajlagos szerves anyag terhelése összességében is mindössze 2,4-2,5 kg/m³d.

Más a helyzet a **dél-pesti** rothasztóknál. Az együttrothasztás ennél a telepnél került először bevezetésre, így a problémáit is ők kellett, hogy először érzékeljék. 2006 júniusától 2009 márciusáig (amikor aztán az az észak-pesti beindult, s az ATEV terhelést jelentősen csökkentette) a dél-pesti rothasztóknak nagyon nagy mennyiségű ATEV hulladékot kellett feldolgozniuk. A fajlagos terhelésük átlagosan elérte a 4 kg VS/m³.d értéket, s annak átlagosan a harmada az ATEV-től érkezett. Volt néhány hónap a 2007 július-szeptember időszakban, amikor szinte a fele terhelés az ATEV-től jött. Ekkor vált kritikussá a helyzet, s az erős habzás mellett a rothasztott iszap víztelenítése is nagyon rosszul ment. Ezek a fajlagosok és megoszlásuk az **5. ábrán** látható.



5. ábra: A dél-pesti szennyvíztisztító rothasztóinak a terhelése az utóbbi években.

Megállapítható az adatokból, hogy a telep erősen túlterhelt még napjainkban is, de ezt folyamatosan fejlesztéssel, korszerűsítéssel, elsősorban a keverés jelentős javításával igyekeztek stabilizálni. Esetükben az ATEV részarány nagyon nagy volt, de a fehérjekoncentráció növekedése azzal nem pontosítható, hiszen akkor is mintegy negyede-ötöde volt a fehérje koncentrátumnak zsír. Ez tehát a fehérje növekményt ilyen arányban csökkentette. Ennek ellenére az még átlagban mindig 25 % körül lehetett, sőt a 2007 július-szeptember időszakban 40 % körül is lehetett. Ekkor csúcsosodott ki az üzemeltetési probléma és kellett az ATEV behozatalt jelentősen csökkenteni. Ilyen arányokban tehát a lakossági rothasztók már nem vállalkozhatnak nagy fehérje tartalmú ATEV biogázlé fogadására.

A dél-pesti rothasztók adataiból az is megfigyelhető, hogy az ATEV termék részarányának drasztikus csökkentése, csaknem teljes kizárása mellett a szennyvíziszap mellett az egyéb, kis fehérje tartalmú hulladékok (zsír, konyhai, hulladékok) arányát növelték jelentősen, mintegy a lakossági iszap mennyiségének a harmadáig. Ezzel az összeálló iszapkeverék C/N arányát elég jelentősen növelhették. Ez a lebontást bizonyára javította, nem csak mértékében, de sebességében is. Így tudnak jelenleg stabilan rothasztani 5-5-5 kg VS/m³.d iszapterheléssel is.

Egyértelmű azonban, hogy az alapanyag összetételének stabilizálásán, optimalizálásán túl olyan tényezők, mint a rothasztás hőmérsékletének stabilizálás, a folyamatos hatásos

homogenizálás, átkeverés is meghatározó tényezői az üzemeltetésnek. Igaz ez a megfelelő monitoringra, illetőleg szükséges pH és alkalinitás stabilizálásra is. Az fontos jellemzője az üzem stabilitásának a végtermékként keletkező biogáz széndioxid, valamint a fehérjék bomlásából keletkező ugyancsak végtermék ammónium koncentrációja. Ezek azonban nem adnak információt a habzás jelentkezésére, illetőleg a rothasztott iszap vízteleníthetőségére, melyek pedig az üzemeltetés zavarmentességét, gazdaságosságát a gázhozamhoz hasonlóan alapvetően meghatározzák.

VÁRHATÓ GÁZHOZAM, ISZAPHOZAM NÖVEKEDÉS ÉS A TÚLTERHELÉS ESETLEGES HATÁSAI

Az együttlrothasztások tervezésekor elengedhetetlen a várható gázhozam és iszaphozam növekedés pontosítása, s mint már említésre került, az iszapvíz nitrogéntartalma alakulásának a számítása is. Az együttlrothasztás gázhozamának számításánál legfontosabbra fogadásra kerülő segédanyag összes szárazanyagának, s azon belül a szerves anyagának a pontosítása. Emellett hasonlóan fontos a fehérje és zsírtartalmának a meghatározása is. A fehérje tartalom az iszapvízbe kerülő ammónium mennyiségének számításához kell. A gázhozam számításához a zsír és fehérje tartalma alapján megfelelő átlagos lebomlásukat számolva a korábban megadott fajlagosokkal számolható a gázhozam. Ez a lebomló KOI mennyiségéből is számolható, ha a keletkező metánt a keletkező

biogáz mintegy két-harmadának vesszük. A szerves anyag tartalom biogázzá alakulására egyébként $0,5-0,75 \text{ m}^3/\text{kg}$ betáplált szerves anyag között várhatók a fajlagosok. A villamos energia termelés növekedésének a számításánál figyelembe kell venni, hogy a metán energiájának csak 40-45 %-a alakítható azzá. A nagyobb része hőenergiaként lehet majd hasznosítható.

