



MISKOLCI EGYETEM
MŰSZAKI FÖLDTUDOMÁNYI KAR
NYERSANYAGELŐKÉSZÍTÉSI ÉS KÖRNYEZETI
ELJÁRÁSTECHNIKAI INTÉZET



A vaskúti szubsztrátok anaerob bonthatóságának kísérleti vizsgálata
TDK dolgozat

Készítette:

Soltész Beáta

Előkészítéstechnikai mérnök MSc szakos hallgató

Konzulensek:

Dr. Bokányi Ljudmilla

egyetemi docens, a műszaki tudományok kandidátusa

Varga Terézia

junior kutató

Eredetiség nyilatkozat

Alulírott Soltész Beáta, a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karának hallgatója büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és aláírásommal igazolom, hogy ezt a dolgozatot saját magam készítettem, a benne leírt vizsgálatokat – ha ezt külön nem jelzem – magam végeztem el, és az ismertetett eredményeket magam értem el. Adatokat, információkat csak az irodalomjegyzékben felsorolt forrásokból használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Miskolc, 2011.11.04.

.....
Soltész Beáta

TARTALOMJEGYZÉK

ÖSSZEFOGLALÓ	4
1. BEVEZETÉS	5
2. A BIOGÁZ ELŐÁLLÍTÁS, FELHASZNÁLÁS	6
2.1. A BIOGÁZ KELETKEZÉSÉNEK FOLYAMATAI	6
2.2. A BIOGÁZ-GYÁRTÁS FELTÉTELRENDSZERE	10
2.3. A BIOGÁZ TULAJDONSÁGAI	13
2.4. A BIOGÁZ FELHASZNÁLÁSA	14
3. LABORATÓRIUMI BIOGÁZ VIZSGÁLATOK	15
3.1. A LABORATÓRIUMI KÍSÉRLET CÉLJA	15
3.2. HULLADÉK MINTÁK ELŐKÉSZÍTÉSE	15
3.3. A MINTÁK FIZIKAI-KÉMIAI TULAJDONSÁGAI	16
3.4. BIOGÁZ KÍSÉRLETEK ISMERTETÉSE	22
3.4.1. <i>A statikus berendezésben végzett biogáz vizsgálatok</i>	22
3.4.1.1 A biogáz képződés kinetikája statikus berendezésben	24
3.4.2. <i>Folyamatos keverésű reaktorban végzett biogáz vizsgálatok</i>	33
3.4.2.1 Biogáz képződés kinetikája kevert reaktorban	35
3.4.2.2 Gázösszetétel meghatározás	36
3.5. BIOGÁZ VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEINEK ÖSSZEFOGLALÁSA	38
4. KONKLÚZIÓ	39
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	42
IRODALOMJEGYZÉK	43
ÁBRAJEGYZÉK	44
DIAGRAMJEGYZÉK	45
TÁBLÁZATJEGYZÉK	46
MELLÉKLET	47

Összefoglaló

A fosszilis energiahordozó-készletek rohamos csökkenése, a levegőszennyezés okozta károk enyhítése szükségessé teszik a megújuló, környezetkímélő energiaforrások minél nagyobb mértékű bevonását az energiatermelésbe és felhasználásba.

A közeljövőben az anaerob fermentáció és ezzel párhuzamos biogáz- és biotrágya- előállítás - a megváltozott gazdasági körülmények miatt - előtérbe fognak kerülni. A biogáz - a földgázhoz hasonlóan - sokrétű hasznosítási lehetőséget nyújt, többek között a korszerű mezőgazdasági üzemek és a nagyobb állattartó- kommunális hulladékhasznosító telepek és a vonzáskörzetükben lévő települések energiaellátásához jelentősen hozzájárulhat.

TDK dolgozatom témája, különböző szubsztrátok (kommunális hulladék finom frakciója, szennyvíziszap, zöld hulladék és ezek keveréke) biogáz-leadó képességének vizsgálata. A kísérleteket a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet laboratóriumában végeztem.

A dolgozatom szakirodalmi részében bemutatásra kerül a biogáz fogalma, keletkezésének folyamata, feltételrendszere, tulajdonságai továbbá felhasználási lehetőségei.

A továbbiakban ismertetem a Felső- Bácskai Hulladékgazdálkodási Kft. vaskúti telephelyéről érkezett zöld hulladék, kommunális hulladék, szennyvíziszap mintákkal végzett kísérleteket.

A mérés részét képezi a minták előkészítése, fizikai- kémiai tulajdonságainak meghatározása. Ezt követően megtörtént a vaskúti telephelyről érkezett két mintasorozat biogáz- leadó képességének vizsgálata statikus laboratóriumi berendezésben termofil hőmérsékleten illetve folyamatos keverésű reaktorban termofil és mezofil hőmérsékleten. Meghatározásra került továbbá a folyamatos keverésű reaktorban végzett vizsgálatok során a képződő biogáz összetétele is, metán és széndioxid vonatkozásában.

TDK dolgozatom befejezéseként, pedig ismertetem a különböző szubsztrátokkal végzett laboratóriumi kísérletek eredményeit.

1. Bevezetés

Napjainkban az éghajlatváltozással, a változó olajárakkal és ellátásbiztonsággal kapcsolatos problémák közepette a megújuló energiaforrások hasznosítása jelentheti a legjobb megoldást. A biomassa energetikai célú felhasználásánál a biogáz előállítás kiemelt jelentőségű, mert hatékonyan kapcsolja össze a környezetvédelmet az energiatermeléssel.

A biogáz előállítására gyakorlatilag valamennyi szerves anyag alkalmas, mint pl. élelmiszeripari melléktermékek, kommunális hulladékok, valamennyi növényi rész a mellékterméktől a főtermékekig, háztartási szerves hulladékok, szennyvíziszap, stb.

A biogáz üzemekben tehát feldolgozhatjuk mindazokat a szerves hulladékokat, amelyek másként energetikai célra nem hasznosíthatók, ugyanakkor a környezetükbe elhelyezve számos környezetvédelmi és egészségügyi problémát okoznának. A biogáz előállításánál ezen anyagok biológiai úton történő fermentációjával az energiatermelés mellett ártalmatlanításukra is sor kerül, még hozzá anélkül, hogy az értékes szerves anyag megsemmisülne. A lebontás után visszamaradó anyag biotrágyaként tápanyag visszapótlásra jól felhasználható, ezzel kiválthatjuk a környezetterhelést jelentő műtrágya felhasználás jelentős részét. A felhasználható alapanyagok többsége tulajdonképpen veszélyes hulladéknak számít, így olyan anyagokból is hasznos terméket (biogáz, biotrágya) állíthatunk elő, melyek egyébként nagyon magas költséggel lennének kezelhetők illetve megsemmisíthetők. A biogáz tehát egy olyan megújuló energiaforrás, melynél a környezetvédelem és az energiatermelés hatékonyan összekapcsolódik.

TDK dolgozatom során a különböző összetételű hulladékok anaerob mikroorganizmusokkal való lebontásának lehetőségét, illetve a technológia során keletkező biogáz mennyiségét, minőségét vizsgáltam a Felső-Bácskai Hulladékgazdálkodási Kft.-től érkezett minták alapján.

A dolgozatom célja a Vaskútról érkező zöld hulladék, kommunális hulladék és szennyvíziszap minták biogáz-leadó képességének vizsgálata, a gázösszetétel, illetve a gáztermelődés kinetikájának meghatározása laboratóriumi körülmények között.

A dolgozatban a szakirodalmi áttekintés után bemutatásra kerül az elvégzett kísérletek, eredményei, és azok kiértékelése.

2.A biogáz előállítás, felhasználás

A biogáz

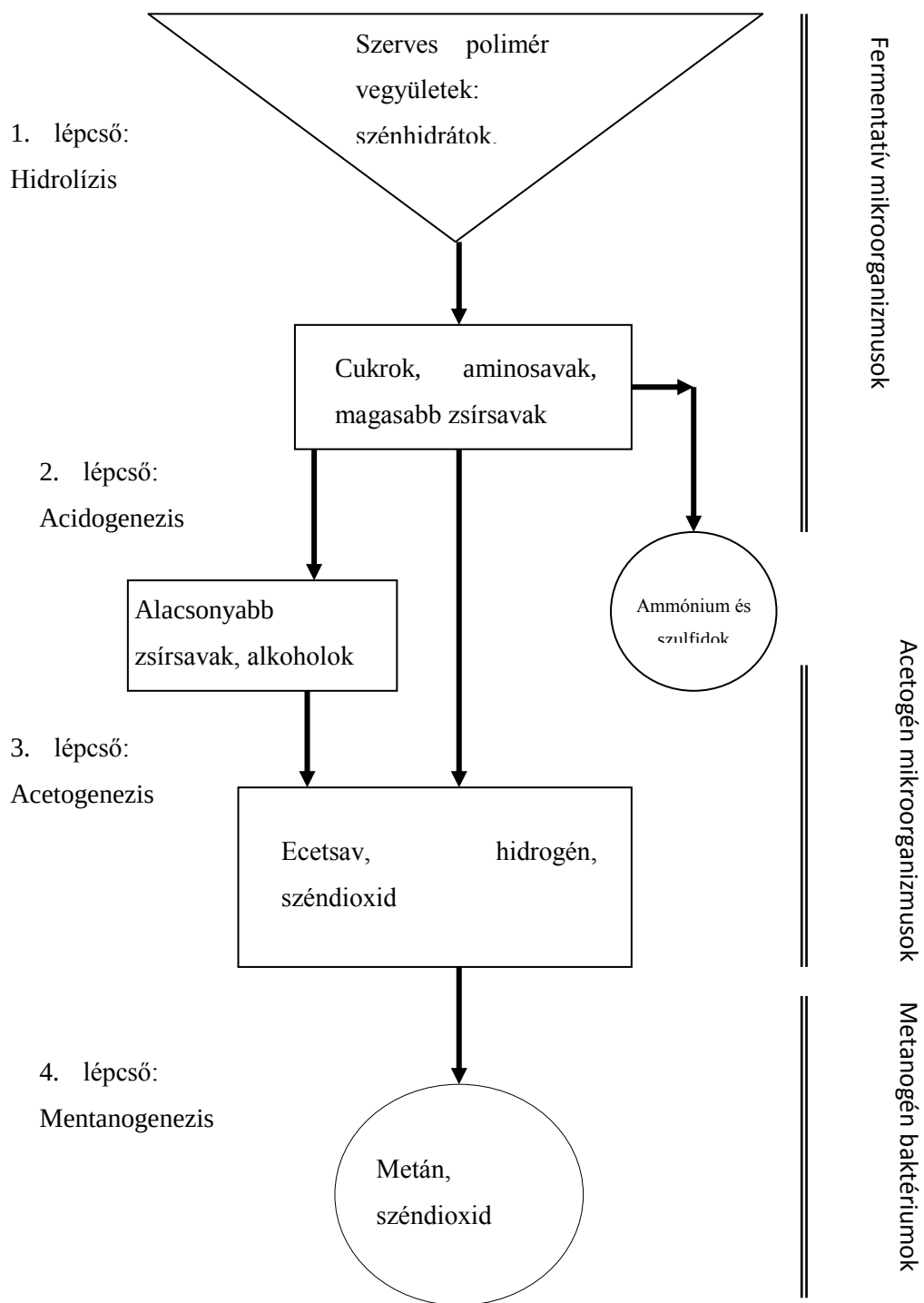
A biogáz szerves anyagok anaerob erjedése során képződő, a földgázhoz hasonló, sokoldalúan felhasználható légnemű anyag (*Dr. Bai, 2007*).

A biogáz 45-70% éghető metánt (CH_4), 30-55% szén-dioxidot (CO_2), hidrogént (H_2), nitrogént (N_2), kénhidrogént (H_2S) és egyéb gázokat tartalmaz.

Biogáz-termelésre használható minden olyan szerves anyag, mely mikroorganizmusok által könnyen bontható. Alapanyagként szolgálhat a biogáz-gyártáshoz az állattenyésztésből származó almos és hígrágya, növénytermesztés termékei, mint például a kukoricacsutka, napraforgóhéj, élelmiszeripar melléktermékei és a települési hulladékok teljes mennyisége, melyből évente 20-25 millió tonna keletkezik szennyvíz és szilárd kommunális hulladék formájában (*Dr. Bai A., 2007*).

2.1. A biogáz keletkezésének folyamatai

Az anaerob biológiai lebontás bonyolult és összetett folyamat, melyet enzimkatalitikus reakciók sora jellemez, és végtermékként metán (CH_4), és széndioxid (CO_2) keverékeként biogáz keletkezik. Az anaerob fermentációt főleg magas szervesanyag tartalmú szennyvizek és szennyvíziszapok kezelésére használják. Lényegében 3 mikrobiológiai tevékenység köré csoportosítható, melyeket természetes körülmények között nem lehet egymástól elválasztani. Minden lépcsőben a mikroorganizmusok végzik a bontási folyamatot, úgy hogy az egyes fázisok végtermékei a következő folyamat mikroorganizmusai számára tápanyagot biztosít. Az anaerob lebomlás folyamatát az 1. ábra szemlélteti (*Dr. Bokányi L , 2004*).



1. ábra: Az anaerob lebontás folyamata (Dr. Bokányi L., 2004)

1. lépcső: HIDROLÍZIS és ACIDOGENEZIS- fermentatív mikroorganizmusok

A lebontás első lépcsőjében a komplex szerves anyagokat fakultatív és obligát anaerob mikroorganizmusok enzimeikkel bontják alkotóelemekké. A biomaszában található poliszacharidok (cellulóz, keményítő), zsírok, fehérjék a hidrolízis során egyszerűbb vegyületekké alakulnak át. A cellulóz bontás sebességét a cellulolitikus baktériumok által termelt celluláz enzim szintje határozza meg. Ezen az elven történik a lipázok rövidebb szénláncú zsírsavakká bontása, a proteázok pedig fehérjéket emésztik el aminosavakká. Az egyik limitáló tényező, tehát az anaerob biogáztermelő rendszerekben a polimerek hidrolizálásának sebessége. A sejten kívül tevékenykedő hidrolizáló enzimek minden elérhető szubsztrát molekulát megtámadnak és lebontanak. Így normális körülmények között kielégítik a tápanyagszükségleteiket és a környezetben más mikroorganizmusok is juttatnak ezekből az anyagokból. A hidrolizáló mikroorganizmusok saját anyagcseréjében úgy jutnak energiához, hogy a felvett cukrokat, zsírokat, aminosavakat kisebb molekulává bontják és a közben felszakadozó kötésekben tárolt energiát hasznosítják a saját folyamataikban. A kémiai energia mellett keletkeznek egyéb kisméretű molekulák, melyeket összefoglaló néven szerves savaknak hívnak, mert főként ecetsav, propionsav és vajsavból áll. Ezekkel az illó savakkal már nem tud mit kezdeni a hidrolizáló baktérium ezért kiválasztódik a környezetbe (Dr. Bai A., 2007; Dr. Bokányi L., 2004; Heinz Sc. és Barbara E., 2005).

2. lépcső: ACETOGENEZIS- Acetogén baktériumok

A második lépcsőben a hidrolizáló baktériumok által fel nem használt zsírok, cukrok és aminosavak tápanyagként szolgálnak az acetogén mikroorganizmusoknak és ezeket acetáttá (ecetsav sója) és hidrogénné alakítják tovább. Az acetogének nagyon sokfélék és a környezeti hatásokkal szemben ellenállóak, mivel sokfajta tápanyagot tudnak hasznosítani, így túlélési esélyeik lényegesen nőnek. Az acetogének a következő csoportnak a metanogéneknek redukáló szerként hidrogént termelnek, ezért fontos szerepet kapnak az alacsony redoxpotenciál kialakításában is. Ugyanakkor ez fordítva is működik, mivel ha a metanogének nem fogyasztják el elég gyorsan az acetogének által termelt hidrogént, a hidrogén felhalmozódik és gátolja az acetogének működését (Dr. Bai A., 2007; Dr. Bokányi L., 2004; Heinz Sc. és Barbara E., 2005).

3. lépcső: METANOGENEZIS- Metanogén mikroorganizmusok

A harmadik lépés a metanogenezis szigorúan anaerob körülmények között megy végbe. Ekkor a metanogén baktériumok metánt és széndioxid keverékét, biogázt állítanak elő. Az egész biogáz termelési folyamat sebességét a metanogenezis folyamata határozza meg. A

metanogének a mikroorganizmusok legősibb fájához tartozik, melyeket Archeának neveznek. Ezek a mikrobák sok különleges tulajdonsággal rendelkeznek, membránszerkezetük és szaporodásuk mechanizmusa is több pontban is eltér az „egyszerű” baktériumoktól. Lassan szaporodnak és nagyon érzékenyek a környezeti tényezők változásaira. Ha a metanogének aktivitása csökken az egész folyamat „elsavanyodásához” és biogáztermelés teljes leállításához vezet (*Dr. Bai A., 2007; Dr. Bokányi L , 2004; Heinz Sc. és Barbara E., 2005*).

