

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

Megnevezett Intézet



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

KEVERT, SZAKASZOS BIOGÁZ

FERMENTÁCIÓ VIZSGÁLATA

Szerző: **Kormos Klaudia**
gépészmérnök BSc. szak, II. évf.

Konzulens: **Bakosné Diószegi Mónika**
tanársegéd

Budapest, 2013.

TARTALOM

1. Bevezetés	2
2. Irodalmi áttekintés	3
2.1. A biogáz jellemzése	3
2.2. A biogáz kihozatal befolyásoló tényezők	4
2.3. A biogáz kihozatal jelentősen befolyásoló tényező: keverés	6
3. Anyag és módszer	7
3.1. A kísérletsorozat célja.....	7
3.2. Felhasznált alapanyagok	7
3.3. Kevert batch rendszer ismertetése	11
3.4. Szárazanyag tartalom.....	11
3.5. Gázkromatográfia	13
3.6. Biogáz fermentációs berendezés.....	14
3.7. Egyedileg gyártott keverők	17
3.8. Kísérlet indításának paraméterei.....	20
4. Eredmények	22
4.1. Keverő összehasonlításból származó eredmények – első kísérletsorozat	22
4.2. Keverő összehasonlításából származó eredmények-második kísérletsorozat ...	25
4.3. Szárazanyag tartalmak (csak az első kísérlet sorozatból).....	28
5. Eredmények értékelése	29
6. Irodalomjegyzék	30
7. Köszönetnyilvánítás	31

1. Bevezetés

Napjainkban a legégetőbb probléma az energiaszükségletek kielégítésének módja és a rengeteg termelt hulladék kezelése. Másfelől a most használt fosszilis energiahordozók kimerülőben vannak. Egyre jobban előtérbe kerülnek a megújuló energiaforrások, ilyen energiaforrás a biogáz is.

A biogáz előállítható minden szerves anyagot tartalmazó, lebontható hulladékból, mint például a szennyvíziszap, ipari és mezőgazdasági hulladékok. Biogáz előállítással egyszerre lehet kezelni a fent említett két problémát, hiszen társadalmunk energiaigénye szinte kielégíthetetlen, életmódunk pedig számos fajtájú és formájú hulladékot termel.

A fejlett országokban évről évre egyre több biogáz termelésre alkalmas komplexumot létesítenek a környezettudatosság és gazdaságosság jegyében. A termelt gáz tisztított formában alkalmas a lakossági hálózatba táplálásra valamint gázüzemű motorok működtetésére. Napjainkban Németország az élen jár ennek a technológiának a fejlesztésében és alkalmazásában.

Munkám során egyedi fejlesztésű kevert rendszerű bikoreaktorokat vizsgáltam különböző keverőkkel üzemeltetve. A keverés és a különböző keverők hatékonyságát vizsgáltam egymáshoz és nem kevert rendszerhez képest.

2. Irodalmi áttekintés

2.1. A biogáz jellemzése

A biogáz szerves anyagok anaerob módon történő bomlása során keletkezett metán tartalmú, a földgázhoz hasonló sokoldalúan felhasználható gáz. Ez a folyamat spontán is lejátszódhat, de mesterséges körülmények között a gáztermelés határfoka nő. A termelődött gáz 50-70% égethető metán, 28-48% égésre képtelen szén-dioxid 1-2% pedig egyéb gáz. A jó minőségű földgáz 98-99%-os metán tartalmú, ezért a biogáz fűtőértéke ennek 50-70%-át teszi csak ki. Tisztítása után a földgázéval megegyező fűtőértéknek fele meg.

A biológiai metántermelés három egymást követő, szervesen összekapcsolódó részből áll. Első lépésben a szerves anyagokat fakultatív és obligát anaerob organizmusok alkotóelemeiké bontják enzimek segítségével. Mivel a biomasszában lévő makromolekulák túl nagyok, hogy a lebontó baktérium a sejten belül bontsa le őket ezért enzimeket küldenek ki a sejtől, melyek képesek feldarabolni a polimer láncokat. Az így keletkező kisebb molekulákat a baktériumok fel tudják venni és tápanyagként tudják hasznosítani. A hidrolizáló baktériumok úgy jutnak energiához, hogy a felvet cukrokat, aminosavakat, zsírokat tovább bontják így energia szabadul fel a kémiai kötésekből és ezt az energiát felhasználva működtetik saját bioszintetikus folyamataikat. A lebontás során még kisebb molekulák keletkeznek, melyeket illó szerves savaknak nevezünk. Ezeket már nem tudják tovább bontani és hasznosítani a hidrolizáló baktériumok ezért kiválasztják magukból.

A következő lépésben az acetogén baktériumok a hidrolizáló baktériumok által fel nem használt monoszacharidokat, zsírsavakat, aminosavakat és az illó szerves savakat acetáttá és hidrogénné alakítják. Az acetátbaktériumok felelősek a képződött metánmennyiség 70%-nak az előállításáért.

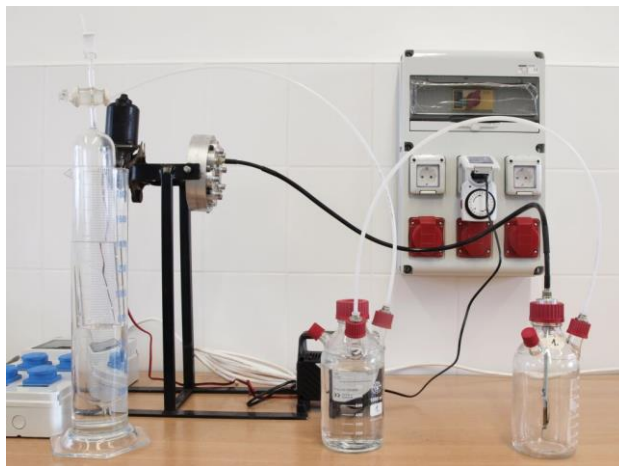
A harmadik fázis a metanogenezis mely szigorúan anaerob folyamat. Ebben a szakaszban a mikroorganizmusok előállítják a biogázt, amely metán és szén-dioxid tartalmú gáz. Néhány metanogén a hidrogén közvetlenül redukálására fordítja, mások az acetátot alakítják szén-dioxiddá és metánná. Ezek a baktériumok lassan szaporodnak és érzékenyek a környezet változásaira. Ha a metanogének aktivitása csökken, akkor az acetogének által termelt szerves savak felhalmozódnak és ez a rendszer elsavasodásához vezethet, mely a metánképződés teljes leállítását eredményezi. A három lépésből álló tápláléklánc egyes szakaszai nem szétválaszthatók. A baktériumokból és gázokból álló élőlénycsoport szimbiózisban él.[1]

2.2. A biogáz kihozatalt befolyásoló tényezők

A biogáz termelődésének folyamatát sok tényező befolyásolja. Ezek növelhetik vagy csökkenthetik a gázhozamot, annak minőségét sőt a nem megfelelő körülmények a rendszer leállításához is vezethetnek.