Az együttlrothasztásra kerülő szerves anyag átlagos lebomlásának mértéke után jelentkező szerves anyag maradék az inert résszel együtt adja meg az abból keletkező iszapmaradék mennyiségét. Elvileg feltételezhető, hogy ez ugyan olyan mértékben vízteleníthető, mint a lakossági iszaptól megmaradó rész. Ez azonban nagyon kérdéses. A hazai tapasztalatok azt mutatják, hogy a rothasztók segédanyaggal történő túlterhelésekor a keletkező vegyes iszap vízteleníthetősége jelentősen romolhat. Ennek a mindenkori mértékét természetesen a víztelenítéshez adagolt polielektrolit dózisa is jelentősen befolyásolja. Ez éppen a segédanyag részarányának a növekedésével az 5-6 kg/t mértéktől akár 10 kg/t szárazanyag mértékig is változhat. Emellett persze a centrifuga típusa, teljesítménye is meghatározó.

A vizsgált közleményekben a rothasztó habzására, s a rothasztott iszap vízteleníthetőségének alakulására nem közölnek adatokat. Elsődleges kérdésük a gázhozam növelhetősége a terhelés, illetőleg segédanyagok bevitelének növelésével. Hazai tapasztalatok ugyanakkor azt bizonyítják, hogy a víztelenített iszapok szárazanyaga túlzott zsír/fehérje adagoláskor 4-6 %-al is csökkenhet. Ez azért kellemetlen, mert a víztelenített iszap mennyiségét 15 -30 %-al is növelheti az átlagosnak elfogadható 25 % szárazanyag tartalmú termékhez képest. Ez viszont az iszapszállítási, elhelyezési költségében igen komoly növekedést okozhat (Czakó és társai, 2017).

A SEGÉDTÁPANYAGOK HATÁSA AZ EGYÜTTROTHASZTÁS ISZAPVÍZÉRE

Alapvető probléma a rothasztásnál, hogy az iszap víztelenítésekor keletkező iszapvizet, amely jelentős nitrogén és foszforkoncentrációval rendelkezhet, ezek, valamint a szerves anyag tartalma miatt is vissza kell vinni a szennyvíztisztítás főágára.

A nyers iszap esetében a lakos egyenértéknek megfelelő 60 g/fő.d lebegőanyagból 60-70 %-a várható primer iszapként abba. Ez 36-40 g/fő.d. Ebbe kerül a befolyó víz

nitrogéntartalmának a 10 %-a, mintegy 1,3 g TKN/fő.d. Ezzel a szerves anyagának a 3 %-a körüli lesz a nitrogéntartalma. A szekunder iszap nitrogéntartalma ezzel szemben az iszapkor függvénye. Sedlak (1992) szerint a szekunder iszap szerves anyagának 7,5 % körüli lesz a nitrogéntartalma 10-30 napos iszapkornál. Mivel a két iszap mennyisége közelítőleg azonos, a szerves anyagukra számított érték 5 %. A szennyvízzel érkező TKN tartalomnak általában 30 %-a kerül a szennyvíziszapba. Ennek a fele oldódik vissza az iszapvízbe a rothasztásnál. Tehát a szennyvízzel érkező TKN terhelés 15 %-a ami a centrifugavízzel növeli a biológiai lépcsőre kerülő N-terhelést. Ezen túl az is kiszámolható, hogy a segédanyag rothasztása mekkora főági nitrogénterhelés növelést eredményez. Ezekből valamelyest az is becsülhető, hogy az adott főági tisztítókban megoldható-e a jogszabályi előírások által megkövetelt denitrifikáció betartása. Ez természetesen a nyers szennyvízzel érkező oldott szerves anyagok és ammónium KOI/TKN arányának lesz a függvénye. A nagy fehérjetartalmú segédanyagokkal történő együttrothasztás tehát mindenképpen rontja a tisztított víz öN határértékének a betarthatóságát. A probléma nyáron és télen is egyaránt várható, mivel télen a nitrifikáció lassul jelentősen, nyáron viszont a szerves anyag oxidációja

lesz fokozott. Ezen esetlegesen javítani lehet a denitrifikációhoz történő könnyen bontható, nitrogénmentes szerves anyag, például cukoradagolással, vagy mellékágon történő szeparált, autotrof nitrogéneltávolítás (Anamox) kiépítésével.