2.2. A biogáz-gyártás feltételrendszere

Biogáz meghatározott körülmények között keletkezik. Az előállítására számos eljárás ismert. A választandó technológia a feldolgozandó szerves anyag mennyiségétől, minőségétől függ, befolyásolja továbbá a termelt biogáz felhasználásának lehetősége is.

Az elsődleges követelmény a metanogén baktériumok jelenléte, melyek meglehetősen rugalmasan alkalmazkodnak a feltételekhez.

A biogáz-gyártásban lejátszódó folyamatok feltételrendszere a következő:

- oxigéntől elzárt környezet,
- lebontandó szerves anyagok jelenléte,
- szerves anyag-folyadék megfelelő aránya,
- mikroorganizmusok jelenléte,
- optimális hőmérséklet,
- optimális keverés.

Az optimális paramétereket befolyásoló tényezők

1. Az alapanyagok típusa és összetétele

Alapvetően minden szervesanyag lebomlik aerob vagy anaerob módon, legfeljebb nem teljes mértékben. A hígabb nedves anyagok, mint például a szennyvíziszap, ételmaradék az anaerob kezeléshez jobban megfelelnek. Leginkább a szárazanyag-tartalomtól függ, hogy a biohulladékot milyen eljárással célszerű kezelni (*Dr. Bokányi L , 2004*).

2. Nedvességtartalom

A nedves környezet fontos a mikroorganizmusok szaporodásához és a reakciók megvalósításához is. Az optimális szárazanyagtartalom a 0,1- 60 % között jelölhető meg (*Dr. Bokányi L , 2004*).

3. Hőmérséklet

A biogáz képződést erősen befolyásoló tényező a hőmérséklet, mivel anaerob lebontás endoterm folyamat, ezért a rendszernek szüksége van hőre.

A metanogén baktériumok munkatartománya 0-70 °C közé tehető. Magasabb hőmérsékleten a legtöbb mikroorganizmus elpusztul. A 0 °C -nál kisebb hőmérsékletet túlélnek, de azon nem tevékenykednek (Dr. Bokányi L , 2004; Fabien M., 2003).

A gyakorlatban 3 tipikus hőmérséklet-tartomány létezik:

- Pszikrofil tartomány: ≤ 20 °C
- Mezofil tartomány: 30-35 °C
- Termofil tartomány 35- 50 °C

A biogáz-gyártás folyamata megvalósítható mezofil és termofil körülmények között. Arról, hogy melyik az alkalmasabb megoldás különböző véleményeket hallhatunk. A termofil folyamat reakció kinetikai szempontból előnyösebb, a reakciósebessége 10-20%-kal nagyobb, mint a mezofil folyamaté, tehát magasabb hőmérsékleten gyorsabb a bomlás, több gáz termelődik rövidebb lefutási idő alatt. Ugyanakkor a termofil mikroorganizmusok sokkal érzékenyebbek a környezeti hatásokra, mint a mezofil baktériumok. Általában gazdasági szempont dönti el, hogy a termofil vagy a mezofil tartomány az előnyösebb (Dr. Bokányi L , 2004; Fabien M., 2003).

4. pH-érték

Az optimális pH érték 7-7,5 körüli. A pH érték az acidogenezis és a metanogenezis szakaszában különböző, az acidogenezisben keletkezett anyagok miatt a pH alacsonyabb. Ha a fermentációs folyamat eltolódik a savas tartományba, akkor a mikroorganizmusok lebontó képessége lelassul vagy megáll, akár a biogáz-termelés teljes leállításához vezethet. Ezért szükség esetén szabályozni kell a pH értéket, ehhez mésztej vagy nátrium –karbonát oldatot lehet használni (Dr. Bokányi L , 2004; Fabien M., 2003).

5. C/N arány

A mikroorganizmusok szempontjából rendkívül fontos limitáló tényezők a C/N arány, melynek optimális értéke 30:1 és a C/P arány, melynek legmegfelelőbb értéke a 150:1. A szerves vegyületekben jelenlévő szén és nitrogén mennyiség közötti kapcsolatokat C/N arányszámmal szokták megadni. A magas C/N arány a nitrogén metanogének általi gyors

felhasználásnak az indikátora, mely alacsonyabb gáztermelést eredményez. Másfelől az alacsonyabb C/N arány ammónia akkumulációt okoz, a pH érték 8,5-nél magasabb lesz, ami mérgező a metanogén baktériumok számára. (Dr. Bokányi L , 2004; Fabien M., 2003).

6. Tartózkodási idő

Tartózkodási időnek nevezzük azt az időt, ami szükséges a teljes szervesanyag lebomlásához. A tartózkodási idő függ az eljárás paramétereitől, mint a hőmérséklet és hulladék összetétel. A kezelt hulladéknak mezofil tartományban 15-30 nap, termofil körülmények között 12-14 nap a tartózkodási idő (Fabien M., 2003).

7. Keverés

A keverés elősegíti a mikroorganizmusok és szubsztrátok közötti érintkezést és növeli a baktérium populáció esélyét, hogy tápanyaghoz jusson. A keverés megakadályozza, hogy úszó iszap réteg képződjön és biztosítja a hőmérséklet eloszlást a reaktorban. A megfelelő feltételek fenntartásához lassú keverés javasolt (Fabien M., 2003).

2.3. A biogáz tulajdonságai

A biogáz értékes energiahordozó, mivel sokoldalúan és magas hatásfokkal lehet hasznosítani. A fűtőérték a metántartalomtól függően változik 5,5- 7,0 kW·h/m³, átlagosan 6,0 kW·h/m³. Az 1. táblázat mutatja a biogáz égéstechnikai jellemzőit más gázokkal összehasonlítva. A táblázatból látszik, hogy a biogáz térfogatra vonatkoztatott fűtőértéke kisebb, mint a földgázé, propáné, metáné, de kétszer nagyobb, mint a hidrogéné (Heinz Sc. és Barbara E., 2005).

1. táblázat: A biogáz égéstechnikai jellemzői más éghető gázokkal összehasonlítva
(Heinz Sc. és Barbara E., 2005)

Jellemzők	A gáz fajtája					
	Mértékegység	Biogáz	Földgáz	Propán	Metán	Hidrogén
Fűtőérték	kW· h/m ³	6	10	26	10	3
Sűrűség	kg/ m ³	1,2	0,7	2,01	0,72	0,09
Sűrűségarány a levegőhöz képest		0,9	0,54	1,51	0,55	0,07
Gyulladás hőmérséklet	C°	700	650	470	650	585
Gyulladási tartomány gáz a levegőben	%	6...12	5...15	2...10	5...15	4...80
Elméleti levegőszükséglet	m ³ / m ³	5,7	9,5	23,9	9,5	2,4

2.4. A biogáz felhasználása

A biogáz felhasználása közben arra kell törekedni, hogy a benne lévő energia minél jobban kihasználható legyen. 1 m³ biogáz energiatartalma, mely 60 % körüli metántartalommal rendelkezik, 0,5 l tüzelőolajával vagy 0,5 m³ földgáz energiatartalmával egyenlő (Dr. Bai, 2007). Többféle lehetőség nyílik a hasznosítás terén: egyrészt felhasználható saját célra, mint például fűtésre, hűtésre, másrészt értékesítésre, a blokkfűtő erőművekben biogáz elégetésével elektromos áram és hő képződik. Az elektromos áramot a villamos energia törvény alapján a hálózat üzemeltetője köteles átvenni, s a törvényben meghatározott átvételi árat megfizetni. A megtermelt hőmennyiség 20-30%-a a fermentorok fűtéséhez szükséges. Az erőművek felesleges hője hasznosítható mezőgazdasági telepek, lakóépületek, kertészetek fűtésére. Élelmiszeripari üzemek meleg víz igényét is kielégítheti egy biogáz üzem. A biogáz blokkfűtő erőműben történő elégetésre többféle motorfajta áll rendelkezésre. Két elterjedt típus van forgalomban a dízelmotor olaj befecskendezéssel és az Otto gázmotor. A biogáz alaposabb tisztításával, a CO₂ eltávolításával kapott gázelegy már alkalmas gépjárművek meghajtására is. Ugyancsak a megtisztított gáz alkalmas a földgázhálózatba történő betáplálásra is. A biogáz üzemanyagcellákban és mikro-gázturbinákban is felhasználható.

A nyers biogáz minősége javítható tisztítási eljárással. A tisztítás elsősorban kéntelenítést, ammóniummentesítést, szén-dioxid leválasztást, víztelenítést és egyéb szennyezők leválasztását jelenti. A tisztítási feladat a biogáz felhasználási területei szerint különbözőek (A. Burke P.E, 2001).

3. Laboratóriumi biogáz vizsgálatok

3.1. A laboratóriumi kísérlet célja

A kísérlet célja a Vaskútról érkező különböző összetételű biohulladékok előkészítése, fizikai - kémiai tulajdonságainak meghatározása, ezt követően a biogáz termelő képességének, illetve a gáztermelés kinetikájának vizsgálata statikus laboratóriumi berendezésben termofil hőmérsékleten, illetve folyamatos keverésű bioreaktorban termofil és mezofil hőmérséklet tartományban.

3.2. Hulladék minták előkészítése

Vaskútról két mintasorozat érkezett, melyet a Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetben vizsgáltunk. A minta zöld hulladékot, települési hulladék finom frakcióját (< 50 mm) és szennyvíziszapot tartalmazott. A zöld hulladék és kommunális hulladék mintákat mindkét mintasorozat esetében homogenizáltuk, negyedeléses módszerrel mintakisebbítettük és aprítottuk.



2. ábra: Mintakisebbítés a második mintasorozattal érkezett zöld hulladék esetén
(Dr. Bokányi L. és Varga T., 2011)

Az aprítás függőleges tengelyű vágómalomban történt 10 mm nyílásméretű kihordó szitaráccsal, majd a minták fizikai- kémiai tulajdonságainak meghatározása után a biogáz vizsgálatok következtek.



3. ábra: Függőleges tengelyű vágómalom (Dr. Bokányi L. és Varga T., 2011)

3.3. A minták fizikai-kémiai tulajdonságai

A Vaskútról érkezett mintákat a laboratóriumi kísérlet előtt az Észak-magyarországi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség laboratóriumába vittük mintaelemzés céljából. A vizsgálat eredményeit az alábbi két táblázat tartalmazza.

2. táblázat: Az első mintasorozat fizikai-kémiai tulajdonságainak elemzési adatai (saját szerkesztés)

Vizsgált komponensek	1.mintasorozat mintái		
	Zöld hulladék	Települési hulladék	Szennyvíziszap
szárazanyag tartalom %	66,44	58,99	20,05
hamu tartalom %	34,53	40,94	21,41
KOI (g/kg sz.a.)	705,90	600,90	963,60
TOC (g/kg sz.a.)	201,90	194,00	159,10
Összes nitrogén (g/kg sz.a.)	8,98	11,05	49,42

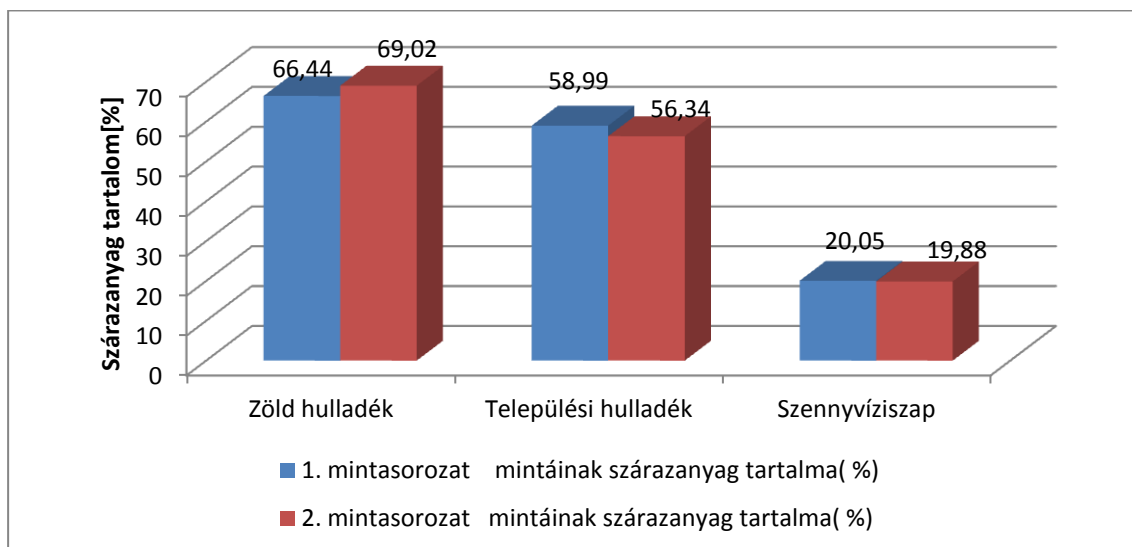
3. táblázat: A második mintasorozat fizikai-kémiai tulajdonságainak elemzési adatai (saját szerkesztés)

Vizsgált komponensek	2. mintasorozat mintái		
	Zöld hulladék	Települési hulladék	Szennyvíziszap
szárazanyag tartalom %	69,02	56,34	19,88
hamu tartalom %	42,2	56,6	29,15
KOI (g/kg sz.a.)	739,85	417,85	1143,95
TOC g/kg sz.a.	207,85	153,65	323,3
Összes nitrogén g/kg	11	10,2	33,95

A minták fizikai tulajdonságai

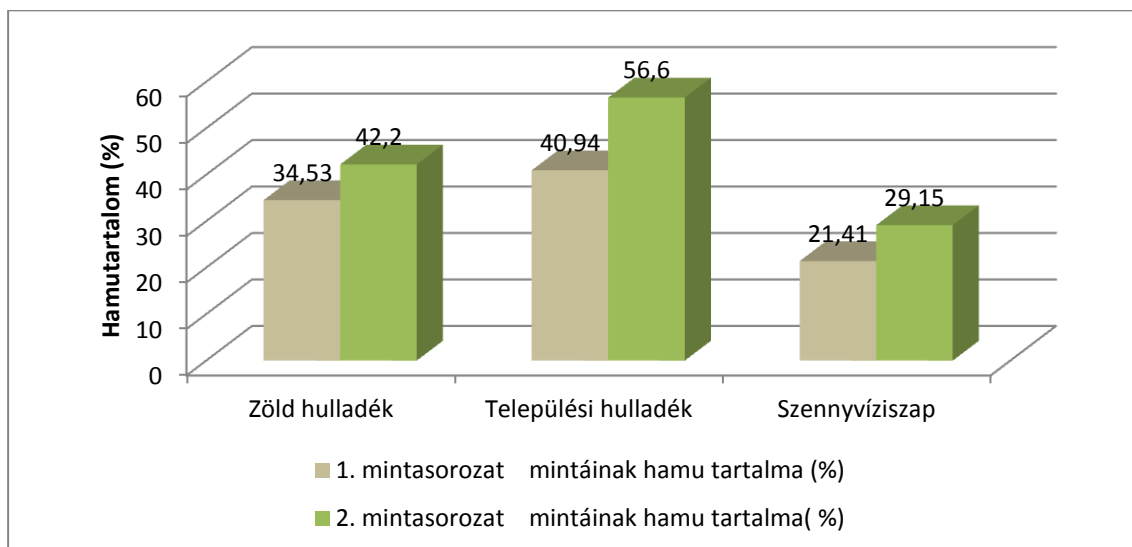
Az alábbiakban a minták fizikai-kémiai tulajdonságai kerülnek bemutatásra.

A minták fizikai tulajdonságai közé tartozik az összes szárazanyag tartalom és a hamutartalom.



1. diagram: A minták szárazanyag tartalma (saját szerkesztés)

Az 1. diagramon mindkét mintasorozat szárazanyag tartalma látható, melyről leolvasható, hogy az első és második mintasorozatnál is a zöld hulladék szárazanyag tartalma a legmagasabb. Az első esetben 66,4 %, a második mintasorozatnál 69,02 %. A legalacsonyabb értéket a szennyvíziszap (1. 20,05%, 2. 19,88%) mutatta mindkét mintasorozat esetén. A települési hulladék szárazanyag tartalma az első mintasorozatnál 58,99 %, míg a második esetben 56,34 % értékre adódtak.