Ha a fermentálási közegben magas a pH értéke, akkor a szén-dioxid aránya relatíve magas és a hidrogén-szulfid nem lesz oldott a fermentációs közegben. Emiatt magas pH esetén magas metán tartalmat mérünk a biogázban.[2]

A folyamatnak szigorúan oxigénmentes körülmények között kell lejátszódnia. Ez hatványozottan igaz az utolsó szakaszra a metanogenezisre. A vizsgálati berendezést úgy kell tervezni és összeállítani, hogy az oxigén bejutását és a biogáz szivárgását megakadályozza. Ezért a teljes vizsgálati berendezést tesztelni kell a szivárgásokra, mielőtt a vizsgálat elkezdődik. Az 1. ábra a rendszer szivárgásának tesztelése a kísérlet indítása előtt.[2]



1. ábra A szivárgásvizsgálat

A betáplált anyagot mezofil ($37\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) vagy termofil ($55\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) körülmények között kell temperálni. A hőmérsékletnek állandó-a beállított- értéken kell maradnia, ami megoldható inkubátorszekrényben vagy egy más módon, például vízfürdő alkalmazásával. Ebben az esetben biztosítani kell, hogy a fürdő vízszintje mindig magasabb legyen, mint a fermentációs edényekben levő töltet szintje. A 2. ábrán látható az inkubátorszekrény valamint a vízfürdő.[2]



2. ábra A laborban használt inkubátorszekrény és vízfürdő

A biogáz termelődés folyamatos fénynek kitéve jelentősen lelassul, ezért fontos, hogy fénytől jól elzárt helyen tároljuk a fermentor edényeket, ezzel is segítve a biogáz hozam növekedését.

A biogáz termelődés folyamatának meggyorsítása és a kihozatal növelése érdekében a vizsgált szubsztrátum tekintetében előkezeléseket alkalmazunk. Az előkezeléseknek három típusáról beszélhetünk fizikai, kémiai és biológiai kezelés. Ezeken kívül létezik még a három típus kombinációja is. A fizikai módszerek közé tartozik a mechanikus és a termikus előkezelés. Különböző mechanikai kezelések léteznek, mint például a darálás, őrlés, ultrahangos feltárás, mikrohullámú előkezelés és a gázrobbantás. A termikus előkezelések csoportjába tartozik a forró vizes, a gőzöléses és a gőzrobbantásos előkezelés. A kémiai eljárásnak is rengeteg típusa létezik. Ide tartozik a híg vagy tömény savas, valamint lúgos hidrolízist alkalmazó organosolv eljárás, az oxidatív ligninmentesítés, valamint az ionos folyadékkal történő előkezelés. Biológiai előkezelési módszer esetén a mikrobák a mikroorganizmusokat illetve az általuk termelt enzimeket használják a hemicellulóz és a cellulóz bontására. Az enzimek hidrolízisének a poliszacharid frakció monomerekké alakításában van szerepe. Ez a módszer igen hatékony, de alkalmazása költséges, ezért alkalmazása a drágább előkezelések közé tartozik. [3]

A biogáz termelés szempontjából fontos még a homogenizálás, amelyet leghatékonyabban keveréssel lehet megoldani. A keverés elősegíti a szerves anyagok lebontását, amely jobb minőségű biogáz előállítását teszi lehetővé.

2.3. A biogáz kihozatalt jelentősen befolyásoló tényező: keverés

A keveréseket két fő típusra oszthatjuk a folyamatos és a szakaszos keverésre. Ezeken belül már csak a keverő típusai különbözhetnek. Az organikus anyagokat használó rendszereknél elhanyagolhatatlan a keverés. Ugyanakkor a folyamatos keverés túl sok energiát emészt fel a rendszer energiafelhasználás 54%-a erre fordítódik. Az energiafogyasztás csökkentésének érdekében kísérleteket végeztek a szakaszos keverés hatékonyságának vizsgálatára. A folyamatos keverésnél 60mol%-os volt az átlagos metánkoncentráció. A szakaszos keverésnél ez az érték valamivel kevesebb 57mol%, viszont a termelődött metán 20%-al több lett a szakaszosan kevert rendszerben, mint a folyamatosnál. Ennek eredményeképp a szakaszos keveréssel 29%-os energia megtakarítás érhető el. [4]

Egy másik kísérletben a keverés hatását anaerob rendszerben vizsgálták laboratóriumi körülmények között 55°C-on tehén trágya felhasználásával. Három különböző keverést vizsgáltak, a folyamatosan kevertet és két szakaszosan kevertet. Az egyik szakaszos keverésnél 10 perc a másikonál 2 óra volt a keverési idő. A metán tartalom folyamatos mérésének eredményeképp megállapították, hogy 12,5%-al több metán termelődött a szakaszos keverés hatására. Valamint azt is kimutatták, hogyha túlterhelik a rendszert –túl magas szubsztrátum tartalmat határoznak meg- akkor a minimális keverés a leghatékonyabb. [5]

A VDI szerint a folyamatos keverés nem szükséges ugyanakkor a szakaszos keverést ajánlja, mert ez elősegíti a gáztalanítást és a szerves anyagok oldódását. Általában alacsony sebességen, 50 min^{-1} és 100 min^{-1} , történő keverés elegendő a megfelelő keveredéshez és gáztalanításhoz.[2]

Ebben a kísérletben laboratóriumi méretű reaktorokban vizsgálták a keverés hatását a biogáz termelésre. A kísérleteket 35°C-on, tehéntrágyával végezték melynek szárazanyag tartalma 150 g/l volt. Az eredmények azt mutatták, hogy a kevert és nem kevert reaktorok hasonló eredményt hozott akkor, amikor 5% szárazanyag tartalmú trágyát használta. A keverés akkor vált fontossá mikor 10-15%-os trágyát tápláltak be, mert akkor 10-30%-al több gáz képződött, mint a nem kevert rendszereknél.[6]

3. Anyag és módszer

3.1. A kísérletsorozat célja

Az kísérletsorozat célja a gáz és metántartalom növelése batch rendszerben, keveréssel. A tanszéken egyedileg tervezett és gyártott keverőlapátok alkalmazását és összehasonlítását végeztem. A cél az újonnan tervezett keverő konstrukciók hatékonyságának vizsgálata volt. Ezen eredmények adatokat szolgáltathatnak a keverők, valamint az alkalmazott biogáz fermentációs rendszer továbbfejlesztésében. További célom a keverő optimalizálása, a több és jobb minőségű biogáz, és a gyorsabb degradációs idő érdekében. A minták metántartalmát gáz kromatográfia segítségével vizsgáltam a termelődött gáz mennyiségét pedig térfogat kiszorításos módszerrel mértem. A vizsgálatot egy saját készítésű, 8 férőhelyes kádban végeztem, 21 napos biogáz kísérletekkel. Mezofil folyamatot vizsgáltam, ahol 37°C-ra volt fűtve a rendszer termosztát segítségével, a keverést szakaszosan oldottam meg, két kísérletet indítottam melyben mindig volt 2 negatív kontroll 2-2 különböző keverő és 2 keveretlen minta. A kísérleteket a német VDI 4630-as szabvány alapján végeztem.