ÖSSZEFOGLALÁS

A segédanyagokkal, lakossági folyékony, vagy iszapszerű hulladékokkal és egyéb élelmiszeripari hulladékokkal történő együttrothasztás jelentős energianyereséget jelenthet a lakossági szennyvíztisztítóknak, de vigyázni kell ilyenkor a rothasztó terhelésére, a rothasztásra kerülő segédanyagok minőségére, összetételére. Túlzott fehérje és zsírterhelés is káros lehet a rothasztásra. A fehérjék túladagolása a rothasztó fokozott habzását generálhatja, míg a zsíroké a hosszú szénláncú zsírsavak koncentrációjának növekedését, s azzal metanizáció befékeződését. Mindegyik nehezen kezelhető probléma, leginkább a nyersanyag bevitel leállításával, csökkentésével orvosolható. Jól bizonyítja ezt a megfelelő keveréssel kiépített dél-pesti rothasztók jelenleg is elég nagy fajlagos terhelése, melyben azonban az ilyen hatást okozó anyagok részarányát az utóbbi években drasztikusan csökkentették.

HIVATKOZÁSOK

- Arnell, M., Astals, S., Åmand, L., Batstone, D.J., Jensen, P.D., Jeppsson, U. (2016) Modelling anaerobic co-digestion in Benchmark Simulation Model No. 2: parameter estimation, substrate characterisation and plant-wide integration. *Water Res.* 98, 138–146. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2016.03.070>.
- Astals, S., Batstone, D. J., Mata-Alvarez, J., Jensen, P. D. (2014) Identification of synergistic impacts during anaerobic co-digestion of organic wastes. *Bioresour Technol* 169:421–7.
- Barber, W.P. (2005) Anaerobic digester foaming: causes and solutions. *Water* 21, 45–49. IWA. Avail.: <<http://www-uk1.csa.com/ids70/results.php?SID=40o9hnnld4c223a8lr72q3vbb1&id=2>>.
- Barjenbruch, M., Hoffmann, H., Kopplow, O., Tränckner, J. (2000) Minimizing of foaming in digesters by pre-treatment of the surplus-sludge. *Wat Sci Tech*, 42, 235–241.
- Batstone, D.J., Keller, J., Angelidaki, I., Kalyuzhnyi, S.V., Pavlostathis, S.G., Rozzi, A., Sanders, W.T.M., Siegrist, H., Vavilin, V.A. (2002) IWA Anaerobic Digestion Model No. 1 (ADM1). IWA Publishing, London.
- Boe, K., Batstone, D.J., Steyer, J.P., Angelidaki, I. (2010). State indicators for monitoring the anaerobic digestion process. *Water Res.* 44, 5973–5980. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2010.07.043>.
- Brown, S. (2002) Operating a high-rate digester: the Southern Water experience. *Water and environment. CIWEM Journal* 16, 116–120.
- Clarkson, J.R., Cui, J.F., Darton, R.C. (1999) Protein denaturation in foam. *Journal of Colloid and Interface Science* 215, 333–338.
- Cook, S. M., Skerlos, S. J., Raskin, L., Love, N. G. (2017) A stability assessment tool for anaerobic codigestion. *Water Res.* 112 (2017) 19–28. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.01.027>
- Czakó, L., Mészáros, I., Varga, Á. (2017) Állateledelgyári hulladék és szennyvíziszap együttrohasztása a soproni szennyvíztisztító telepen – Esettanulmány Vízmű Panoráma (2) 20–25.
- Davidsson, A., Lovstedt, C., la Cour Jansen, J., Gruvberger, C., Aspegren, H. (2008) Codigestion of grease trap sludge and sewage sludge. *Waste Manag.* 28 (6), 986–992. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2007.03.024>.
- Ganidi, N., Tyrrel, S., Cartmell, E. (2011) The effect of organic loading rate on foam initiation during mesophilic anaerobic digestion of municipal wastewater sludge. *Bioresour Technol* 102, 6637–6643.
- Ganidi, N., Tyrrel, S., Cartmell, E., (2009) Anaerobic digestion foaming causes – a review. *Bioresour. Technol.* 100, 5546–5554.
- Gerardi, M.H. (2003) The microbiology of anaerobic digesters. *Wastewater Microbiology Series*. Wiley-Interscience, New Jersey, US.
- Kabouris, J.C., Tezel, U., Pavlostathis, S.G., Englemann, M., Dulaney, J.A., Todd, A.C., Gillette, R.A. (2009a) Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of municipal sludge and fat, oil, and grease. *Water Environ. Res.* 81 (5), 476–485.