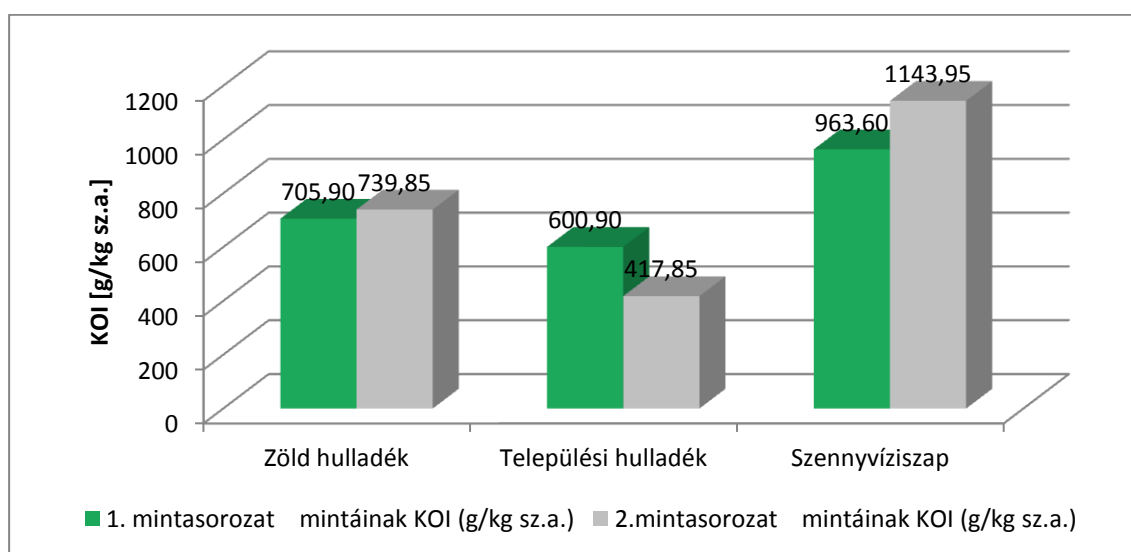


2. diagram: Az első- és második mintasorozat mintáinak hamu tartalma (saját szerkesztés)

A hamutartalom, ahogy a 2. diagramon látszik, a települési hulladék mintáknál (1. 40,94%; 2. 56,6%) mutatott a legmagasabb értéket. A hamutartalom szennyvíziszapnál 21,41 % és 29,15 % , a zöld hulladék esetében 34,53 % és 42,2 %.

A minták kémiai tulajdonságai

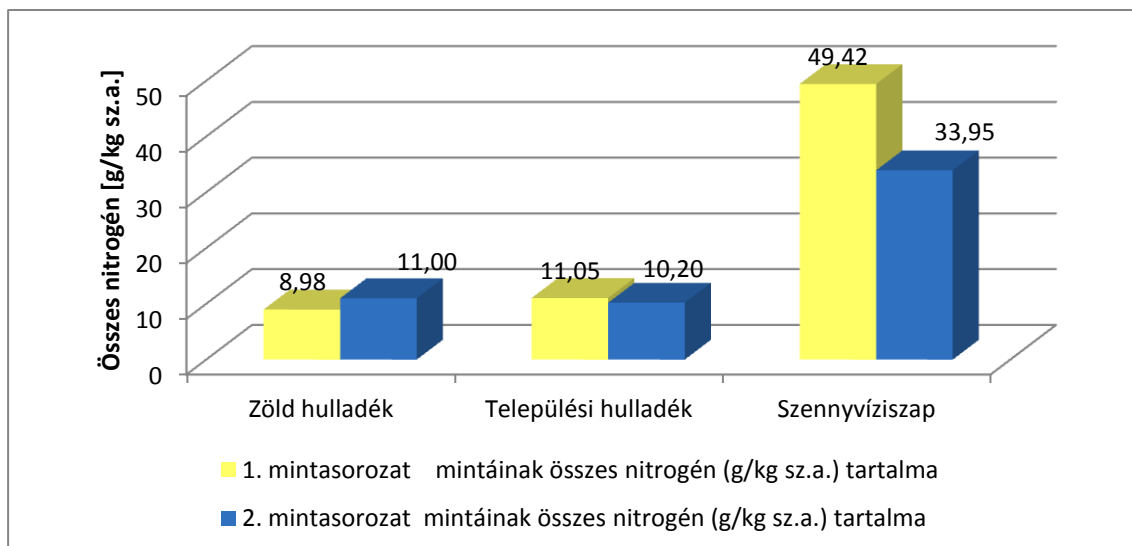
A minták fizikai tulajdonságain túl, a kémiai tulajdonságok is meghatározásra kerültek. A kémiai jellemzőket –kémiai oxigénigény (KOI), szerves nitrogén, összes szerves szén (TOC)- a 3. 4. és 5. diagramok szemléltetik. Az értékek minden esetben a szárazanyag tartalomra vannak vonatkoztatva.



3. diagram: A minták kémiai oxigénigény értékei (KOI) (saját szerkesztés)

Kémiai oxigénigény: (KOI): A hulladékban lévő szerves anyagok kémiai lebontásához, oxidálásához szükséges O_2 mennyiséget jelenti.

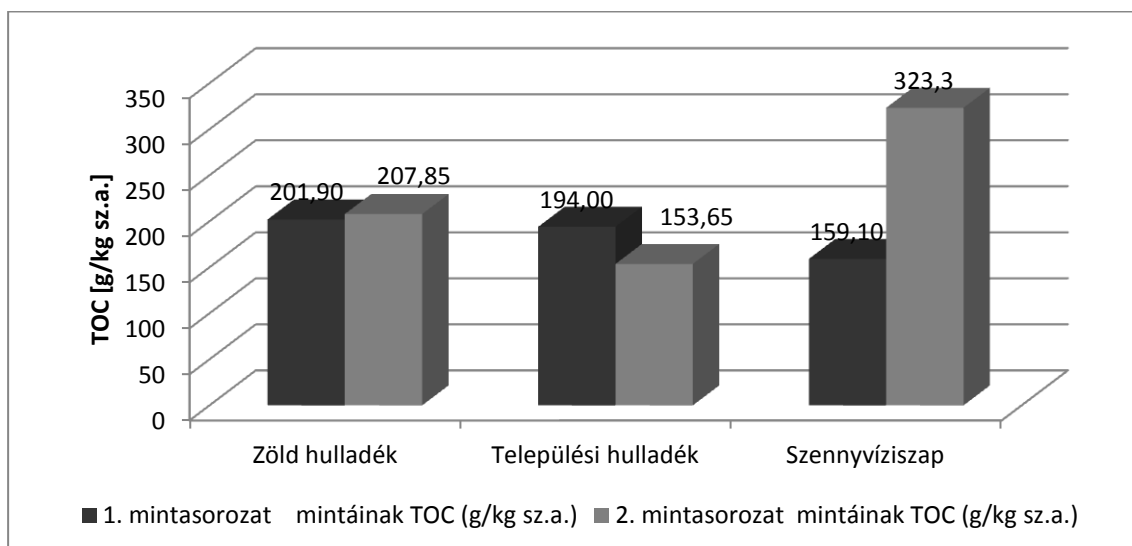
A 3. diagramon látható, hogy mindkét kísérletnél a legnagyobb érték a szennyvíziszap mintáknál megfigyelhető. Az első mintasorozatnál 963,60 g/kg sz.a., míg másodikonál 1143,95 g/kg sz.a.. A zöld hulladék KOI tartalma 705,90 g/kg sz.a. és 739,85 g/kg sz.a. A települési hulladék esetén a kémiai oxigénigény 600,9 g/kg sz.a és 417,85 g/kg sz.a.



4. diagram: Az első- és második mintasorozat mintáinak összes nitrogéntartalma (saját szerkesztés)

A 4. diagram szemlélteti, hogy az összes nitrogéntartalom a szennyvíziszap mintáknál (1. 49,42 g/kg sz.a., 2. 33,95 g/kg sz.a.) a legmagasabb. A többi mintánál megközelítőleg 10 g/kg sz.a látható. Az összetétel miatt lehetséges ez, mivel a zöld – és települési hulladék mintákban jóval kevesebb nitrogéntartalmú alkotó található.

A TOC (total organic carbon - összes szerves szén) érték a szerves szén összes mennyiségét jelöli. Ezek az anyagok lehetnek természetes eredetűek, mint például a huminsavak, de lehetnek ásványi olajok, oldószerek, poliaromás hidrokarbonátok és klórozott szerves vegyületek is.



5. diagram: A minták szerves szén (TOC) tartalma (saját szerkesztés)

Az 5. diagram első és második mintasorozat mintáira vonatkozó szerves szénttartalom során azt tapasztaltuk, hogy az első mintasorozatnál a zöld hulladék 207, 85 g/kg sz.a., települési hulladék 194 g/kg sz.a., szennyvíziszap esetén körülbelül 159 g/kg sz.a. értékek adódtak. Míg a második mintasorozatnál ezek az értékek a következők: zöld hulladék 207,85 g/kg sz.a.; települési hulladék 153,65 g/kg sz.a.; szennyvíziszap 323, 3 g/kg sz.a..

A fizikai- és kémiai paraméterek alakulásából levont megállapítások

A két különböző időben érkezett mintasorozatból a fizikai és kémiai paramétereken keresztül a következő következtetéseket vonhatjuk le.

A legnagyobb különbség a szennyvíziszap minták esetében megfigyelhető. A két mintasorozattal beérkezett szennyvíziszapok, látszólag nem mutattak eltérést egymástól, de a kémiai tulajdonságokban (KOI, TOC, összes nitrogén) jelentősen különböztek. Az eltérés oka ismeretlen, mivel szennyvíziszap mintákról semmilyen információt (pl. kezelés, összetétel, mintavétel) nem kaptunk.

A zöld hulladék minták mindkét mintasorozat esetében hasonló fizikai- és kémiai eredményeket mutatott. A kismértékű különbségek a két minta összetételéből adódhattak, mivel az első sorozattal beérkező zöld hulladék főként falevelekből állt, míg a második sorozatnál jellemzően faapríték volt.



4. ábra: Az első mintasorozat (balra) és a második mintasorozat (jobbra) zöldhulladékai (Dr. Bokányi L. és Varga T., 2011)

A települési hulladékoknál nagyobb mértékű eltérések voltak megfigyelhetőek, főleg a hamutartalom és kémiai oxigénigény (KOI) esetében. A hamutartalom az első mintasorozatnál 40,94 % értéket, míg a másodikonál 56,6 %-ot mutatott. A kémiai oxigénigény (KOI) az első esetben 600,90 g/kg sz.a., a második mintánál jelentősen alacsonyabb 417,85

g/ kg sz.a. volt. Ennek oka, hogy az első mintasorozattal érkező minta a települési hulladék begyűjtött nyers hulladék 50 mm alatti finom frakciója, míg a második mintasorozatnál a települési hulladék inkább stabilát jellegű volt.



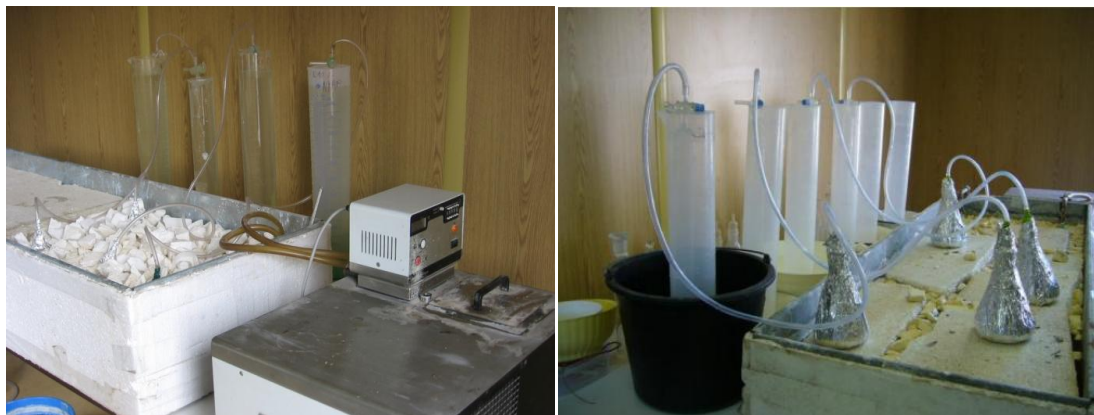
5. ábra: Az első mintasorozat (balra) és a második mintasorozat (jobbra) települési hulladéka
(Dr. Bokányi L. és Varga T., 2011)

3.4. Biogáz kísérletek ismertetése

A különböző összetételű hulladékokat az előkészítés után biogáz vizsgálatoknak vetettük alá. A kísérleteket statikus laboratóriumi berendezésben hajtottuk végre termofil (54°C) hőmérsékleten, illetve folyamatos keverésű bioreaktorban termofil és mezofil hőmérséklet tartományban.

3.4.1. A statikus berendezésben végzett biogáz vizsgálatok

A vizsgálatokat az iparágban általánosan alkalmazott német DIN 38414 S8 jelű szennyvíziszapok erjeszhetőségére kidolgozott módszert követve, azt továbbfejlesztve végeztük el.



6. ábra: A Laboratóriumi berendezés biogáz vizsgálat közben (Dr. Bokányi L. és Varga T., 2011)

Reaktorként Erlenmeyer lombikokat használtunk, melyeket gázbiztosan csatlakoztattunk a gázmennyiség mérő egységre. A reaktorokat 54°C-on vízfürdőben inkubáltuk. Gázmérő egységként menzúrába merülő gázmérő malacokat használtunk. A kísérlet során a fejlődő gáz kiszorítja a gázmérő egységből a kénsavas telített sóoldatot, a biogáz mennyiséget naponta leolvastuk és regisztráltuk.

A kísérlet menete

A statikus laboratóriumi vizsgálatokat zöld hulladék, települési hulladék és szennyvíziszap mintákkal végeztük el, melyeket a Felső-Bácskai Hulladékgazdálkodási Kft. bocsájtott a rendelkezésünkre. Mindkét mintasorozat esetében mindhárom hulladékfajtából 2 darab mintát készítettünk, oly módon, hogy az Erlenmeyer lombikba 5 g vaskútról érkező szennyvíziszapot (inokulomot) 300 ml hulladékot és 300 ml vizet adtunk és ezt elkevertük. A

lombikokat légmentesen lezártuk, valamint az állandó sötét körülmény biztosítása végett alufóliával betekertük. A lezárt lombikokat csatlakoztattuk a gázmennyiséget mérő egységhez. A kísérlet további menete a statikus berendezés bemutatásában leírtakkal megegyezik.

Az inokulomot a szennyvíziszap minta esetén nem alkalmaztuk. A két mintasorozat mintáinak adatait a 4. és 5. táblázat mutatja.

4. táblázat: Az első mintasorozat mintáinak összetétele (saját szerkesztés)

ZÖLD HULLADÉK			
	300 ml anyag		300 ml
	bemért minta tömege (g)	inokulum (g)	víz (g)
1. SZÁMÚ	90	5	300
2. SZÁMÚ	87	5	300
TELEPÜLÉSI HULLADÉK			
	300 ml anyag		300 ml
	bemért minta tömege (g)	inokulum (g)	víz (g)
3. SZÁMÚ	68	5	300
4. SZÁMÚ	81	5	300
SZENNYVÍZISZAP			
	300 ml anyag		150ml
	bemért minta tömege (g)	inokulum (g)	víz (g)
5. SZÁMÚ	294	0	150
6. SZÁMÚ	255	0	150

5. táblázat: A második mintasorozat mintáinak összetétele (saját szerkesztés)

ZÖLD HULLADÉK			
	300 ml anyag		300 ml
	bemért minta tömege (g)	inokulum (g)	víz (g)
1. SZÁMÚ	87,00	5	300
2. SZÁMÚ	84,00	5	300
TELEPÜLÉSI HULLADÉK			
	300 ml anyag		300 ml
	bemért minta tömege (g)	inokulum (g)	víz (g)
5. SZÁMÚ	130	5	300
6. SZÁMÚ	131	5	300
SZENNYVÍZISZAP			
	200 ml anyag		150ml
	bemért minta tömege (g)	inokulum(g)	víz (g)
3. SZÁMÚ	181	0	200
4. SZÁMÚ	194	0	200

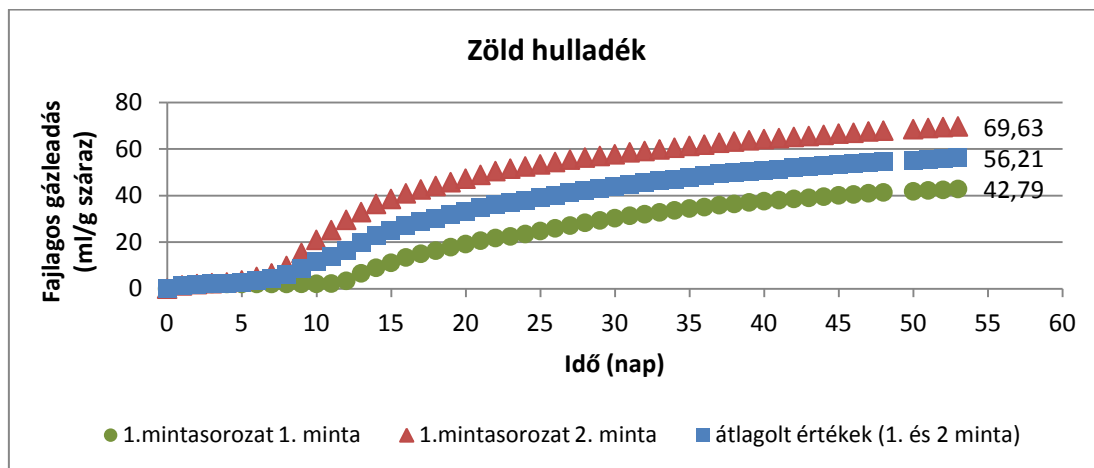
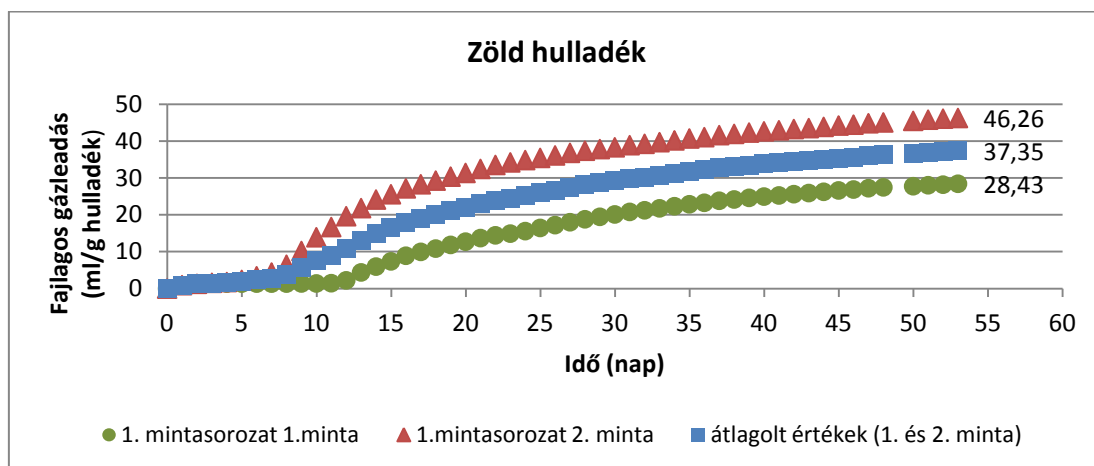
3.4.1.1 A biogáz képződés kinetikája statikus berendezésben

Az első mintasorozat mintái

Az első mintasorozat zöld hulladék, kommunális hulladék és szennyvíziszap mintáinak anaerob fermentációja 53 napig tartott. Minden minta esetében párhuzamos mérést alkalmaztunk.