3.2. Felhasznált alapanyagok

3.2.1 . A búza

A búza (*Triticum aestivum*) az egyik legnagyobb területen termesztett növény a világon, körülbelül 245-250 millió hektáron termesztik. Elterjedését jó alkalmazkodóképessége tette lehetővé szinte mindenhol megterem kivéve a szélsőséges időjárási területeken. Az élelmezésben elfoglalt szerepe kiemelkedő, emellett sokféle felhasználási módja van: abraktakarmány, szalmája értékes alapanyag, és különböző részei ipari alapanyagként is felhasználhatóak. Mivel nagy mennyiségben termelik a búzát, így nagy mennyiségű növényi hulladék is keletkezik. Ez a hulladék a búzaszalma. Ha ezt a hulladékot energetikailag tudjuk alkalmazni az kifogyhatatlan energiaforrásként szolgálhat.



3. ábra Búzaszalma [7]

1. táblázat A legnagyobb búzatermelő országok[8]

Ország	Termelt mennyiség (tonna)
Kína	115.181.303
India	80.800.000
USA	60.062.400
Oroszország	41.507.600
Franciaország	40.787.000
Németország	24.106.700
Pakisztán	23.310.800
Kanada	23.166.800
Ausztrália	22.138.000
Törökország	19.660.000
Ukrajna	16.851.300
Irán	15.028.800
Argentína	14.914.500
Egyesült királyság	14.878.000
Kazahsztán	9.638.400
Összesen	653.654.525

Magyarországon a búza termelt mennyisége 2010-ben 3763680 tonna volt.

3.2.2. Szennyvíziszap

Élővizeink megóvására használt technológiák egyre fontosabb szerephez jutnak, a legtöbb helyen használt technológia a szennyvíztisztítás. Ez a folyamat nagy energiaigényű, viszont a környezetre káros anyagok megfelelő felhasználásával, megújuló energia állítható elő. A módszer melynek segítségével eltávolíthatók, lebonthatók és végül újra felhasználhatók a szennyezések az: anaerob lebontás. Ez az egyik lehetséges alternatíva a nagy mennyiségben keletkezett hulladék energetikai hasznosítására. A szennyvízkezelés termékeként keletkező magas szervesanyag-tartalmú iszap, valamint az ipari és városi hulladékból származó szerves anyagok együttes fermentációjából biogáz állítható elő, amely fedezi a szennyvíztisztítás energiaigényének nagy részét. Ez a környezetkímélő technológia egyre elterjedtebb mivel a káros anyagok alacsony áron történő eltávolítása fontos kérdéssé vált az elmúlt időben. A szennyvíziszap általános jellemzőit a 2. táblázat mutatja.

2. táblázat A szennyvíziszap általános jellemzői

Szennyvíziszap	
Szárazanyag tartalom	39,5 g/kg
Szerves szárazanya tartalom	23 g/kg
Szervetlen szárazanyag tartalom	16,5 g/kg
pH	7,1-7,6
Illó szerves sav	260-1140 mg/L
Lúgosság	3840-6320 mg/L

A Dél-pesti Szennyvíztisztító telepen a szerves hulladék és szennyvíziszap együttes kezelése történik, ennek eredményeképp biogázt állítanak elő. A Délpesti szennyvíztelep felépítése a 4. ábrán látható.



4. ábra Dél-pesti szennyvíztelep felépítése[9]

Első lépésben termofil, másodikban mezofil anaerob fermentorokban hajtják végre a szerves anyag bontását. Ez egy bonyolult, rengeteg baktérium szimbiotikus együttélésén keresztül történő folyamat. A folyamat első fázisában hidrolitikus baktériumok bontják a nagy molekulájú szerves vegyületeket extracelluláris enzimek segítségével, rövid szénláncú zsírsavakká, szén-dioxiddá és hidrogén gázzá. Ezután a baktériumok második csoportja a rövid szénláncú zsírsavakat alakítja át többnyire ecetsavvá és újabb szén-dioxid valamint hidrogén gáz keletkezik. Végül metanogének állítják elő ecetsavból és hidrogénből a biogázt, melynek metántartalma 60% feletti. A szennyvíztelep műszaki adatait a 3. táblázat foglalja magába.[11]

3. ábra Budapesti szennyvíztelep műszaki adatai [10]

Ellátott település:	Budapest
Ellátott lakosság:	1,7 millió fő
Átlagosan keletkező szennyvíz:	500-600 ezer m ³ /nap
Elvezetett szenny- és csapadékvíz:	240 millió m ³ /év
Biológiailag tisztított szennyvíz:	75 millió m ³ /év
Biológiailag tisztított szennyvíz aránya:	95%
A csatornahálózat hossza:	5400 km
Hőszükséglet fedezése az előállított biogázból	100%
Elektromos energia szükséglet fedezése az előállított biogázból	90%

3.3. Kevert batch rendszer ismertetése

A Batch- eljárás lényege, hogy a szubsztrátumot egyszer táplálom be a rendszerbe. A feltöltés után az erjesztőt lezárom és csak a kísérlet végén nyitom ki. A kísérlet előnye, a nagy a térfogategységre vetített biogáz hozam, melynek mértéke egyre csökken, a betáplálás hiánya miatt. Vagyis az összes tápanyagot a vizsgálati idő alatt felemésztik a baktériumok. Mikor már nincs gáztermelés vagy nem számottevő akkor az elhasználódott anyagot el kell távolítani és újra feltölteni a rendszert. A batch rendszert a betáplálás minősége szerint három csoportra oszthatjuk folyékony, félszáraz és száraz eljárásra. A különbség közöttük, hogy míg a félszáraz rendszer szárazanyag tartalma 15% addig a folyékony rendszeré csak 2-8% és a szerves szárazanyag tartalma 40-50% körül mozog a száraz rendszer szárazanyag tartalma pedig 25%-nál nagyobb. A keverés szerepe, hogy homogenizálja a masszát, felkeveri a leülepedett szárazanyagot és iszapot így a baktériumok több tápanyaghoz jutnak és gyorsabb lesz a biogáz termelés. [1]