- Kabouris, J.C., Tezel, U., Pavlostathis, S.G., Englemann, M., Dulaney, J., Gillette, R., Tood, A.C. (2009b) Methane recovery from the anaerobic co-digestion of municipal sludge and FOG. *Bioresour. Technol.* 100, 3701–3705. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.02.024>.
- Kárpáti, Á. (2018): Lakossági szennyvíziszapok és rohasztásuk tapasztalatai I., *MaSzeSz HÍRCSATORNA*, 3. szám, pp 3–
- Kim, M., Chowdhury, M.M.I. Nakhla, G., Keleman, M. (2017) Synergism of co-digestion of food wastes with municipal wastewater treatment biosolids. *Waste Management* 61 (2017) 473–483 <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.010>
- Luostarinen, S., Luste, S., Sillanpää, M. (2009) Increased biogas production at wastewater treatment plants through co-digestion of sewage sludge with grease trap sludge from a meat processing plant. *Bioresour. Technol.* 100, 79–85.
- Miot, A., Guevarra, K., Ajedegba, J., Jones, B.M., Ving, K., Jolis, D. (2013) Restaurant trap waste characterization and full scale FOG Co-Digestion at the San Francisco oceanside plant. In: *Proceedings of the Water Environment Federation Technical Exhibition and Conference (WEFTEC)*. Chicago, IL, pp. 1–18.
- Moeller, I., Goersch, K., Neuhaus, J., Zehnsdorf, A., Mueller, R. A., (2012) Comparative review of foam formation in biogas plants and ruminant bloat. *Energy, Sustainability and Society* 2(2)2–9.
- Nghiema, L. D., Koch, K., Bolzonellac, D., Drewes, J. E. (2017) Full scale co-digestion of wastewater sludge and food waste: Bottlenecks and possibilities *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 72 354–362
- Nguyen, D., Gadhamshetty, V., Nitayavardhana, S., Khanal, S. K. (2015) Automatic process control in anaerobic digestion technology: A critical review. *Bioresour Technol* 193:513–22.
- Noutsopoulos, C., Mamais, D., Antoniou, K., Avramides, C. (2012) Increase of biogas production through co-digestion of lipids and sewage sludge. *Global Nest J.* 14 (2), 133–140.
- Noutsopoulos, C., Mamais, D., Antoniou, K., Avramides, C., Oikonomopoulos, P., Fountoulakis, I. (2013) Anaerobic co-digestion of grease sludge and sewage sludge: The effect of organic loading and grease sludge content. *Bioresour Technol* 131 (2013) 452–459.
- Oelsner, E. (2007) Vergärung von Gülle und Hühnermist in der Mörsdorfer Agrar GmbH. *Biogas im Wandel, Tagungsband zur 16. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas e.V., 2007, S. 131–139.*
- Oláh, J., Palkó, Gy., Szilágyi, M., Barabás, Gy., Gyarmati, I., Tuba, L. (2010) Rothasztók üzemeltetése. *MaSzeSz HÍRCSATORNA* 2010 (máj-jun) 3–13.
- Pagilla, K. R., Craney, K.C., Kido, W.H. (1997) Causes and effects of foaming in anaerobic sludge digesters. *Wat Sci Tech* 36, 463–470.
- Ross, R.D., Ellis, L.M. (1992) Laboratory-scale investigation of foaming in anaerobic digesters. *Water Environment Research* 64 (2) 154–162.
- Sedlak, R. I. (1992) Phosphorus and nitrogen removal from municipal wastewater: principles and practice. (Ed.) 2nd Ed. Lewis Publishers
- Stroot, P.G., McMahon, K.D., Mackie, R.I., Raskin, L. (2001) Anaerobic codigestion of municipal solid waste and biosolids under various mixing conditions. *Digester performance. Water Res.* 35 (7) 1804–1816.
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D. (2003) *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, fourth ed. McGraw Hill, New York, NY.
- Volf, B. (2017) Tejipari szennyvíziszap együttrohasztása lakossági szennyvíziszappal. *Ipari szennyvizek tisztítása. MASZESZ Seminar, Budapest, 2017 június 22.*
- Xie, S., Hai, F., Zhan, X., Guo, W., Ngo, HH, Price, W. E., Nghiem L. D. (2016) Anaerobic codigestion: a critical review of mathematical modelling for performance optimization. *Bioresour Technol.* 222:498–512.
- Xie, S., Wickham, R., Nghiem, L. D. (2017) Synergistic effect from anaerobic co-digestion of sewage sludge and organic wastes. *Int Biodeterior Biodegrad* 116:191–7.