Az első mintasorozat mintáinak fajlagos gázhozamát és a gázkinetikát a 6. 7. és 8. diagram szemlélteti.

Zöld hulladék

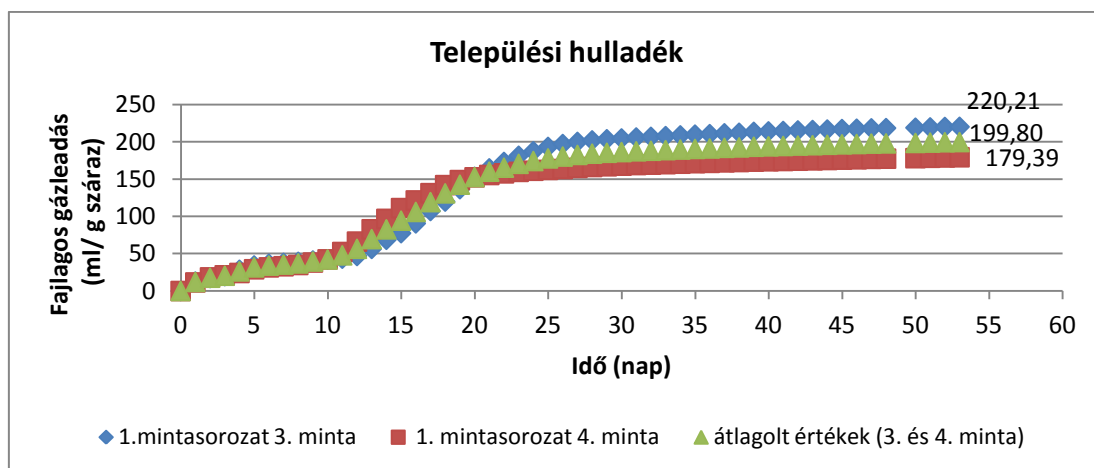
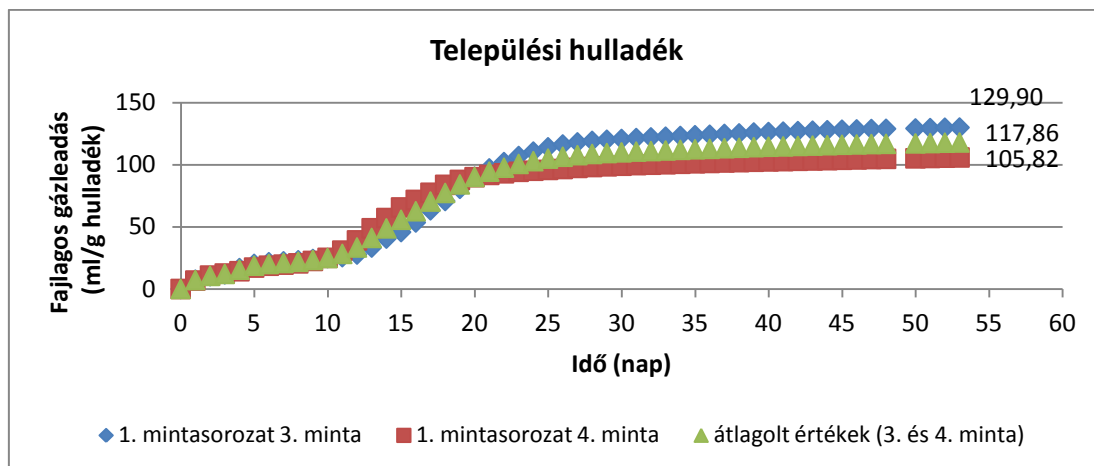


6. diagram: A zöld hulladékok fajlagos gázhozama (saját szerkesztés)

A 6. diagram a zöld hulladék fajlagos gázhozamát tartalmazza szárazanyag tartalomra vonatkoztatva. Az első mintasorozat zöld hulladék mintáinak esetében látható, hogy a párhuzamos mérések között különbség adódott, mivel az 53. napon az 1. minta gázleadó képessége 69,63 ml/g szárazanyag, a 2. minta gázhozama ugyanazon napon 42,79 ml/g szárazanyag. A gáztermelődéskinetikája, ahogy a 6. diagramon is látható hasonló lefutású

volt mindkét esetben. A párhuzamos méréseket átlagolva a fajlagos gázhozam értéke 65,21 ml/g sz.a. volt.

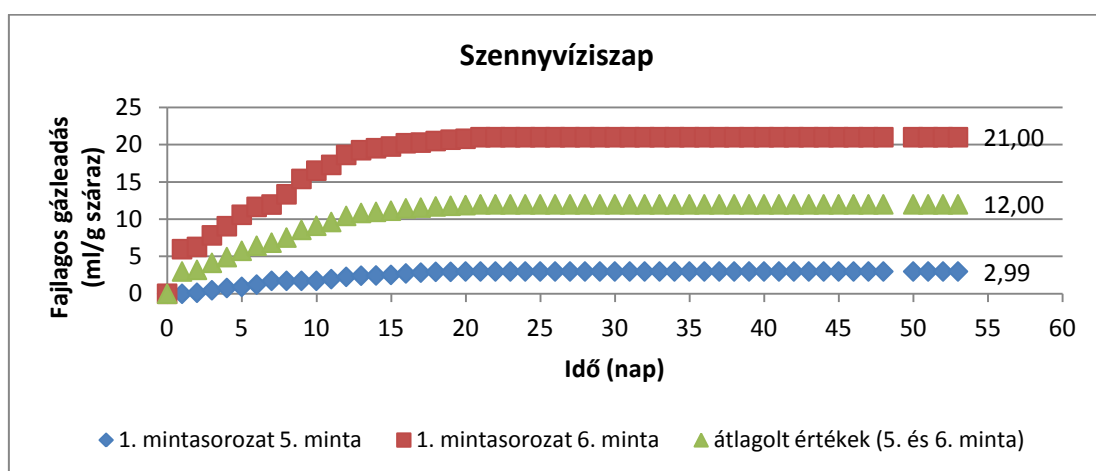
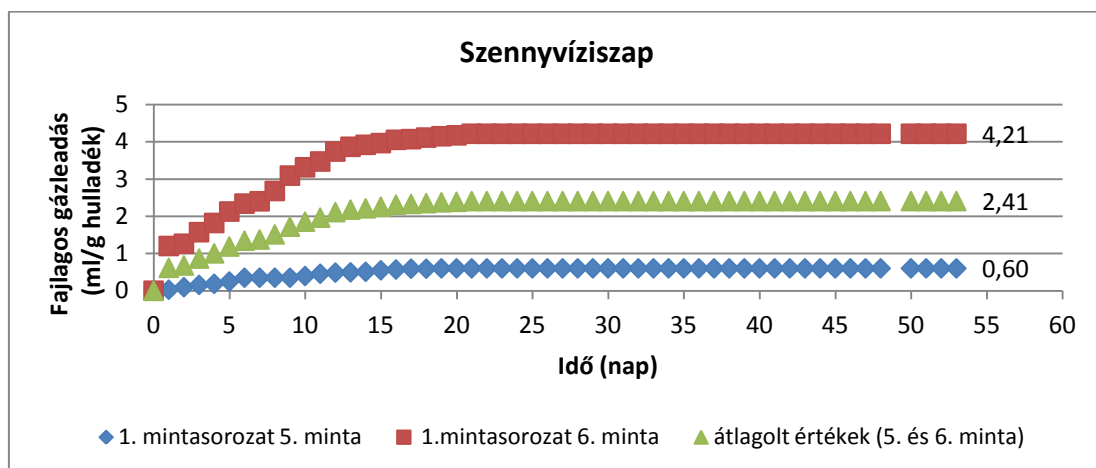
Kommunális hulladék



7. diagram: A települési minták fajlagos gázleadó képessége (saját szerkesztés)

A 7. diagram az első mintasorozat települési hulladék 50 mm alatti frakcióját tartalmazza, melyről látható, hogy a párhuzamos mérések fajlagos gázhozama és a gázképződés kinetikája is hasonló módon viselkedett. Az 53. napon a 3. minta 220,20 ml/g szárazanyag a 4. minta 179,39 ml/g szárazanyag értéket mutatott. Szintén ábrázolásra került a két minta átlagolt értéke, mely ebben az esetben 199,80 ml/g sz.a. volt.

Szennyvíziszap



8. diagram: A szennyvíziszap minták fajlagos gázhozama (saját szerkesztés)

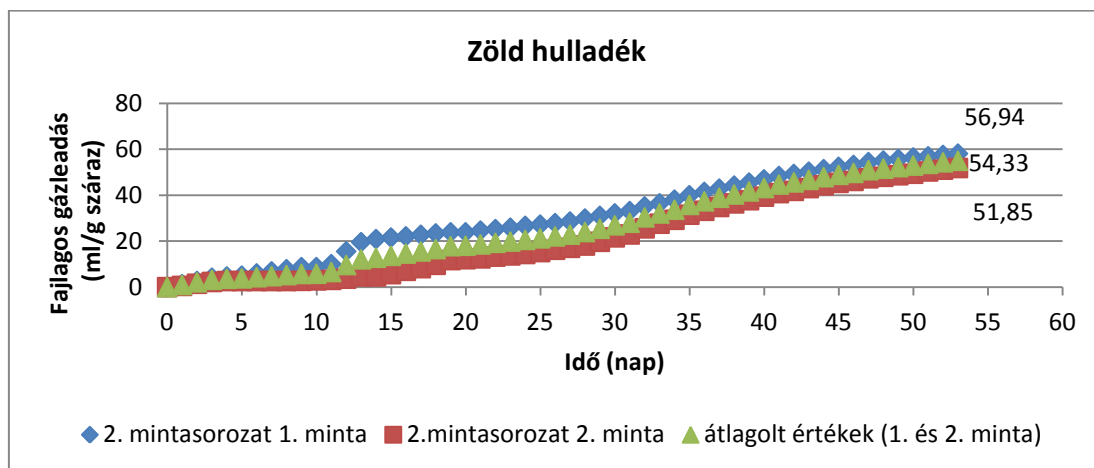
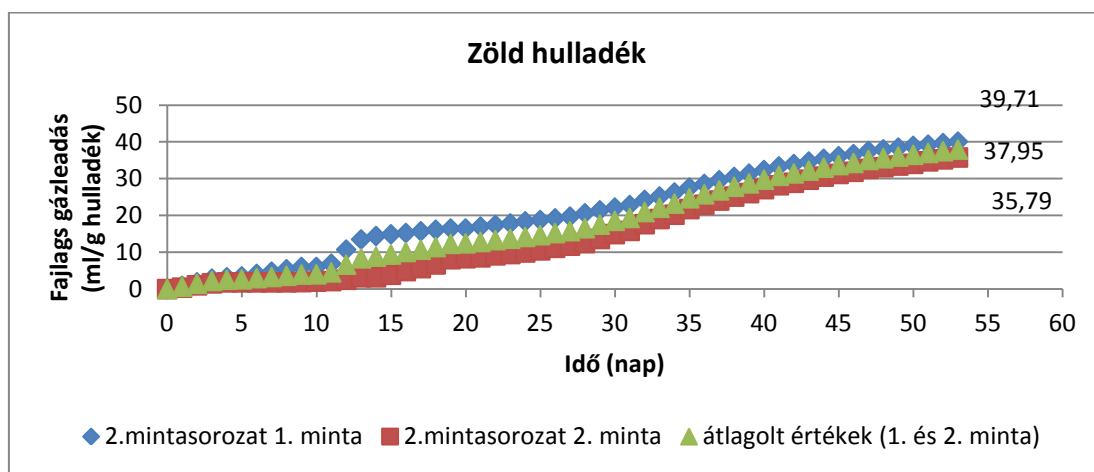
Megállapítható a 8. diagramról, hogy a szennyvíziszap minták között lényeges különbség adódott. Mindkét minta alacsony gázhozamot eredményezett, azonban az 53. napon, az 5. minta 21 ml/g szárazanyag, míg a 6. minta jelentősen kisebb mindössze 2,99 ml/g szárazanyag mutatott. Magyarázatot erre a különbségre nem tudunk, az előzőekben leírt információ hiány miatt.

A második mintasorozat mintái

A második mintasorozat kommunális hulladék és szennyvíziszap mintáinak anaerob fermentációja 49 napig tartott. A zöld hulladék minta esetében 53 napig tartott a biogáz vizsgálat. Minden minta esetében párhuzamos mérést alkalmaztunk.

A második mintasorozat mintáinak fajlagos gázleadó képességét és a gázképződés kinetikáját a 8. 9. és 10. diagram szemlélteti.

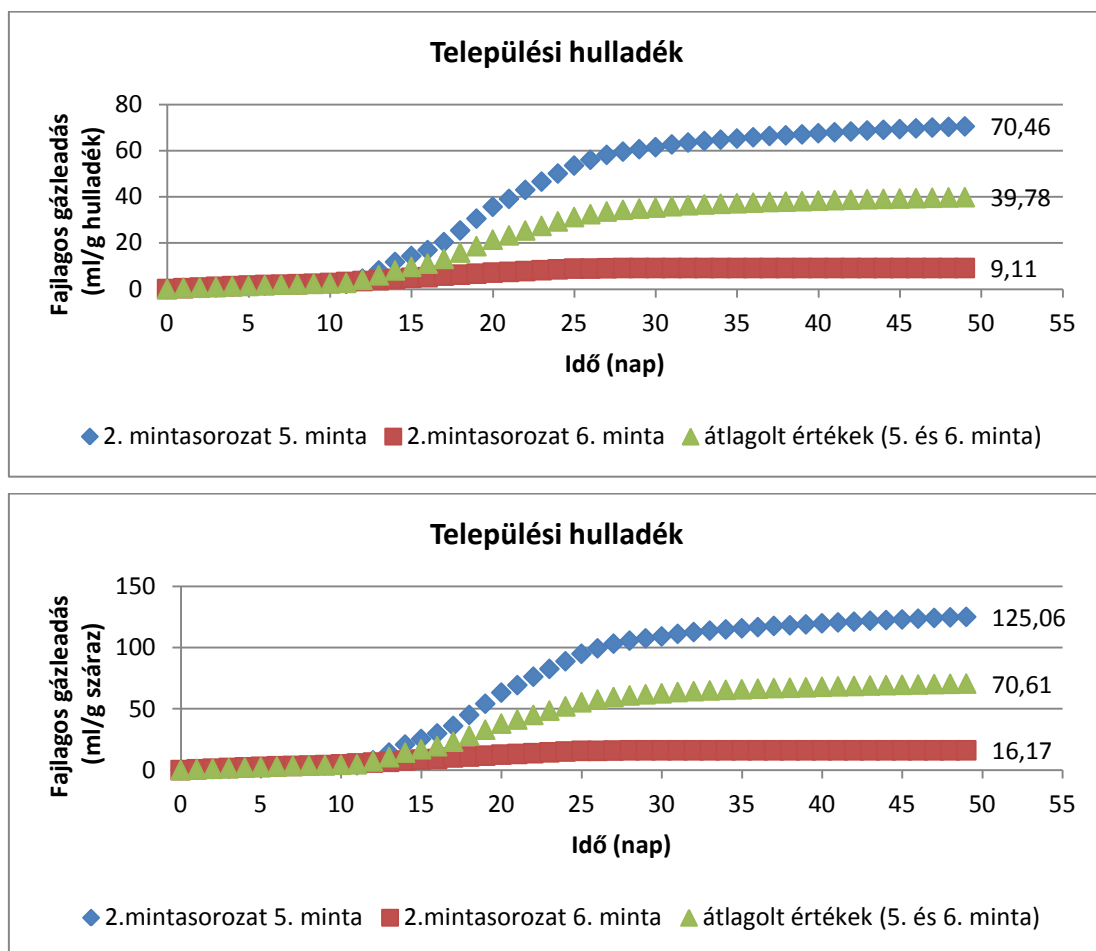
Zöld hulladék minták



9. diagram: A zöld hulladék minták fajlagos gázleadó képessége (saját szerkesztés)

A 9. diagramról megállapítható, hogy a zöld hulladék minták mind a gázképződés kinetikájában, mind a fajlagos gázhozamban is hasonlóan viselkedett. A 49. napon az 1. minta 56,94 ml/g szárazanyag a 2. minta 51,85 ml/g szárazanyag mennyiséget mutatott. A párhuzamos méréseket átlagolva a gázhozam értéke 54,33 ml/g sz.a. adódott.