3. 4. Szárazanyag tartalom

A mérés célja a minták nedvesség tartalmának és a szerves szárazanyag tartalmának meghatározása. A pontos szárazanyag tartalom meghatározás céljából három párhuzamos mintát használtam. A mintákat először 105 °C-on szárítottam, majd 600 °C-on izzítottam. A szárítást és a hevítést *Nabatherm CE 4/11/R6* típusú kemencével végeztem. A mintákat a kemencében szárítás közben az 5. *ábra* mutatja



5. ábra A kemence és a minták

A mintákat megmértem nedvesen, majd szárítás után szárazon, és végül izzítás után a hamut. A tömegmérést egy Sartorius AX224 négytizedes pontosságú mérlegen végeztem. A szárazanyag tartalmat a MSZ 318/3-79-es szabvány alapján hajtottam végre és az alábbi egyenlettel számoltam ki (1),

$$\text{Száranyag tartalom} = (a - b) \cdot \frac{1000}{V} \quad (1)$$

ahol a a tégely és a 105 °C-on szárított minta együttes térfogata (mg), b a 105 °C-on szárított üres tégely tömege (mg), V a bemért minta tömege (g). Az izzítási maradék értékét az alábbi képlettel számoltam (2),

$$\text{Izzítási maradék} = (c - b) \cdot \frac{1000}{V} \quad (2)$$

ahol c a tégely és az izzítási maradék együttes tömege (mg), b a 105 °C-on szárított üres tégely tömege (mg), V a szárításhoz bemért minta tömege (g).

3.5. Gázkromatográfia

A gázkromatográfiás vizsgálat egy olyan kvalitatív és kvantitatív elválasztási eljárás, ahol vivőgáz – más néven eluens – juttatja tovább a bejuttatott mintát. Az elválasztás során az injektorban a minta magas hőmérsékleten elpárolog, és gáz halmazállapotú lesz, ebből adódóan csak olyan anyagokat vizsgálhatunk, amelyek elpárologtathatók. A beinjektált minták az oszlopon haladnak végig adszorpciós tulajdonságaiknak megfelelő sebességgel, amelynek időbeli változását az oszlop végénél lévő detektor méri. Ennek eredményeképp kromatogramokat kapunk, ahol a csúcsmagassághoz tartozó idő (retenciós idő) alapján azonosítható a vizsgált mintában az adott komponens, a görbe alatti terület integrálásával pedig az anyag mennyiségére kapunk kvantitatív adatot. A biogáz mintákat *Hamilton Gastight #1710 - 100 µl*-es tűvel vettem. A tűt először mintával átöblítettem majd 50 µl-t injektáltam be a gázkromatográfiás berendezésbe. A mérésekhez használt *DANI Master Fast Chromatograph* típusú berendezés peremétereit a 4 táblázat tartalmazza.

4. táblázat Az általam használt gáz kromatográf paramétereit

Megnevezés	Paraméter
Kromatográf típusa	DANI Master Fast Chromatograph
Oszlop típusa	Restek Rt-U-BOND (15 m / 0,53 mm ID / 20 µm)
Detektor típusa	FID - Flame Ionization Detector
Tű típusa	Hamilton Gastight #1710 - 100 µl
Alkalmazott gázok	He (4.6), H ₂ (4.5), szintetikus levegő (20,5% O ₂ , 79,5% N ₂)
Kemence hőmérséklet	60 °C (izoterm)
Oszlop áramlási sebesség	4 ml/perc
Split ratio	1:30
Detektor hőmérséklet	200 °C
Detektor áramlási viszonyok	AUX – 25 ml/min; H ₂ – 40 ml/min; Levegő – 280 ml/min
Mérési idő	5 perc

A mérésekhez használt gázkromatográfiás berendezést a 6. ábra mutatja. A kalibrációt a *Messer Hungarogáz Kft.* által egyedileg összeállított kalibrációs gázzal végeztük, mely 5,2 % nitrogént, 46,7% széndioxidot, és 48,1% metánt tartalmazott. A kalibráció dátuma 2013.04.09.



6. ábra A mérésekhez használt gázkromatográfiás berendezés

3.6. Biogáz fermentációs berendezés

A mintákat 8 darab 1 literes légmentesen zárható fermentor edénybe töltöttem be, melyeken van egy mintavételi csomagtűrő, egy gázkivezető és egy eldugózott csomagtűrő, valamint egy nagyobb kivezetés a keverőszárnak. A fermentoredény felülnézetben a 7. ábrán látható.



7. ábra A fermentor edény csatlakozási lehetőségei

A fermentor edények 20-as keménységű szilikon gumival lettek lezárva, ami szűrés után gáz tömören visszazár, a mintát ezen keresztül vettem. A gázkivezetést túvel és szilikon

csővel oldottam meg. A rothasztás során keletkezett biogáz egy vízzel megtöltött üvegedénybe szivárgott át ahonnan térfogat kiszorításos módszerrel egy harmadik edénybe folyt át az általa kiszorított víz. Ebből tudtam mérni a keletkezett gáz mennyiségét.



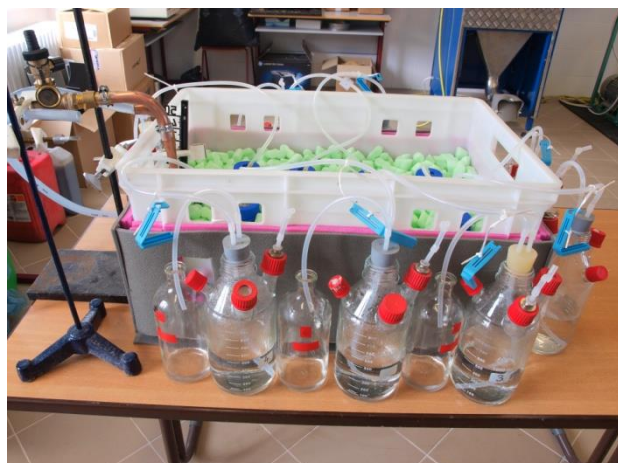
8. ábra Ateljes rendszer

A 8 üveget egy nagy kádba helyeztem, ami vízzel volt feltöltve, a rendszer fűtését termosztáttal és rézcsővel oldottam meg, a kádban a vizet állandó 37°C-on tartva. A rézcső a 9. ábrán látható a teljes batch rendszer a termosztáttal pedig a 8. ábrán.



9. ábra A rézcső

A kádat polifómmal és két komponensű ragasztóval szigeteltem és a tetejére szivacs darabokat tettem a kisebb párologás, a jobb hőszigetelés és a fény elzárásának érdekében. A kád felépítését a 10. ábra mutatja.



10. ábra A kád és a batch rendszer

A keverés szakaszosságát egy időzítő beszerelése tette lehetővé, így a keverők óránként 2 percet keverték. A keverést bowdenszál, motor, és fogaskerék kapcsolatok oldották meg. A motor és a fogaskerék kapcsolások a 11. ábrán láthatók.