Települési hulladék

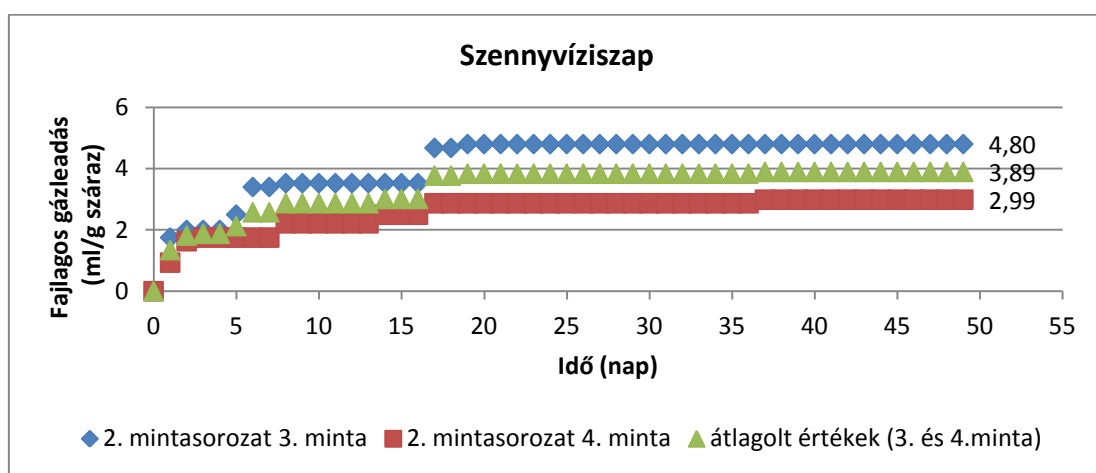
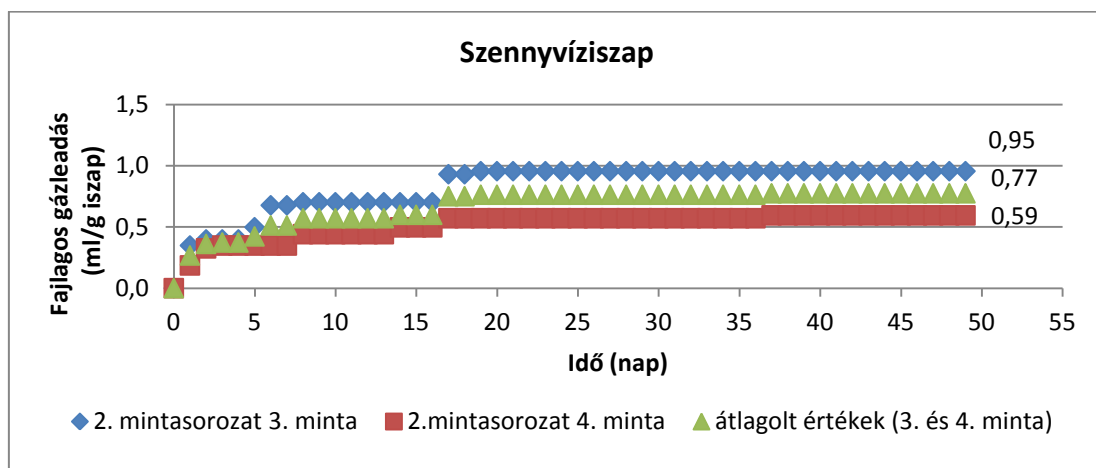


10. diagram: Települési hulladékok fajlagos gázhozama (saját szerkesztés)

A 10. diagram a települési hulladékok (főleg faapríték) fajlagos gázhozamát ábrázolja.

A települési hulladék párhuzamos mérései között lényeges különbség látható a diagramon. Az 5. minta a 49. napon 125,06 ml/g szárazanyag, míg a 6. minta mindössze 16,17 ml/g szárazanyag értéket mutatott. A nagy különbség valószínűleg mérési hiba következmény, mivel mindkét minta esetében azonos volt a feladás.

Szennyvíziszap



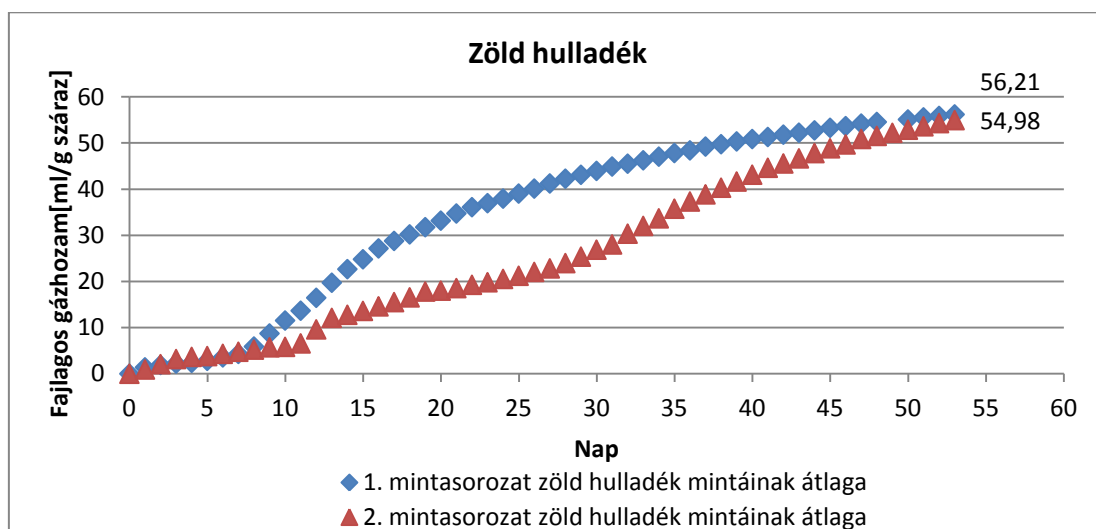
11. diagram: A szennyvíziszap minták fajlagos gázhozama (saját szerkesztés)

A szennyvíziszap minták, ahogy 11. diagramon látható is a második mintasorozat esetében is alacsony gázhozamot eredményezett, hasonlóan az első mintasorozathoz. A 3. minta az 49. napon 4,80 ml/g szárazanyag a 4. minta ugyanezen a napon 2,99 ml/g szárazanyag mennyiséget mutatott.

A biogáz vizsgálatok összehasonlítása

Az első és második mintasorozatban érkezett azonos hulladék minták biogáz-leadó képességének átlagát egy diagramban ábrázoltuk.

A mért eredményeket a 12. 13. és 14. diagramok szemléltetik.



12. diagram: A zöld hulladék szárazanyag tartalmára vonatkoztatott gázleadó képesség (saját szerkesztés)

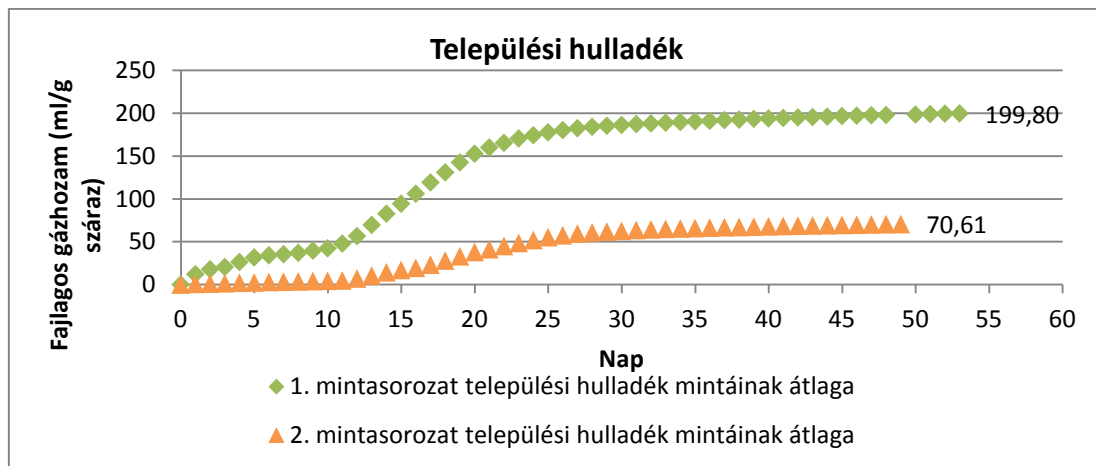
A zöld hulladék minták gázhozama, ahogy azt a 12. diagram is mutatja mindkét mintasorozatban hasonló módon alakult. A zöld hulladék minták esetén a fizikai- és kémiai paraméterek is közel azonos eredményeket mutatott. Eltérés csupán a gázképződés kinetikájában jelentkezett. Az első mintánál a 10. nap környékén indult be a gázképződés jelentősebben, míg a másodikként beérkezett zöld hulladék esetében a gázképződés a 30. napig lassú növekvő tendenciát mutatott. Ezek a kismértékű eltérések a két minta összetételéből adódhatnak, mivel az első esetben leginkább falevélről beszélhetünk, mint zöld hulladék, a második esetben főként faaprítékról (7. ábra).



7. ábra: Az első mintasorozat (balra) és második mintasorozat (jobbra) zöld hulladék mintája (Dr. Bokányi L. és Varga T., 2011)

Az anaerob lebontást 53 napig figyeltük meg. Az 53. napon a fajlagos gázleadás az első mintasorozat zöld hulladék minta esetében 56,21 ml/g szárazanyag, míg a második mérés esetében 54,91 ml/g szárazanyag.

A települési hulladék gázleadó képessége a következő diagramokon látható.



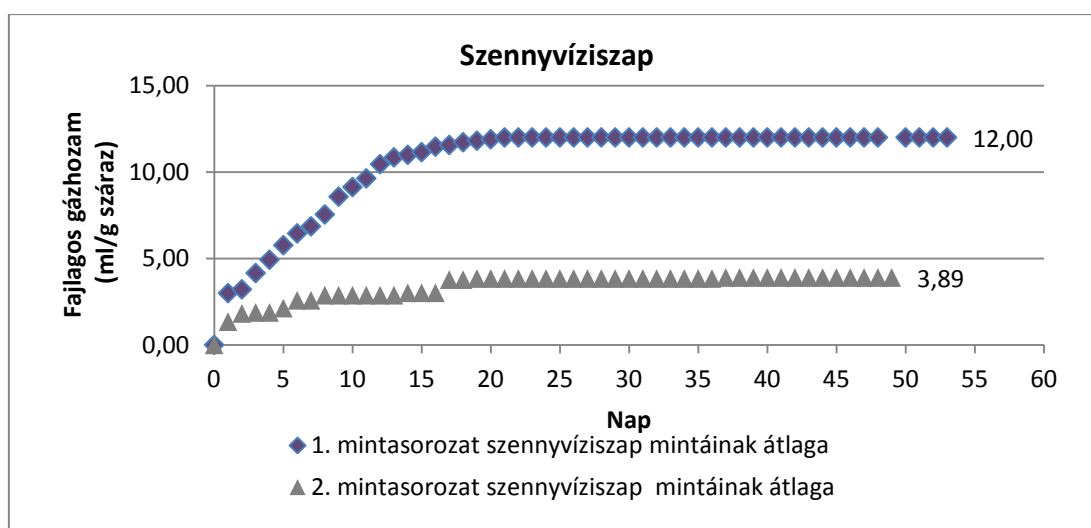
13. diagram: A kommunális hulladék szárazanyag tartalmára vonatkoztatott gázleadó képesség (saját szerkesztés)

A települési hulladék minták esetében már nagyobb különbségek megfigyelhetők, mint az előző zöld hulladék mintáknál. Az első és második mintasorozat települési hulladék mintáinál a fizikai- kémiai paraméterek, a kinetika és a fajlagos gázhozam is eltérő eredményeket

mutatott. Ennek oka lehet, hogy az első sorozatnál nyers települési hulladék finom frakciója, míg a másodiknál stabilát jellegű hulladék érkezett.

Az anaerob lebontás az első kísérletnél 53 napig, a második mérésnél 49 napig tartott.

A nyers települési hulladékánál (1. mérés települési hulladék minta) a biogáz képződés már az első naptól megfigyelhető volt, a stabilát jellegű hulladékánál (2. mérés települési hulladék minta) azonban az intenzívebb gázképződés a 15. naptól látható. Az azt követő napokban is a második mérés mintái jóval alacsonyabb gázhozamot produkálnak, mint az első mérés mintái. Az első mérésnél az 53. napon megközelítőleg 199,80 ml/g szárazanyag., míg a második mérés a 49. napon körülbelül 70,61 ml/g szárazanyag gázhozamot eredményezett.



14. diagram: A szennyvíziszap minták szárazanyag tartalmára vonatkoztatott fajlagos gázhozam értékek (saját szerkesztés)

A 14. diagramból látható, hogy a gázhozam mindkét mintasorozat esetében alacsonyra adódott. Továbbá megállapítható, hogy a két mintasorozat egymáshoz képest is jelentős eltérést produkált. Az első mintasorozatnál 12 ml/g szárazanyag., második mintasorozatnál 3,89 ml/g szárazanyag gázhozam mutatkozott. A szennyvíziszap esetén a kémiai paraméterek is különbségeket mutattak. Ezekre az eltérésekre a minták különböző összetétele adhat magyarázatot, azonban erről nem kaptunk információt a Felső-Bácskai Hulladékgazdálkodási Kft.-től. Az első mintasorozat szennyvíziszapja intenzívebb gáztermelődést mutatott a 14. napig, azonban a második mintasorozat mintája lényegesen alacsonyabb gázleadó képességgel rendelkezett.

3.4.2. Folyamatos keverésű reaktorban végzett biogáz vizsgálatok

A második mintasorozat esetében folyamatos keverésű reaktorban végeztük el a biogáz vizsgálatokat termofil és mezofil hőmérséklet tartományban.

Alkalmazott berendezés

A dinamikus méréseket egy 10 literes térfogatú, üvegfalú reaktorban végeztük, ami egy központi propelleres keverővel ellátott Braun bioreaktor. A reaktor, ill. a feladott anyag fűtése és hűn tartása a reaktor belsejében található spirálon keresztül, meleg víz keringetésével történik. A képződő gáz egy mechanikus gázmennyiség mérő egységbe kerül, az elvezetése a reaktor tetején valósul meg. Ennek bevezető ágán van lehetőség a képződő biogáz összetételének meghatározására is. Ehhez rendelkezésünkre állt egy kézi, IR (infravörös) CO₂ és CH₄ szenzorokkal felszerelt gázelemző készülék.



8. ábra: A biogáz vizsgálatához alkalmazott dinamikus berendezés (Dr. Bokányi L. és Varga T., 2011)

Mérés menete

A biogáz vizsgálathoz a három minta keverékét alkalmaztuk, a Felső-Bácskai Hulladékgazdálkodási Kft.-től szolgáltatott adatok alapján.

6. táblázat: Éves, felhasználható hulladékmennyiségek (saját szerkesztés)

Hulladékfajta	Éves mennyiség (t/év)	Tömeghányad (%)
Kommunális hulladék	40000- <u>45000</u>	86,5
Zöld hulladék	1500- <u>2000</u>	3,9
Szennyvíziszap	4500- <u>5000</u>	9,6
Összesen	52000	100

A kevert reaktoros vizsgálatoknál a tömeghányadoknak megfelelően készítettük el a keveréket. Az eredeti települési hulladékból a reaktorban felmerülhető technikai problémák elkerülése miatt leválasztottuk a nagyobb méretű műanyag és fém darabokat. Ennek a mennyisége elhanyagolható volt.

A zöld hulladék esetén, ugyanezen okok miatt, a kísérlet előtt aprítást hajtottunk végre függőleges tengelyű vágómalomban.

A mérés összeállítása a következőképp történt. A települési hulladékból kimértünk kb. 4 liter térfogatnak megfelelő mennyiséget - az első mérésnél (termofil) 2409,5g-ot, a második mérésnél (mezofil) 2477,5g-ot -, majd a tömegarányok ismeretében hozzákevertük a zöld hulladékot és a szennyvíziszapot. A keverékek tömege így rendre 2785,5g és 2864,4g-ra adódott. Mindkét esetben a keverékhez 7 liter vizet töltöttünk.

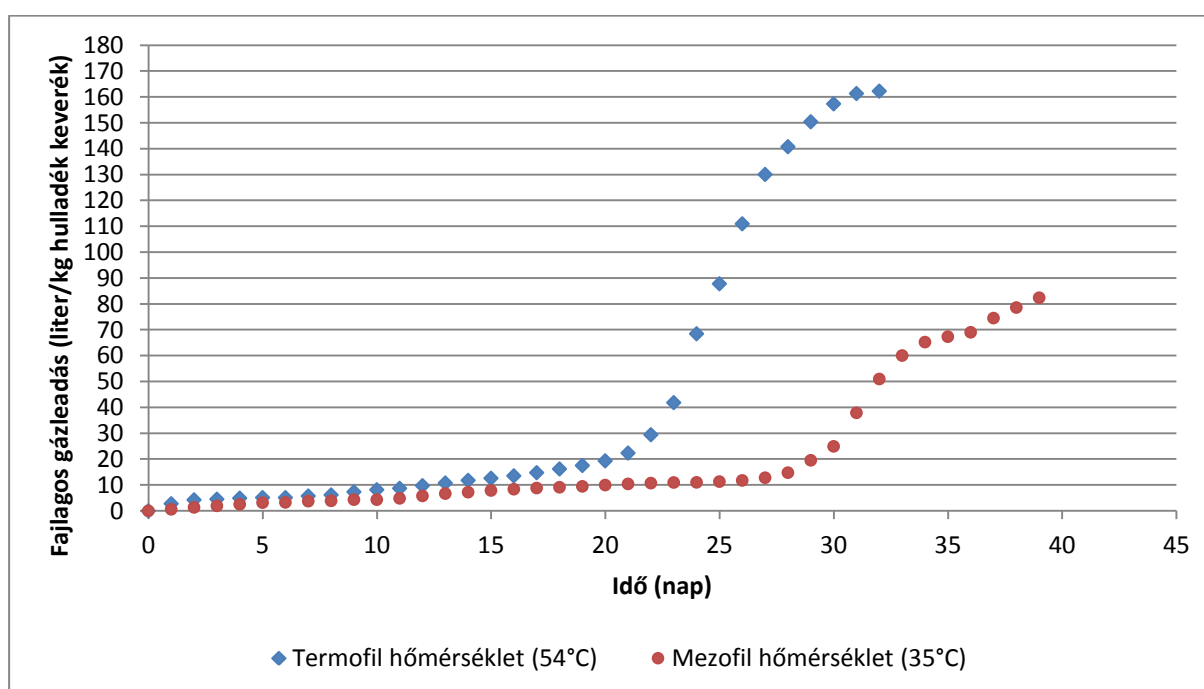
A minták, ill. a keverék sűrűségét, száraz-, és összes szerves szén tartalmát foglalja össze a 7. táblázat. A keverékek jellemzőit a bekeverési arány függvényében számítással határoztuk meg.

7. táblázat: A hulladék minták és keverékek jellemzői (saját szerkesztés)

Hulladékfajta	Térfogattömeg (g/l)	Szárazanyag (%)	TOC (g/kg sz.a.)
Kommunális hulladék	600	56,34	153,65
Zöld hulladék	240	69,02	207,85
Szennyvíziszap	900	19,88	323,3
Keverék	615	53,33	172,05

3.4.2.1 Biogáz képződés kinetikája kevert reaktorban

A képződő gáz mennyiségének meghatározása egy mechanikus gázmennyiség mérő segítségével történt napi leolvasás mellett. Az alábbi ábra (15. diagram) szemlélteti a gáztermelődéskinetikáját termofil (54°C) és mezofil (35°C) hőmérsékleti tartomány esetében. A fajlagos gázhozam a bemért hulladék minta tömegére vonatkoztatott érték.



15. diagram: Gáztermelődéskinetikája termofil ill. mezofil hőmérsékleten a kevert reaktorban végzett biogáz vizsgálatoknál (saját szerkesztés)

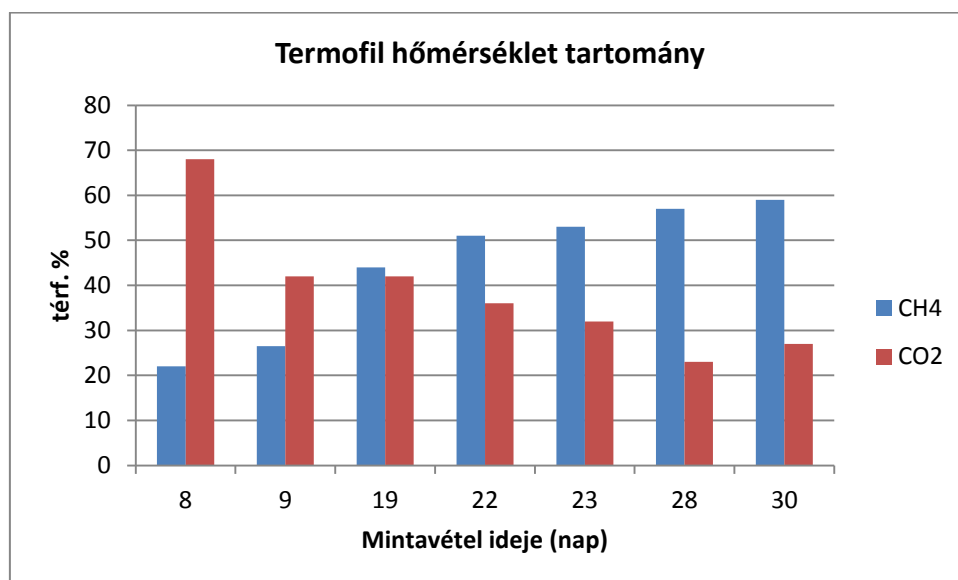
A termofil mérés esetében a vizsgálat időtartama 32 nap volt. A diagramon látható, hogy a fajlagos gázhozam a 21. napig lineárisan nőtt, majd a 22. naptól intenzívebb gáztermelődésk

indult be és a 30. napot követően ismét csökkent a képződő gáz mennyisége. A 32 napos tartózkodási idő alatt a 2,8 kg bemért hulladékból összesen 452 liter biogáz képződött.

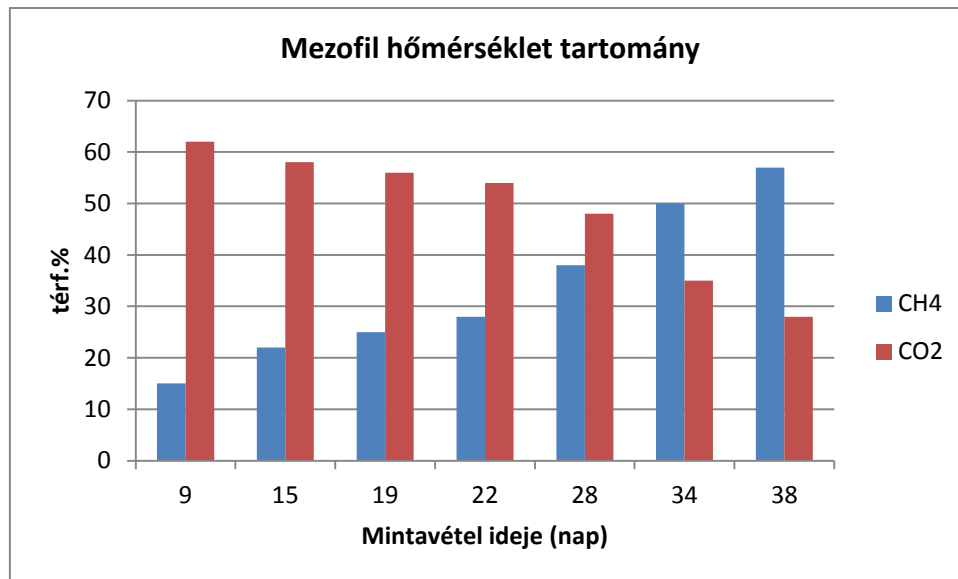
A mezofil hőmérsékleten végzett mérés 39 napig tartott, a készülék meghibásodása miatt, azonban a lebontás még nem fejeződött be. A mezofil hőmérsékleten a lebontás időtartama hosszabb, ahogy az ábrán is látható az intenzívebb gáztermelődés csak a 29. napon indult be. A 39 napos tartózkodási idő alatt a 2,9 kg hulladékból 236 liter biogáz képződött.

3.4.2.2 Gázösszetétel meghatározás

Az infravörös CO₂ és CH₄ szenzorral felszerelt hordozható gázelemző készülékkel meghatároztuk a biogáz összetételét erre a két komponensre vonatkozóan.



16. diagram: A kevert reaktorban termofil hőmérsékleten képződött biogáz CH₄ és CO₂ tartalma térfogatszázalékban (saját szerkesztés)



17. diagram: A kevert reaktorban mezofil hőmérsékleten képződött biogáz CH₄ és CO₂ tartalma térfogatszázalékban (saját szerkesztés)

Az ábráról látható, hogy a termofil hőmérsékleten végzett lebontás során a biogáz metán tartalma a 22. napon érte el az 51%-ot, s ezt követően ez az érték folyamatosan nőtt, míg a 30. napra 59%-os metán tartalmat mértünk. A 22. nap utáni időszakra a metán tartalom átlag értéke 55% volt. A képződött gáz fajlagos mennyisége itt 160 l/kg hulladék volt.

Mezofil tartomány esetében a lebontás folyamata lassabb, hosszabb tartózkodási időt igényel. Látható, hogy a metán tartalom a 28. napon is még 40% alatt volt. A 34. napon már elérte a metántartalom az 50 %-ot, majd a 38. napon ez az érték 57% volt.

A biogáz fűtőértékét a metántartalom határozza meg. A biogáz átlagos fűtőértéke 14-29 MJ/Nm³. A 60%-os metán-tartalmú biogáz fűtőértéke: 19,62 MJ /Nm³ (A. Burke P.E, 2001).

3.5. Biogáz vizsgálatok eredményeinek összefoglalása

A zöld hulladék, kommunális hulladék és szennyvíziszap mintákkal végzett anaerob lebontás és biogáz termelődés megvalósult statikus berendezésben termofil hőmérsékleten és kevert bioreaktorban mezofil és termofil hőmérséklet tartományban is.

A statikus berendezésben végzett kísérleteknél megállapítható, hogy mindkét mintasorozat esetében a legmagasabb fajlagos biogáz-leadó képessége a kommunális hulladék mintáknak volt. Az első mintasorozat esetében megközelítőleg 200 ml/g szárazanyag, a második mintasorozatnál körülbelül 71 ml/g szárazanyag fajlagos gázhozam mutatkozott.

A kevert bioreaktorban mezofil és termofil hőmérsékleten is látható, hogy körülbelül a 20. napig a minták alacsonyabb biogáz-hozamot eredményeztek. Megállapítható azonban, hogy a termofil hőmérsékleten működő bioreaktor 32 napos tartózkodási idő alatt a 2,8 kg bemért hulladékból összesen 452 liter biogáz képződött. Mezofil hőmérséklet tartományon 39 napos tartózkodási idő alatt a 2,9 kg hulladékból 236 liter biogáz képződött.

Azonban kevert reaktoros biogáz vizsgálatok további kísérleteket igényelnek, mivel mezofil hőmérsékleten a vizsgálat megszakadt, a berendezés meghibásodása miatt.

4. Konklúzió

A Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetében vizsgálatokat végeztünk a Felső-Bácskai Hulladékgazdálkodási Kft. vaskúti telephelyéről érkezett különböző szubsztrát mintákkal.

Első lépésként, a megfelelő előkészítés után meghatározásra kerültek a mintasorozatok fizikai- kémiai paraméterei. A vizsgálati értékekből az alábbi konklúziók vonhatók le:

- Az elemzési adatokból megállapítható, hogy a két mintasorozat szennyvíziszap mintái és a települési hulladék mintái között lényeges különbségek adódtak, míg a zöld hulladék minták hasonló tulajdonságokkal bírtak.
- A legnagyobb eltérés a szennyvíziszap minták esetében volt megfigyelhető. Látszólag egyformának bizonyultak, azonban a kémiai tulajdonságokban jelentősen különböztek (pl. TOC esetében 159,10 g/kg sz.a., 323,3 g/kg sz.a. érték; KOI-nál 963,60 g/kg sz.a., 1143,95 g/kg sz.a.).
- A települési hulladékoknál a hamutartalom (1. 40,94%; 2. 56,6%) és a kémiai oxigénigény (KOI) esetében voltak nagyobb mértékű eltérések, első mintasorozatnál a KOI értéke 600,90 g/kg sz.a., míg második esetben 417,85 g/kg sz.a. Ennek oka, hogy az első mintasorozattal érkező minta a települési hulladék begyűjtött nyers hulladék 50 mm alatti finom frakciója lehetett, míg a második mintasorozatnál a települési hulladék inkább stabilát jellegű volt.
- A zöld hulladék minták mindkét mintasorozat esetében hasonló fizikai- és kémiai eredményeket mutatott (pl. KOI-nál 705,90 g/kg sz.a. 739,85 g/kg sz.a.), a kis különbségek a két minta összetételéből adóhatott, mivel az első mintasorozat mintája főként falevelekből állt, míg a második mintasorozat mintája jellemzően faapríték volt.

A fizikai- kémiai paraméterek meghatározását követően biogáz vizsgálatokat végeztünk statikus és folyamatos keverésű reaktoros berendezésben mezofil és termofil hőmérsékleten. Ábrázoltuk minden esetben a gáztermelődéskinetikáját, amelyekről leolvasható a fajlagos gázhozam értékek, valamint a reaktoros méréseknél a képződő biogáz összetételét – metán és széndioxid vonatkozásában – is.

A biogáz vizsgálatok tapasztalatai az alábbiak voltak:

- A statikus berendezésben végzett kísérleteknél látható, hogy mindkét mintasorozat esetében a legmagasabb fajlagos gázhozamot a települési hulladék minták érték el (első mintasorozat 199,80 ml/g szárazanyag, második mintasorozat 70,90 ml/g szárazanyag). A két kommunális hulladék mintáinak átlagából megfigyelhető (13. *diagram*), hogy az első mintasorozattal érkezett települési hulladék minták gázleadó képessége jelentősen magasabb értéket mutatott (első mintasorozat települési hulladék minta: 199,80 ml/ g szárazanyag). A megfigyelt különbség, valószínűleg az előzőekben leírt összetételi eltérésekből adódhatott.
- A zöld hulladék minták gázhozama, mindkét mintasorozatban hasonló módon alakult. Az első mintasorozat zöld hulladék minta esetében 56,21 ml/g szárazanyag, míg a második mérés esetében 54,91 ml/g szárazanyag átlagos fajlagos gázhozamot eredményezett.
- A szennyvíziszap minták nem várt eredményeket produkáltak Első esetben 12 mg/l szárazanyag, míg második esetben mindössze körülbelül 4 mg/l szárazanyag átlagos gázhozam értékek voltak megfigyelhetőek. Ez az alacsony gázleadó képesség a szennyvíziszap eredetével magyarázható.
- A kevert reaktoros biogáz kísérletek 86,5 % települési hulladék (2. mintasorozat mintája), 3,9 % zöld hulladék és 9,6 % szennyvíziszap keverési arányok mellett víz hozzáadásával termofil és mezofil hőmérsékleten is megvalósultak.
- A kevert reaktorban elvégzett vizsgálatokból megállapítható, hogy a biogáz-termelődés lassabban indult el mindkét hőmérséklet tartományon. Termofil hőmérsékletnél intenzív gázleadás volt megfigyelhető körülbelül a 30. napig. Megállapítható az is, hogy mezofil hőmérséklet mellett a biogáz-termelés csak a 29. naptól intenzívebb, mivel a lebontás időtartama hosszabb.
- A kevert reaktoros mérések gázösszetételéből CH₄ és CO₂ vonatkozásában megfigyelhető, hogy a termofil hőmérsékleten végzett mérés során a biogáz metán tartalma a 22. napon érte el az 51%-ot, míg mezofil hőmérsékleten, ugyanezen a napon a metán tartalom 30 % alatt volt. A mezofil hőmérséklet tartományban a metán tartalom az 50%-ot a 34. napon érte el.

- Végző konklúzióként megállapítható, hogy a keverési arányok változtatásával akár nagyobb gázhozam értékek is elérhetők, ez viszont további vizsgálatokat igényel.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném köszönetemet kifejezni mindazoknak, akik segítették ennek a dolgozatnak az elkészültét. Köszönöm a Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetnek, hogy lehetővé tette számomra a biogáz laboratórium használatát, és a Felső-Bácskai Hulladékgazdálkodási Kft.-nek, Agátics Roland Igazgató Úrnak, aki biztosította a kísérlethez szükséges mintákat.

Külön szeretnék köszönetet mondani konzulenseimnek, Dr. Bokányi Ljudmilla egyetemi docens, a műszaki tudományok kandidátusának a munkám szakmai irányításáért és az útmutató tanácsokért, valamint Varga Terézia tanszéki mérnöknek a fáradhatatlan segítségnyújtásért és a szakmai tapasztalatok megosztásáért.