11. ábra A keverő motorja és a fogaskerék áttételek

Három különböző keverőt vizsgáltam és hasonlítottam össze a keletkezett biogáz mennyisége és minősége által. A különböző keverők a 12. ábrán láthatók.



12 ábra Lemezkeverő, eredeti keverő és a rugós keverő

Vizsgáltam, hogy van-e a bomlásra gyakorolt számottevő különbség a keverők között, és ha igen akkor érdemes-e a bonyolultabb és drágább konstrukciót választani, vagy az egyszerűbb is látványosan jobb eredményt hoz, mint a keveretlen esetben.

3.7. Egyedileg gyártott keverők

A kísérletek során három különböző keverő összehasonlítása történt.

- Eredeti keverő
- Rugós keverő
- Lapátos keverő

A keverőlapát további fejlesztése azért vált szükségessé, mert az eredeti keverő nem megfelelő anyagból történő gyártásának a következményeképp a savas kémhatású anyagban korrodálni kezdett ezért lassan használhatatlanná válik. Továbbá a keverés hatékonysága sem volt megfelelő a keverő esetében. Az elhasználódott keverőt a 13. ábra mutatja.



13. ábra A korrodálódott eredeti keverő

Ennek a problémának a felismerése után kezdődött meg az egyedileg készített keverő gyártása. Az első konstrukció a rugós keverő volt melynek előnye, hogy az üveg száján befér

összecsukott állapotban, viszont nyitottan szinte az üveg teljes átmérőjével egyezik meg a mérete, így az anyagot megfelelően át tudja mozgatni. A keverő hatékonyságát a 14. ábra fényképei mutatják.



14. ábra A rugós keverő a keverés elején és két perc keverés után

A rugós keverő gyártása igen költséges és hosszú folyamat, ezért egy egyszerűbb keverő gyártása volt a cél, amely kevésbé költséges és hasonlóan elősegíti a metán termelődését.

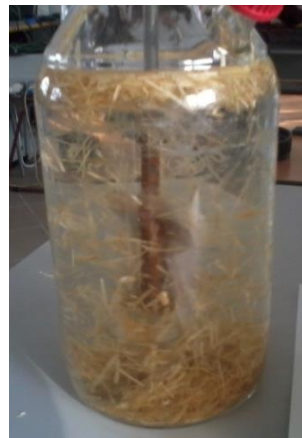
Az így konstruált lemezes keverő is át tudja mozgatni az anyagot viszont jóval egyszerűbb kivitel, ami megkönnyíti a gyártást. A kísérletsorozat célja megtalálni a leghatékonyabb keverőt, amelyet még megéri legyártani. A 15. ábrán a különböző keverők láthatók keverés előtt és két perc keverés után, sorrendben a lapátos-, a rugós- és a lemezkeverő.



A leülepedett szalma



A rugós keverő



A lapátos keverő



A lemez keverő

15. ábra A leülepedett szalma valamint a keverők keverés közben

3.8. Kísérlet indításának paraméterei

A bemérés az alapanyagok szárazanyag tartalmának mérése után a VDI 4630-as szabvány szerint történt. A bemérés adatai a két kísérletsorozatban az 5. táblázatban láthatók.

4.táblázat A bemérési paraméterek

Első kísérletsorozat	
Anyag	Aprított búzaszalma
Anyaggal kapcs. megjegyzés	0,125-2mm
Oltóiszap szat, TS (%)	2,29
Oltóiszap szerves szat., oTS (%)	56,87
Oltóiszap oTS reaktortérf. vetítve (%)	1,5
Szüks. oltóiszap összes oTS (g)	10,50
Szükséges oltóiszap mennyisége (g)	806,3
Szubsztrát szat, TS (%)	95,780
Szubsztrát szerves szat, oTs (%)	93,41
100 g szubsztrát szerves szat., oTS (g)	89,47
Szüks. szubsztrát összes oTS (g)	5,25
Bemérendő szubsztrát tömege (g)	5,9
Szubsztrát-oltóiszap oTS aránya	0,5
Fermentációs elegy szat (%)	6,02
Második kísérletsorozat	
Anyag	Aprított búzaszalma
Anyaggal kapcsolatos megjegyzések	0,125-2mm
Oltóiszap szat, TS (%)	3,31
Oltóiszap szerves szat., oTS (%)	61,17
Oltóiszap oTS reaktortérf. vetítve (%)	1,5
Szüks. oltóiszap összes oTS (g)	12,00
Szükséges oltóiszap mennyisége (g)	592,7
Szubsztrát szat, TS (%)	95,780
Szubsztrát szerves szat, oTS (%)	93,41
100 g szubsztrát szerves szat., oTS (g)	89,47
Szüks. szubsztrát összes oTS (g)	6,00
Bemérendő szubsztrát tömege (g)	6,7
Szubsztrát-oltóiszap oTS aránya	0,5
Fermentációs elegy szat (%)	6,51

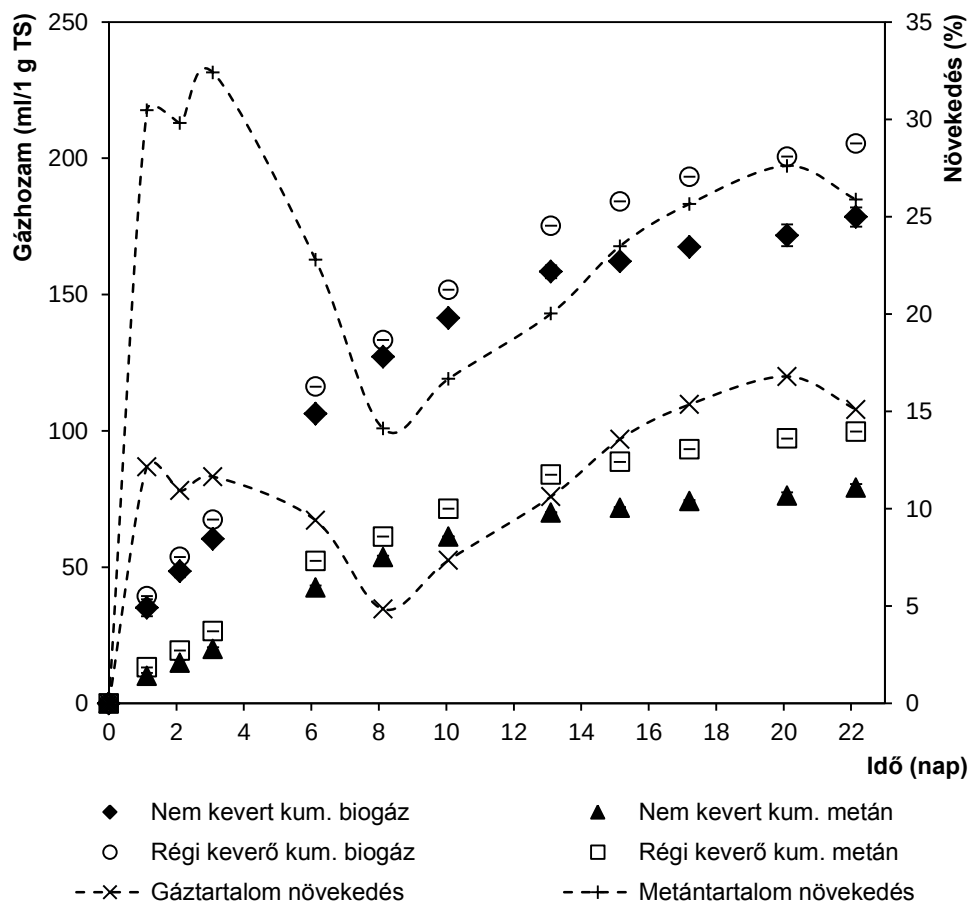
Két kísérletsorozatra volt szükség, mert egyszerre 8 üvegben tudtam fermentálást végezni.

Első kísérletsorozat	Második kísérletsorozat
2 db-szubsztrátum nélkül	2 db-szubsztrátum nélkül
2db-nem kevert	2db-nem kevert
2 db-régi keverő	2 db-lapátos keverő
2db-rugós keverő	2db-rugós keverő

A bemérés után a gázfázist át kell öblíteni nitrogénnel, hogy eltávolítsuk a gázfázisban maradt oxigént. Az anaerob lebomlási folyamatok miatt a rendszerben maradt oxigénnek negatív hatása lenne a biogáz hozamra.[2] Ezután történik a teljes rendszer összeszerelés. A termosztát hőmérséklete 37°C. A keverők fordulatszáma 90 1/min.

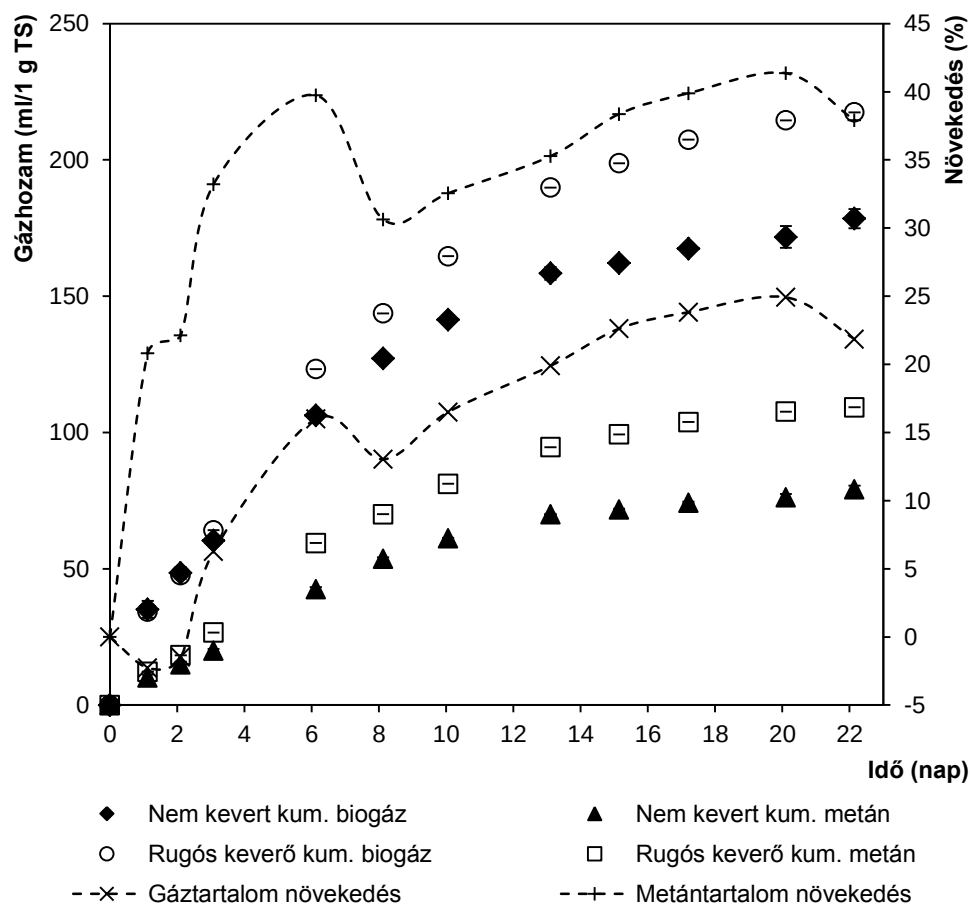
4. Eredmények

4.1. Keverő összehasonlításból származó eredmények – első kísérletsorozat



16. ábra A kumulált biogáz és metán mennyisége a fermentációs idő függvényben nem kevert, és az eredeti keverőt alkalmazó rendszer esetén

Megállapítottam, hogy régi keverőnek a nem keverthez képest több a gázhozama és a metántartalma is. Látható a diagramból, hogy a gáztartalom közel 15%-al több a kevert esetben, valamint azt is, hogy a metántartalom több mint 25% magasabb a nem keverthez képest.



17. ábra A kummulált biogáz és metán mennyisége a fermentációs idő függvényben nem kevert, és a rugós keverővel kevert rendszer esetén