A dolgozat a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

Könyvek:

1. Dr. Bai Attila: A biogáz, Száz magyar falu könyvesháza Kht., Budapest, 2007
2. Dr. Bokányi Ljudmilla: Biológiai lebontható hulladékok kezelése, Kézirat, Miskolci Egyetem Eljárástechnikai Tanszék, 2004
3. Heinz Schulz- Barbara Eder: Biogázgyártás, Cser kiadó, Budapest, 2005
4. Fabien Monnet: An introduction to Anaerobic digestion of Organic Wastes, 2009
5. Bernd J. Kaltwasser: Biogáz előállítás és hasznosítás, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1983
6. A. Burke P.E: Dairy Wastes Anaerobic Digestion Handbook, Options for Recovering, 2001
7. Biogas upgrading and utilisation, IEA Bioenergy, Energy from biological conversion of organic waste
8. Prof. Dr.- Ing Dieter Deublein, Dipl. Ing. Angelika Steinhauser: Biogas from Waste and Renewable Resources, 2008
9. Dieter Deublein, Angelika Steinhauser, Biogas from waste and renewable resources, 2009
10. Soltész Beáta: Szakdolgozat, Anaerob lebontási és biogáz előállítási lehetőségének kísérleti vizsgálata az új típusú szennyvíztisztító berendezés szennyvíziszapjából, Miskolci Egyetem Eljárástechnikai Tanszék, 2009

Egyéb források:

11. Dr. Bokányi Ljudmilla- Varga Terézia Erzsébet: Kutatási zárójelentés- A Felső-Bácskai Hulladékgazdálkodási Kft. biohulladékainak biogáz –leadó képességének vizsgálata, Miskolc, 2011
12. www.biogas.hu
13. www.kvvm.hu
14. T. Varga, Dr. L. Bokányi: Energetic utilization of municipal sewage sludge and the applicable pre-treatments for the increased biogas yield, 1st Knowbridge Conference on Renewables, Miskolc, 2010. szeptember 27-28, ISBN 978-963-661-944-2, p. 69-76
15. T. Varga, Dr. L. Bokányi, 2008., Optimisation of Aerobic-Anaerobic Treatments of Municipal Solid Wastes, Micro CAD International Scientific Conference, ISBN 978-963-661-812-4Ö; ISBN 978-963-661-813-1, Miskolc, p. 107-112
16. Terézia Varga, Dr. Ljudmilla Bokányi, MBH hulladékkezelés finom frakciójának energetikai hasznosítása biogás előállítással, VII. kárpát-Medencei Környezettudományi Konferencia 2011. március 24-27, Kolozsvár, Románia, p. 155-159, ISSN 1842-9815

Ábrajegyzék

1. ÁBRA: AZ ANAEROB LEBONTÁS FOLYAMATA (DR. BOKÁNYI L., 2004)	7
2. ÁBRA: MINTAKISEBBÍTÉS A MÁSODIK MINTASOROZATTAL ÉRKEZETT ZÖLD HULLADÉK ESETÉN (DR. BOKÁNYI L. ÉS VARGA T., 2011).....	15
3. ÁBRA: FÜGGŐLEGES TENGYELŐ VÁGÓMALOM (DR. BOKÁNYI L. ÉS VARGA T., 2011)	16
4. ÁBRA: AZ ELSŐ MINTASOROZAT (BALRA) ÉS A MÁSODIK MINTASOROZAT (JOBBRA) ZÖLDHULLADÉKAI (DR. BOKÁNYI L. ÉS VARGA T., 2011)	20
6. ÁBRA: A LABORATÓRIUMI BERENDEZÉS BIOGÁZ VIZSGÁLAT KÖZBEN (DR. BOKÁNYI L. ÉS VARGA T., 2011)	22
7. ÁBRA: AZ ELSŐ MINTASOROZAT (BALRA) ÉS MÁSODIK MINTASOROZAT (JOBBRA) ZÖLD HULLADÉK MINTÁJA (DR. BOKÁNYI L. ÉS VARGA T., 2011)	31
8. ÁBRA: A BIOGÁZ VIZSGÁLATHOZ ALKALMAZOTT DINAMIKUS BERENDEZÉS (DR. BOKÁNYI L. ÉS VARGA T., 2011)	33

Diagramjegyzék

1. DIAGRAM: A MINTÁK SZÁRAZANYAG TARTALMA (SAJÁT SZERKESZTÉS)	17
2. DIAGRAM: AZ ELSŐ- ÉS MÁSODIK MINTASOROZAT MINTÁINAK HAMU TARTALMA (SAJÁT SZERKESZTÉS)	17
3. DIAGRAM: A MINTÁK KÉMIAI OXIGÉNIGÉNY ÉRTÉKEI (KOI) (SAJÁT SZERKESZTÉS)	18
4. DIAGRAM: AZ ELSŐ- ÉS MÁSODIK MINTASOROZAT MINTÁINAK ÖSSZES NITROGÉNTARTALMA (SAJÁT SZERKESZTÉS)	19
5. DIAGRAM: A MINTÁK SZERVES SZÉN (TOC) TARTALMA (SAJÁT SZERKESZTÉS)	19
6. DIAGRAM: A ZÖLD HULLADÉKOK FAJLAGOS GÁZHOZAMA (SAJÁT SZERKESZTÉS)	24
7. DIAGRAM: A TELEPÜLÉSI MINTÁK FAJLAGOS GÁZLEADÓ KÉPESSÉGE (SAJÁT SZERKESZTÉS)	25
8. DIAGRAM: A SZENNYVÍZISZAP MINTÁK FAJLAGOS GÁZHOZAMA (SAJÁT SZERKESZTÉS)	26
9. DIAGRAM: A ZÖLD HULLADÉK MINTÁK FAJLAGOS GÁZLEADÓ KÉPESSÉGE (SAJÁT SZERKESZTÉS)	27
10. DIAGRAM: TELEPÜLÉSI HULLADÉKOK FAJLAGOS GÁZHOZAMA (SAJÁT SZERKESZTÉS)	28
11. DIAGRAM: A SZENNYVÍZISZAP MINTÁK FAJLAGOS GÁZHOZAMA (SAJÁT SZERKESZTÉS)	29
12. DIAGRAM: A ZÖLD HULLADÉK SZÁRAZANYAG TARTALMÁRA VONATKOZTATOTT GÁZLEADÓ KÉPESSÉG (SAJÁT SZERKESZTÉS)	30
13. DIAGRAM: A KOMMUNÁLIS HULLADÉK SZÁRAZANYAG TARTALMÁRA VONATKOZTATOTT GÁZLEADÓ KÉPESSÉG (SAJÁT SZERKESZTÉS)	31
14. DIAGRAM: A SZENNYVÍZISZAP MINTÁK SZÁRAZANYAG TARTALMÁRA VONATKOZTATOTT FAJLAGOS GÁZHOZAM ÉRTÉKEK (SAJÁT SZERKESZTÉS)	32
15. DIAGRAM: GÁZTERMELŐDÉS KINETIKÁJA TERMOFIL ILL. MEZOFIL HŐMÉRSÉKLETEN A KEVERT REAKTORBAN VÉGZETT BIOGÁZ VIZSGÁLATOKNÁL (SAJÁT SZERKESZTÉS)	35
16. DIAGRAM: A KEVERT REAKTORBAN TERMOFIL HŐMÉRSÉKLETEN KÉPZŐDÖTT BIOGÁZ CH ₄ ÉS CO ₂ TARTALMA TÉRFOGATSZÁZALÉKBAN (SAJÁT SZERKESZTÉS)	36
17. DIAGRAM: A KEVERT REAKTORBAN MEZOFIL HŐMÉRSÉKLETEN KÉPZŐDÖTT BIOGÁZ CH ₄ ÉS CO ₂ TARTALMA TÉRFOGATSZÁZALÉKBAN (SAJÁT SZERKESZTÉS)	37

Táblázatjegyzék

1. TÁBLÁZAT: A BIOGÁZ ÉGÉSTECHNIKAI JELLEMZŐI MÁS ÉGHETŐ GÁZOKKAL ÖSSZEHASONLÍTVA (HEINZ SC. ÉS BARBARA E., 2005) .	13
2. TÁBLÁZAT: AZ ELSŐ MINTASOROZAT FIZIKAI-KÉMIAI TULAJDONSÁGAINAK ELEMZÉSI ADATAI (SAJÁT SZERKESZTÉS)	16
3. TÁBLÁZAT: A MÁSODIK MINTASOROZAT FIZIKAI-KÉMIAI TULAJDONSÁGAINAK ELEMZÉSI ADATAI (SAJÁT SZERKESZTÉS)	16
4. TÁBLÁZAT: AZ ELSŐ MINTASOROZAT MINTÁINAK ÖSSZETÉTELE (SAJÁT SZERKESZTÉS).....	23
5. TÁBLÁZAT: A MÁSODIK MINTASOROZAT MINTÁINAK ÖSSZETÉTELE (SAJÁT SZERKESZTÉS)	23
6. TÁBLÁZAT: ÉVES, FELHASZNÁLHATÓ HULLADÉKMENNYISÉGEK (SAJÁT SZERKESZTÉS).....	34
7. TÁBLÁZAT: A HULLADÉK MINTÁK ÉS KEVERÉKEK JELLEMZŐI (SAJÁT SZERKESZTÉS).....	35

Melléklet

1. és 2. mintasorozat zöld hulladék mintái bemért tömegre

1. mintasorozat zöld hulladék				2. mintasorozat zöld hulladék		
	1.SZÁMÚ	2.SZÁMÚ	1-2 minta átlaga	1.MINTA	2.MINTA	1-2 minta átlaga
Nap	(ML/G)	(ML/G)	(ML/G)	(ML/G)	(ML/G)	(ML/G)
0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
1	0,90	0,93	0,92	0,90	0,38	0,64
2	1,22	1,30	1,26	1,85	1,02	1,43
3	1,36	1,57	1,47	2,84	1,55	2,20
4	1,36	1,78	1,57	3,21	1,83	2,52
5	1,36	2,36	1,86	3,46	1,83	2,64
6	1,36	3,35	2,36	4,13	1,83	2,98
7	1,36	4,36	2,86	4,75	1,83	3,29
8	1,36	6,48	3,92	5,40	1,83	3,62
9	1,40	10,20	5,80	6,02	1,89	3,95
10	1,40	13,92	7,66	6,02	2,03	4,02
11	1,47	16,69	9,08	6,91	2,18	4,54
12	2,24	19,63	10,94	10,74	2,54	6,64
13	4,39	21,83	13,11	13,51	3,20	8,36
14	5,97	24,16	15,06	14,44	3,20	8,82
15	7,39	25,58	16,49	14,91	3,90	9,40
16	8,91	27,19	18,05	15,27	4,90	10,08
17	9,96	28,29	19,13	15,73	5,70	10,72
18	10,85	29,29	20,07	16,15	6,71	11,43
19	11,85	30,36	21,11	16,48	8,12	12,30
20	12,73	31,37	22,05	16,48	8,39	12,43
21	13,70	32,45	23,08	17,00	8,64	12,82
22	14,45	33,53	23,99	17,44	9,17	13,31
23	14,91	34,22	24,57	17,86	9,53	13,69
24	15,59	34,85	25,22	18,42	9,95	14,19
25	16,45	35,44	25,95	18,79	10,53	14,66
26	17,22	36,11	26,67	19,24	11,23	15,23
27	18,00	36,81	27,40	19,72	11,81	15,76
28	18,80	37,39	28,09	20,62	12,49	16,56
29	19,47	37,83	28,65	21,42	13,62	17,52
30	20,11	38,32	29,21	22,17	14,96	18,56
31	20,80	38,89	29,84	22,86	15,83	19,34
32	21,24	39,26	30,25	24,26	17,66	20,96
33	21,77	39,70	30,74	25,19	19,05	22,12
34	22,34	40,19	31,26	26,28	20,23	23,25
35	22,87	40,71	31,79	27,62	21,76	24,69
36	23,27	41,07	32,17	28,60	22,94	25,77

37	23,82	41,62	32,72	29,60	24,09	26,84
38	24,17	41,95	33,06	30,51	25,16	27,83
39	24,61	42,31	33,46	31,41	26,11	28,76
40	24,96	42,64	33,80	32,38	27,18	29,78
41	25,26	42,93	34,10	33,38	28,24	30,81
42	25,61	43,26	34,44	34,00	28,92	31,46
43	25,91	43,52	34,72	34,70	29,75	32,23
44	26,25	43,85	35,05	35,44	30,59	33,02
45	26,62	44,21	35,42	36,14	31,32	33,73
46	26,87	44,45	35,66	36,71	31,91	34,31
47	27,22	44,83	36,03	37,56	32,69	35,13
48	27,46	45,06	36,26	38,02	33,15	35,58
50	27,76	45,48	36,62	38,48	33,60	36,04
51	28,03	45,81	36,92	38,96	34,06	36,51
52	28,18	46,08	37,13	39,30	34,75	37,02
53	28,43	46,26	37,35	39,71	35,28	37,50

1. és 2. mintasorozat települési hulladék mintái bemért tömegre

1.mintasorozat települési hulladék				1. mintasorozat települési hulladék		
	3.minta	4.minta	3. 4. minta átlaga	5.minta	6.minta	5. 6. minta átlaga
Nap	ml/g	ml/g	ml/g	ml/g	ml/g	ml/g
0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
1	7,48	6,78	7,13	0,51	0,38	0,44
2	10,23	10,78	10,50	0,51	0,66	0,58
3	11,77	12,41	12,09	0,70	0,99	0,84
4	16,80	14,27	15,53	1,08	1,26	1,17
5	20,20	17,21	18,70	1,15	1,53	1,34
6	21,52	18,71	20,12	1,54	1,77	1,65
7	22,25	19,59	20,92	1,90	1,91	1,91
8	23,08	20,60	21,84	1,97	2,10	2,04
9	24,13	22,54	23,34	2,26	2,31	2,29
10	24,86	25,03	24,94	2,26	2,63	2,45
11	25,58	30,87	28,23	2,26	3,07	2,67
12	27,70	39,09	33,40	4,51	3,47	3,99
13	33,31	48,84	41,08	8,08	3,81	5,95
14	40,53	57,07	48,80	11,75	4,39	8,07
15	45,75	65,60	55,68	14,31	4,86	9,58
16	53,50	71,66	62,58	16,87	5,12	10,99
17	63,29	77,41	70,35	20,33	5,82	13,08

18	70,77	83,78	77,27	25,39	6,23	15,81
19	80,56	87,76	84,16	30,51	6,64	18,58
20	90,36	89,93	90,15	35,63	7,12	21,38
21	97,04	91,79	94,42	39,06	7,43	23,25
22	102,11	93,10	97,61	42,94	7,78	25,36
23	107,01	94,27	100,64	46,54	8,16	27,35
24	110,57	95,14	102,86	50,03	8,55	29,29
25	114,01	95,81	104,91	53,49	8,87	31,18
26	116,29	96,52	106,40	55,98	8,87	32,42
27	117,98	97,40	107,69	58,13	9,01	33,57
28	119,17	98,12	108,65	59,52	9,11	34,32
29	120,07	98,69	109,38	60,58	9,11	34,85
30	120,71	99,18	109,94	61,45	9,11	35,28
31	121,46	99,67	110,56	62,64	9,11	35,87
32	121,96	99,99	110,98	63,47	9,11	36,29
33	122,56	100,36	111,46	64,13	9,11	36,62
34	123,13	100,74	111,94	64,70	9,11	36,91
35	123,72	101,13	112,43	65,19	9,11	37,15
36	124,12	101,40	112,76	65,73	9,11	37,42
37	124,78	101,78	113,28	66,29	9,11	37,70
38	125,19	102,04	113,62	66,59	9,11	37,85
39	125,92	102,37	114,14	67,00	9,11	38,06
40	126,29	102,63	114,46	67,49	9,11	38,30
41	126,62	102,87	114,74	67,91	9,11	38,51
42	127,05	103,13	115,09	68,23	9,11	38,67
43	127,38	103,38	115,38	68,68	9,11	38,89
44	127,75	103,64	115,70	68,99	9,11	39,05
45	128,14	103,96	116,05	69,27	9,11	39,19
46	128,41	104,22	116,32	69,61	9,11	39,36
47	128,71	104,53	116,62	69,96	9,11	39,53
48	128,89	104,70	116,79	70,23	9,11	39,67
50	129,19	105,11	117,15	70,46	9,11	39,78
51	129,45	105,40	117,43			
52	129,77	105,66	117,71			
53	129,90	105,82	117,86			

1. és 2. mintasorozat szennyvíziszap mintái

1.mintasorozat szennyvíziszap				2.mintasorozat szennyvíziszap		
NAP	5.MINTA	6.MINTA	5. 6. minta átlaga	3.minta	4.minta	3.4. minta átlaga
	ml/g	ml/g	ml/g	ml/g	ml/g	ml/g
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,03	1,20	0,61	0,35	0,19	0,27
2	0,09	1,26	0,68	0,40	0,32	0,36

3	0,16	1,57	0,86	0,40	0,35	0,37
4	0,19	1,82	1,00	0,40	0,35	0,37
5	0,25	2,12	1,19	0,50	0,35	0,42
6	0,35	2,34	1,34	0,68	0,35	0,51
7	0,35	2,40	1,37	0,68	0,35	0,51
8	0,35	2,68	1,51	0,70	0,44	0,57
9	0,35	3,09	1,72	0,70	0,44	0,57
10	0,39	3,31	1,85	0,70	0,44	0,57
11	0,46	3,47	1,96	0,70	0,44	0,57
12	0,49	3,73	2,11	0,70	0,44	0,57
13	0,49	3,86	2,18	0,70	0,44	0,57
14	0,51	3,91	2,21	0,70	0,50	0,60
15	0,55	3,96	2,25	0,70	0,50	0,60
16	0,57	4,05	2,31	0,70	0,50	0,60
17	0,59	4,07	2,33	0,93	0,57	0,75
18	0,59	4,11	2,35	0,93	0,57	0,75
19	0,60	4,14	2,37	0,95	0,57	0,76
20	0,60	4,17	2,38	0,95	0,57	0,76
21	0,60	4,21	2,41	0,95	0,57	0,76
22	0,60	4,21	2,41	0,95	0,57	0,76
23	0,60	4,21	2,41	0,95	0,57	0,76
24	0,60	4,21	2,41	0,95	0,57	0,76
25	0,60	4,21	2,41	0,95	0,57	0,76
26	0,60	4,21	2,41	0,95	0,57	0,76
27	0,60	4,21	2,41	0,95	0,57	0,76
28	0,60	4,21	2,41	0,95	0,57	0,76
29	0,60	4,21	2,41	0,95	0,57	0,76
30	0,60	4,21	2,41	0,95	0,57	0,76
31	0,60	4,21	2,41	0,95	0,57	0,76
32	0,60	4,21	2,41	0,95	0,57	0,76
33	0,60	4,21	2,41	0,95	0,57	0,76
34	0,60	4,21	2,41	0,95	0,57	0,76
35	0,60	4,21	2,41	0,95	0,57	0,76
36	0,60	4,21	2,41	0,95	0,57	0,76
37	0,60	4,21	2,41	0,95	0,59	0,77
38	0,60	4,21	2,41	0,95	0,59	0,77
39	0,60	4,21	2,41	0,95	0,59	0,77
40	0,60	4,21	2,41	0,95	0,59	0,77
41	0,60	4,21	2,41	0,95	0,59	0,77
42	0,60	4,21	2,41	0,95	0,59	0,77
43	0,60	4,21	2,41	0,95	0,59	0,77
44	0,60	4,21	2,41	0,95	0,59	0,77
45	0,60	4,21	2,41	0,95	0,59	0,77
46	0,60	4,21	2,41	0,95	0,59	0,77

47	0,60	4,21	2,41	0,95	0,59	0,77
48	0,60	4,21	2,41	0,95	0,59	0,77
50	0,60	4,21	2,41	0,95	0,59	0,77
51	0,60	4,21	2,41			
52	0,60	4,21	2,41			
53	0,60	4,21	2,41			

1. és 2. mintasorozat zöld hulladék mintái szárazanyagra vonatkoztatva

1. mintasorozat zöld hulladék				2. mintasorozat zöld hulladék		
Nap	1.minta	2. minta	1. 2. minta átlaga	1. minta	2. minta	1. 2. minta átlaga
	ml/g száraz		ml/g száraz	ml/g száraz		ml/g száraz
0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
1	1,35	1,40	1,38	1,30	0,54	0,92
2	1,84	1,96	1,90	2,68	1,47	2,08
3	2,05	2,37	2,21	4,12	2,25	3,19
4	2,05	2,68	2,36	4,65	2,65	3,65
5	2,05	3,55	2,80	5,01	2,65	3,83
6	2,05	5,04	3,55	5,98	2,65	4,32
7	2,05	6,56	4,30	6,88	2,65	4,77
8	2,05	9,75	5,90	7,82	2,65	5,24
9	2,11	15,35	8,73	8,72	2,73	5,73
10	2,11	20,96	11,53	8,72	2,93	5,83
11	2,21	25,11	13,66	10,01	3,15	6,58
12	3,37	29,55	16,46	15,56	3,68	9,62
13	6,61	32,85	19,73	19,57	4,64	12,11
14	8,99	36,36	22,67	20,92	4,64	12,78
15	11,12	38,51	24,81	21,60	5,65	13,62
16	13,41	40,92	27,16	22,12	7,09	14,61
17	14,99	42,58	28,79	22,80	8,26	15,53
18	16,33	44,08	30,20	23,40	9,72	16,56
19	17,84	45,70	31,77	23,88	11,77	17,82
20	19,16	47,21	33,18	23,88	12,15	18,02
21	20,62	48,84	34,73	24,63	12,51	18,57
22	21,75	50,46	36,11	25,27	13,29	19,28
23	22,44	51,51	36,97	25,87	13,80	19,83
24	23,46	52,46	37,96	26,69	14,42	20,56
25	24,76	53,34	39,05	27,22	15,26	21,24
26	25,92	54,36	40,14	27,88	16,27	22,07
27	27,09	55,40	41,25	28,57	17,11	22,84
28	28,30	56,27	42,28	29,87	18,10	23,99
29	29,30	56,94	43,12	31,04	19,73	25,39
30	30,27	57,67	43,97	32,12	21,67	26,90
31	31,31	58,53	44,92	33,12	22,93	28,03

32	31,97	59,09	45,53	35,15	25,58	30,36
33	32,77	59,76	46,26	36,50	27,60	32,05
34	33,62	60,49	47,06	38,07	29,31	33,69
35	34,42	61,27	47,85	40,02	31,53	35,77
36	35,02	61,81	48,42	41,44	33,24	37,34
37	35,85	62,64	49,25	42,88	34,90	38,89
38	36,38	63,14	49,76	44,20	36,45	40,32
39	37,04	63,68	50,36	45,50	37,83	41,67
40	37,57	64,18	50,87	46,91	39,38	43,15
41	38,02	64,62	51,32	48,37	40,92	44,64
42	38,55	65,11	51,83	49,27	41,90	45,58
43	39,00	65,50	52,25	50,27	43,11	46,69
44	39,51	66,00	52,76	51,35	44,32	47,83
45	40,07	66,55	53,31	52,37	45,38	48,87
46	40,44	66,91	53,67	53,19	46,23	49,71
47	40,97	67,48	54,23	54,42	47,36	50,89
48	41,33	67,82	54,58	55,08	48,03	51,56
50	41,78	68,45	55,11	55,76	48,68	52,22
51	42,19	68,94	55,57	56,45	49,35	52,90
52	42,41	69,35	55,88	56,94	50,34	53,64
53	42,79	69,63	56,21	57,54	51,12	54,33

1. és 2. mintasorozat települési hulladék mintái szárazanyagra vonatkoztatva

1. mintasorozat települési hulladék				2. mintasorozat települési hulladék		
Nap	3.minta	4.minta	3. 4. minta átlaga	5.minta	6.minta	5. 6. minta átlaga
	ml/g száraz	ml/g száraz	ml/g száraz	ml/g száraz	ml/g száraz	ml/g száraz
0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
1	12,68	11,49	12,08	0,90	0,67	0,78
2	17,34	18,27	17,81	0,90	1,17	1,03
3	19,95	21,04	20,49	1,24	1,76	1,50
4	28,47	24,18	26,33	1,92	2,24	2,08
5	34,24	29,18	31,71	2,04	2,71	2,37
6	36,48	31,72	34,10	2,73	3,15	2,94
7	37,72	33,21	35,46	3,38	3,39	3,38
8	39,13	34,92	37,03	3,50	3,73	3,62
9	40,90	38,22	39,56	4,02	4,10	4,06
10	42,14	42,44	42,29	4,02	4,67	4,34
11	43,37	52,33	47,85	4,02	5,45	4,73
12	46,96	66,26	56,61	8,01	6,16	7,08
13	56,47	82,80	69,64	14,34	6,77	10,55
14	68,70	96,74	82,72	20,85	7,79	14,32
15	77,56	111,21	94,38	25,40	8,62	17,01
16	90,69	121,47	106,08	29,95	9,08	19,52

17	107,29	131,23	119,26	36,09	10,33	23,21
18	119,97	142,02	130,99	45,06	11,06	28,06
19	136,57	148,76	142,67	54,15	11,79	32,97
20	153,17	152,46	152,81	63,25	12,65	37,95
21	164,50	155,60	160,05	69,33	13,19	41,26
22	173,10	157,82	165,46	76,21	13,80	45,01
23	181,40	159,80	170,60	82,60	14,49	48,54
24	187,43	161,29	174,36	88,81	15,17	51,99
25	193,27	162,42	177,84	94,94	15,74	55,34
26	197,13	163,62	180,38	99,36	15,74	57,55
27	200,00	165,11	182,56	103,17	15,99	59,58
28	202,02	166,34	184,18	105,65	16,17	60,91
29	203,54	167,30	185,42	107,53	16,17	61,85
30	204,62	168,13	186,37	109,07	16,17	62,62
31	205,90	168,96	187,43	111,18	16,17	63,68
32	206,75	169,50	188,13	112,66	16,17	64,41
33	207,76	170,12	188,94	113,82	16,17	65,00
34	208,73	170,78	189,75	114,84	16,17	65,51
35	209,74	171,44	190,59	115,72	16,17	65,94
36	210,41	171,89	191,15	116,67	16,17	66,42
37	211,53	172,53	192,03	117,66	16,17	66,91
38	212,23	172,99	192,61	118,19	16,17	67,18
39	213,46	173,53	193,50	118,92	16,17	67,55
40	214,09	173,98	194,04	119,80	16,17	67,98
41	214,65	174,38	194,51	120,53	16,17	68,35
42	215,37	174,83	195,10	121,11	16,17	68,64
43	215,93	175,25	195,59	121,90	16,17	69,03
44	216,56	175,70	196,13	122,45	16,17	69,31
45	217,23	176,23	196,73	122,95	16,17	69,56
46	217,68	176,68	197,18	123,56	16,17	69,86
47	218,20	177,21	197,70	124,17	16,17	70,17
48	218,49	177,49	197,99	124,66	16,17	70,42
50	219,00	178,18	198,59	125,06	16,17	70,61
51	219,45	178,67	199,06			
52	219,99	179,11	199,55			
53	220,21	179,39	199,80			

1. és 2. mintasorozat szennyvíziszap mintái szárazanyagra vonatkoztatva

1. mintasorozat szennyvíziszap				2. mintasorozat szennyvíziszap		
Nap	5. minta	6. minta	5. 6. minta átlaga	3. minta	4. minta	3. 4. minta átlaga
	ml/g száraz	ml/g száraz	ml/g száraz	ml/g száraz	ml/g száraz	ml/g száraz
0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
1	0,00	5,99	2,99	1,75	0,93	1,34

2	0,14	6,28	3,21	2,00	1,63	1,82
3	0,47	7,83	4,15	2,00	1,75	1,88
4	0,78	9,07	4,92	2,00	1,75	1,88
5	0,93	10,60	5,76	2,50	1,75	2,13
6	1,24	11,65	6,44	3,40	1,75	2,58
7	1,74	11,97	6,86	3,40	1,75	2,58
8	1,74	13,34	7,54	3,53	2,22	2,87
9	1,74	15,40	8,57	3,53	2,22	2,87
10	1,74	16,51	9,13	3,53	2,22	2,87
11	1,97	17,29	9,63	3,53	2,22	2,87
12	2,27	18,62	10,45	3,53	2,22	2,87
13	2,43	19,26	10,84	3,53	2,22	2,87
14	2,46	19,52	10,99	3,53	2,50	3,01
15	2,53	19,75	11,14	3,53	2,50	3,01
16	2,73	20,19	11,46	3,53	2,50	3,01
17	2,84	20,28	11,56	4,68	2,87	3,77
18	2,95	20,49	11,72	4,68	2,87	3,77
19	2,95	20,67	11,81	4,80	2,87	3,84
20	2,99	20,79	11,89	4,80	2,87	3,84
21	2,99	21,00	12,00	4,80	2,87	3,84
22	2,99	21,00	12,00	4,80	2,87	3,84
23	2,99	21,00	12,00	4,80	2,87	3,84
24	2,99	21,00	12,00	4,80	2,87	3,84
25	2,99	21,00	12,00	4,80	2,87	3,84
26	2,99	21,00	12,00	4,80	2,87	3,84
27	2,99	21,00	12,00	4,80	2,87	3,84
28	2,99	21,00	12,00	4,80	2,87	3,84
29	2,99	21,00	12,00	4,80	2,87	3,84
30	2,99	21,00	12,00	4,80	2,87	3,84
31	2,99	21,00	12,00	4,80	2,87	3,84
32	2,99	21,00	12,00	4,80	2,87	3,84
33	2,99	21,00	12,00	4,80	2,87	3,84
34	2,99	21,00	12,00	4,80	2,87	3,84
35	2,99	21,00	12,00	4,80	2,87	3,84
36	2,99	21,00	12,00	4,80	2,87	3,84
37	2,99	21,00	12,00	4,80	2,99	3,89
38	2,99	21,00	12,00	4,80	2,99	3,89
39	2,99	21,00	12,00	4,80	2,99	3,89
40	2,99	21,00	12,00	4,80	2,99	3,89
41	2,99	21,00	12,00	4,80	2,99	3,89
42	2,99	21,00	12,00	4,80	2,99	3,89
43	2,99	21,00	12,00	4,80	2,99	3,89
44	2,99	21,00	12,00	4,80	2,99	3,89
45	2,99	21,00	12,00	4,80	2,99	3,89

46	2,99	21,00	12,00	4,80	2,99	3,89
47	2,99	21,00	12,00	4,80	2,99	3,89
48	2,99	21,00	12,00	4,80	2,99	3,89
49	2,99	21,00	12,00	4,80	2,99	3,89
50	2,99	21,00	12,00			
51	2,99	21,00	12,00			
52	2,99	21,00	12,00			

Folyamatos keverésű reaktorban végzett kísérlet termofil hőmérsékleten

Gázösszetétel	nap	l/g	l/kg
	0	0	0
	1	0,000359	0,359002
	2	0,000718	0,718004
	3	0,001077	1,077006
	4	0,001436	1,436008
	5	0,001795	1,79501
	6	0,002154	2,154012
	7	0,002513	2,513014
CO ₂ : 68; CH ₄ :22	8	0,002872	2,872016
CO ₂ : 42; CH ₄ : 26,5	9	0,003231	3,231018
	10	0,00359	3,59002
	11	0,003949	3,949022
	12	0,004308	4,308024
	13	0,004667	4,667026
	14	0,005026	5,026028
	15	0,005385	5,38503
	16	0,005744	5,744032
	17	0,006103	6,103034
	18	0,006462	6,462036
CO ₂ :42; CH ₄ :44	19	0,006821	6,821038
	20	0,00718	7,180039
	21	0,007539	7,539041
CO ₂ :36; CH ₄ :51	22	0,007898	7,898043
CO ₂ :32; CH ₄ :53%	23	0,008257	8,257045
	24	0,008616	8,616047
	25	0,008975	8,975049
	26	0,009334	9,334051
	27	0,009693	9,693053
CO ₂ :23; CH ₄ :57	28	0,010052	10,05206
	29	0,010411	10,41106
CO ₂ :27; CH ₄ :59	30	0,01077	10,77006
	31	0,011129	11,12906
	32	0,011488	11,48806

Folyamatos keverésű reaktorban végzett kísérlet mezofil hőmérsékleten

Gázösszetétel	nap	l/g	l/kg
	0	0	0
	1	0,000349	0,349162
	2	0,000698	0,698324
	3	0,001047	1,047486
	4	0,001397	1,396648
	5	0,001746	1,74581
	6	0,002095	2,094972
	7	0,002444	2,444134
	8	0,002793	2,793296
CO ₂ :62; CH ₄ : 15,2	9	0,003142	3,142458
	10	0,003492	3,49162
	11	0,003841	3,840782
	12	0,00419	4,189944
	13	0,004539	4,539106
	14	0,004888	4,888268
CO ₂ : 58; CH ₄ : 22	15	0,005237	5,23743
	16	0,005587	5,586592
	17	0,005936	5,935754
CO ₂ :56 ; CH ₄ :25	18	0,006285	6,284916
	19	0,006634	6,634078
	20	0,006983	6,98324
	21	0,007332	7,332402
CO ₂ : 54; CH ₄ :28	22	0,007682	7,681564
	23	0,008031	8,030726
	24	0,00838	8,379888
	25	0,008729	8,72905
	26	0,009078	9,078212
	27	0,009427	9,427374
CO ₂ :48; CH ₄ :38	28	0,009777	9,776536
	29	0,010126	10,1257
	30	0,010475	10,47486
	31	0,010824	10,82402
	32	0,011173	11,17318
	33	0,011522	11,52235
CO ₂ :,35; CH ₄ :50	34	0,011872	11,87151
	35	0,012221	12,22067
	36	0,01257	12,56983
	37	0,012919	12,91899
CO ₂ :28; CH ₄ :57	38	0,013268	13,26816
	39	0,013617	13,61732