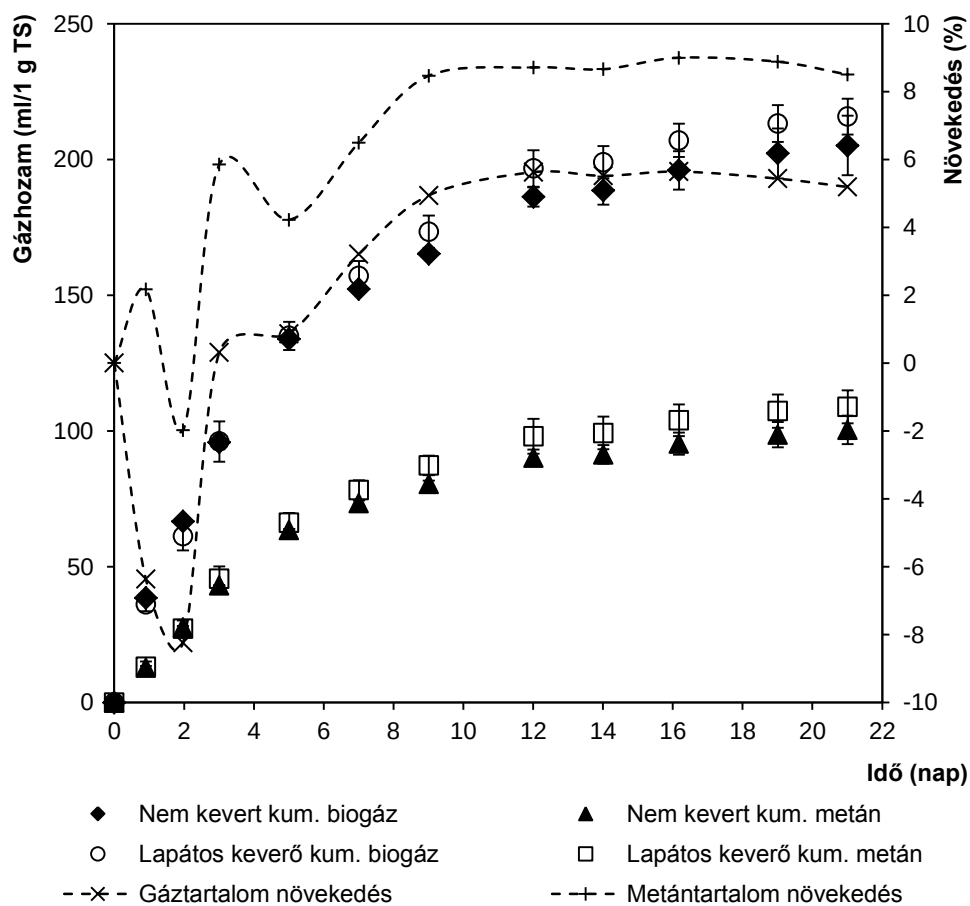
A rugós keverőnél is több a gáz mennyisége és a metántartalma, mint a nem kevert esetében. A növekedés gázhozam szempontjából 21% metántartalom szempontjából pedig 39% a nem keverthez képest.

6. táblázat A biogáz és metán mennyiségének eltérése a rugós keverőt alkalmazó rendszer esetén az eredeti keverővel kevert rendszerhez képest

Idő (nap)	Biogáz (%.)	Metán (%.)
0,0	0,0	0,0
1,1	-12,9	-7,4
2,1	-11,2	-5,9
3,1	-4,8	0,6
6,1	6,0	13,8
8,1	7,8	14,5
10,1	8,5	13,6
13,1	8,4	12,7
15,1	8,0	12,1
17,2	7,3	11,3
20,1	7,0	10,8
22,1	5,9	9,6

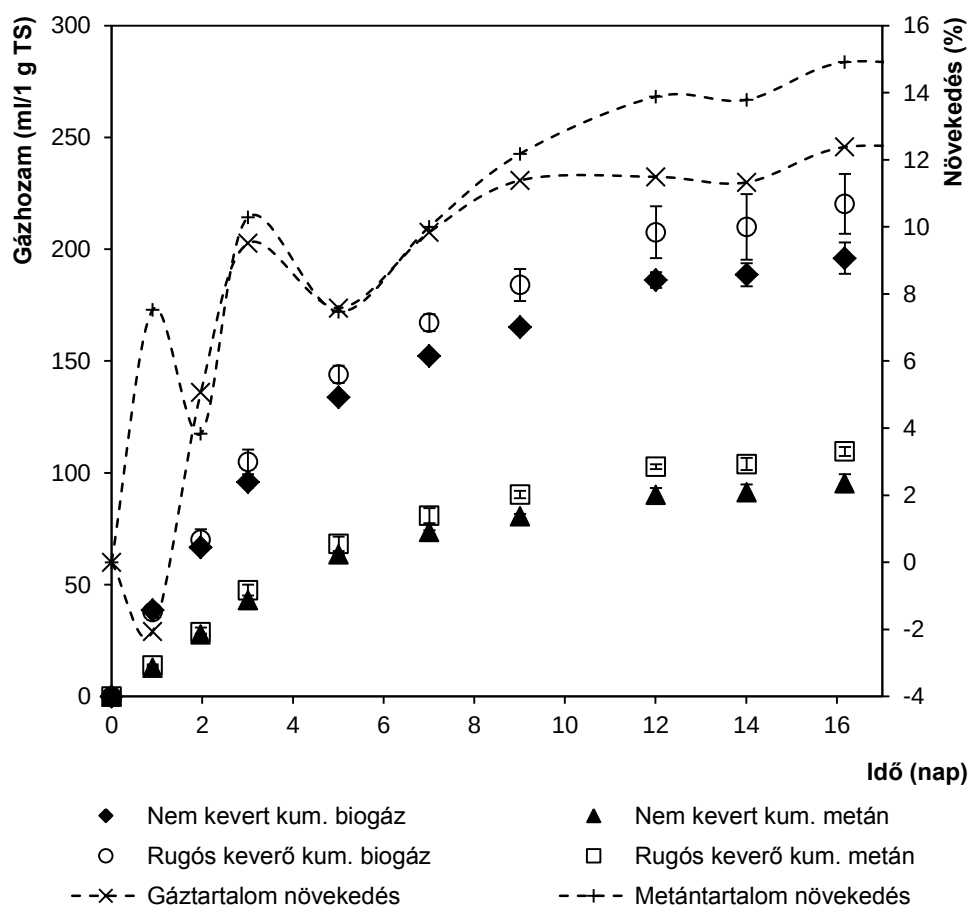
Azt mindenkép észrevehetjük, hogy a keverés mind gázhozam mind metántartalom szempontjából hasznosnak bizonyult. Továbbá a két keverő alkalmazása egymáshoz képest is eltérő eredményt hozott. A kísérlet elején a régi keverőnél több mindkét vizsgálati érték, de ez annak is köszönhető, hogy a kísérlet első napján a rugós keverő berendezést szét kellett szedni a rossz tömítés miatt. Ezért lehetséges, hogy a kísérlet első szakaszában negatívak a rugós keverő értékei a régihez képest. Végeredményben megállapítható, hogy a rugós keverő 21 napos rohasztási idő alatta a régi keverőhöz képest biogáz hozam szempontjából 5,9%.-os metántartalom szempontjából 9,6%.-os növekedést mutatott.

4.2. Keverő összehasonlításából származó eredmények-második kísérletsorozat



18. ábra A kummulált biogáz és metán mennyisége a fermentációs idő függvényben nem kevert, és a lapátos keverővel kevert rendszer esetén

Nem számottevő a különbség a lapátos keverés és a keveretlen esetben. A gáztartalom csak 5%-al a metántartalom pedig 8%-al jobb a kevert esetben.



19. ábra A kumulált biogáz és metán mennyisége a fermentációs idő függvényben nem kevert, és a rugós keverővel kevert rendszer esetén

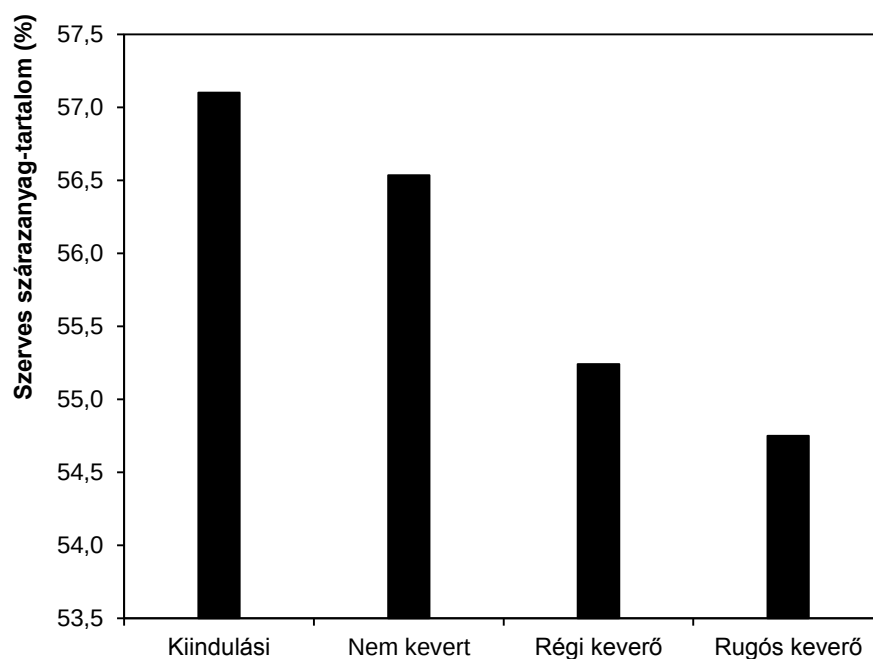
A rugós keverő ebben az esetben is jobb eredményt hozott mint a kevertelen esetben: növekedés a 2. kísérletsorozatban gázhozam szempontjából 12% és metántartalom szempontjából 15%.

7. táblázat A biogáz és metán mennyiségének növekedése a rugós keverővel kevert rendszer esetén a lapátos keverővel kevert rendszerhez képest

Idő (nap)	Biogáz (%.)	Metán (%.)
0,0	0,0	0,0
0,9	4,6	5,2
2,0	14,5	5,9
3,0	9,2	4,2
5,0	6,7	3,1
7,0	6,4	3,3
9,0	6,1	3,4
12,0	5,6	4,8
14,0	5,5	4,7
16,2	6,4	5,4
19,0	6,4	5,2
21,0	6,6	5,4

A 2. kísérletsorozatban is a rugós keverő jobbnak bizonyult, mint a lapátos. Bár nem nagy a különbség a kettő között. Megállapíthatjuk, hogy az oltóiszap sem volt annyira aktív mint az első kísérletsorozatnál mert a rugós itt jóval kisebb százalékban különbözik a nem keverttől. Végeredményben megállapítható, hogy a rugós keverő 21 napos rohasztási idő alatta a lapátos keverőhöz képest biogáz hozam szempontjából 6,6%.-os metántartalom szempontjából 5,4%.-os növekedést mutatott.

4.3. Szárazanyag tartalmak (csak az első kísérlet sorozatból)



20. ábra A szerves szárazanyag tartalmak a fermentációs kísérlet előtt és után különböző keverési eljárások mellett

Látható, hogy a keverés nagyon mértékben hozzájárul, hogy a szerves anyag tartalom még jobban bomoljon. Ezt az első kísérletsorozatnál mért eredményeken keresztül mutatok be. Látható, hogy a különböző keverőknél különböző mértékű a szerves anyagok bomlása. A legjobb eredményt a rugós keverő hozta melynél több mint 2%-al kevesebb a szerves szárazanyag tartalom, mint a kiindulási alapanyagénak. A nem kevert ezzel szemben csak 0,5%-al tudta csökkenteni a régi keverő pedig 1,5%-al tudta csökkenteni ezt az értéket.

5. Eredmények értékelése

A két kísérletsorozat egymással nem összehasonlítható az eltérő iszapminőség miatt. Mérlegelni kell, hogy mennyivel több a gázhozam és mennyi a keverésbe fektetett energia és a keverők kivitelezésének összege. Választhatunk egy egyszerűbb konstrukciót kis anyagköltségből, de ahogy ez a kísérletsorozat is mutatja nem feltétlenül éri meg. A lapátos keverő használata szinte felesleges, mert több a befektetett energia, mint amennyit nyerünk a keverés által. A rugós keverő hozta a legjobb eredményt mindkét esetben. Számottevően magasabb a biogáz hozam és ami még fontosabb a metántartalom. Ez esetben a konklúzió, amit levonhatunk, hogy ez a bonyolultabb konstrukció jobban megfelelt, mert jobban elősegítette a szerves anyag lebomlását és homogenizálását.

	Biogáz	Metán
Rugós a régihez képest	+5,9%.	+9,6%.
Rugós a lapátoshoz képest	+6,6%.	+5,4%.

A %-os eredményekből következtetve, a legjobb a rugós keverő volt. Ezután a lapátos és végül a régi keverő.

6. Irodalomjegyzék

- [1] Bai Attila (szerk.): A biogáz, Száz Magyar Falu Könyvesháza Kht., 2007
- [2] VDI
- [3] Paulien Harmsen, Wouter Huijgen (ECN), Laura Bermudez (ABNT), Robert Bakker (2010) Literature review of physical and chemical pretreatment processes for lignocellulosic biomass, 1184, 21-30.
- [4] Alexandra Kowalczyk, Eva Harnisch, Sebastian Schwede, Mandy Gerber, Roland Span (2013) , Different mixing modes for biogas plants using energy crops
- [5] Prasad Kaparaju, Inmaculada Buendia,1, Lars Ellegaard, Irini Angelidakia,(2008) Effects of mixing on methane production during thermophilic anaerobic digestion of manure: Lab-scale and pilot-scale studies
- [6] Khursheed Karima, , Rebecca K. Thomas Klassonb, M.H. Al-Dahhana (2005), Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mode of mixing
- [7] <http://hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:Weizenfeld.jpg>
- [8] <http://hu.wikipedia.org/wiki/B%C3%BAza>
- [9] <http://enviroduna.hu/images/Altmuszi41.jpg&imgrefurl=>
- [10] http://www.fcsm.hu/ceginformacio/adatok/muszaki_adatok_es_informaciok/
- [11] <http://www.fcsm.hu/kornyezetvedelem/bioenergiatermeles/>

7. Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom témavezetőmnek, Bakosné Diószegi Mónikának TDK dolgozatom elkészítésében nyújtott sok segítségért, valamint szeretném továbbá megköszönni a segítségét Szigeti Márton Gézának, Dr Horváth Miklósnak, valamint azon tanszékek dolgozóinak, akik méréseikkel hozzájárultak a munkámban bemutatott eredményekhez.

Budapest, 2013. október