

DEBRECENI EGYETEM
Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma
Mezőgazdasági-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar
Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet

KERPÉLY KÁLMÁN NÖVÉNYTERMESZTÉSI, KERTÉSZETI ÉS REGIONÁLIS
TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA
Doktori iskola vezető:
Prof. Dr. Nagy János
MTA doktora

Témavezetők:
Dr. Bíró Tibor
egyetemi docens
Prof. Dr. Tamás János
egyetemi tanár

Mezőgazdasági és élelmiszeripari biogáz-termelés optimalizálása

Készítette:
Mézes Lili
doktorjelölt

Debrecen, 2011.

Mezőgazdasági és élelmiszeripari biogáz-termelés optimalizálása

Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében regionális tudományágban

Írta: Mézes Lili okleveles környezetgazdálkodási agrármérnök

Készült a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Növénytermesztési, Kertészeti és Regionális
Tudományok Doktori Iskola doktori iskolája
(Regionális tudományok doktori programja) keretében

Témavezetők: Dr. Bíró Tibor, Prof. Dr. Tamás János

A doktori szigorlati bizottság:

Név:	Tudományos fokozat:
elnök: Prof. Dr. Thyll Szilárd	CSc.
tagok: Dr. Juhász Csaba	Ph.D.
Dr. Szabó Imre	CSc.

A doktori szigorlat időpontja: 2011.01.13.

Az értekezés bírálói:

Név:	Tudományos fokozat:
Prof. Dr. Sinóros-Szabó Botond	DSc.
Dr. Maróti Gergely	Ph.D.

A bírálóbizottság:

Név:	Tudományos fokozat:	Aláírás:
elnök: Prof. Dr. Kátai János	CSc.	_____
tagok: Dr. Simándi Péter	Ph.D.	_____
Prof. Dr. Simon László	DSc.	_____
póttag: Dr. Zsembeli József	Ph.D.	_____
tiktár: Dr. Rátonyi Tamás	Ph.D.	_____

Az értekezés védésének időpontja: 2011. _____

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	4
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	7
2.1. A biogáz-termelés szerepe, jelentősége	7
2.2. A biogáz-termelés mikrobiológiai háttere	11
2.3. Baromfi toll előkezelésének módjai	15
2.4. Biogáz-termelés technológiája	19
2.4.1. A biogáz-termelés alapanyagai	19
2.4.2. Biogázhozamot befolyásoló tényezők	26
2.4.3. A biogáz-termelési technológiák csoportosítása	29
2.4.4. A biogáz tisztítása	34
2.4.5. Biogáz felhasználásának lehetőségei	36
2.4.6. A biogáz gyártás környezeti hatásai	39
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	42
3.1. A kísérletek és vizsgálatok helyszínei	43
3.1.1. Laboratóriumi helyszínek bemutatása	43
3.1.2. Üzemi helyszínek bemutatása	43
3.2. Vizsgálati eszközök és módszerek ismertetése	44
3.2.1. Laboratóriumi vizsgálatok eszközei és alkalmazott módszerei	44
3.2.2. Üzemi vizsgálatok körülményei	50
3.3. Kísérleti beállítások bemutatása	58
3.3.1. Laboratóriumi vizsgálatok kísérleti beállításai	58
3.3.2. Üzemi kísérleti beállítások	60
3.4. Az adatok statisztikai értékelése	63
4. EREDMÉNYEK	66
4.1. Laboratóriumi kísérletek eredményei	66
4.1.1. Baromfi toll hőkezelésének és mikrobiológiai előkezelésének eredményei (DE) ...	66
4.1.2. Baromfi toll fizikai és kémiai előkezelésének eredményei (BOKU)	73
4.1.3. Sertés hígtrágya biogáz kihozatalának eredményei (DE)	77
4.1.4. Sertés hígtrágya és előkezelt baromfi toll együttes fermentálásának eredményei (DE)	80
4.2. Üzemi kísérletek eredményei	90
4.2.1. Baromfi toll fizikai és mikrobiológiai előkezelésének értékelése (KT)	90
4.2.2. Sertés hígtrágya monoreceptúrás vizsgálatának eredményei	94
4.2.3. A Nyírbátori Regionális Biogáz Üzem alapanyagbázisának és biogáz-termelésének vizsgálata (BÜ)	95
4.2.4. Az előkezelt baromfi toll alkalmazása a Nyírbátori Regionális Biogáz Üzemben	115
5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK	117
5.1. Laboratóriumi kísérletek	117
5.2. Üzemi kísérletek	119
6. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	123
7. ÖSSZEFOGLALÁS	125
8. SUMMARY	130
9. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK	135
10. MELLÉKLETEK	149
11. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN	178

1. BEVEZETÉS

A fosszilis energiaforrásaink kimerülőben vannak, egyre jobban teret nyer a biomassza alkalmazása (*Láng et al., 1985*). Az Európai Unió energiapolitikai célkitűzése, hogy 2010-ig a megújuló energia-felhasználás jelenlegi (átlagos) 6,5%-os részarányát 12%-ra, a megújuló energiatermelés arányát 2020-ra 20%-ra, a megújuló energiával termelt villamos energia részarányát 2010-re 22,1%-ra növelje. A bioüzemanyag részarányát 2010-re 5,75%-ra, 2020-ra 10%-ra kívánja emelni (*Dióssy, 2007; Kovács, 2007*). A megújuló energiaforrások között az EU-ban a biomassza foglalja el az első helyet 67,8%-os részesedéssel. Ezen belül a fa 52,2%-ot, a városi szilárd hulladékok 8,2%-ot, a bioüzemanyagok 3,8%-ot, míg a biogáz 3,6%-ot tesz ki (*European Commission, 2008*). A biogázból származó villamosenergia-termelés éves növekedési üteme az elmúlt évtizedben magas volt, mértéke 2002-ben 24%, 2003-ban 13%, 2004-ben 22%, 2005-ben pedig 15% volt (*EK Bizottság, 2007*). Az Európai Unióban 2005-ről 2006-ra 13,6%-kal nőtt a biogázból származó energiatermelés, mely így elérte az 5346,7 ktoe értéket (*European Commission, 2008*).

Magyarország éves energiaigénye átlagosan 1040 PJ, aminek 60-70%-a importból származik (*Nagy, 2008; Láng et al., 1985*). Ifj. *Sinóros-Szabó és Maniak* (2005) szerint hazánkban a megújuló energia felhasználás az összenergia felhasználáson belül 2005-ben mindössze 3,6% volt. *Dióssy* (2007) megállapította, hogy 2007-ben 4,7% volt, amely jelentősen elmaradt a gazdaságosan kiaknázható potenciáltól, és nemzetközi összehasonlításban is alacsony. *Fenyvesi és Hajdú* (2005) felmérései szerint ezzel szemben Magyarország jelentős biomassza potenciállal rendelkezik, az összes biomassza tömege az országban 350-360 millió tonnát tesz ki. A biomassza hasznosítására számos technológiát fejlesztettek ki, amelyek hatékonysága különböző okokból eltérő lehet. A stratégiai cél, hogy Magyarországon 2020-ban a megújuló energiaforrások felhasználása elérje a 186,3 PJ-t (2148/2008.(X.31.) Korm. hat.). A megújuló energiahordozó felhasználás 2020. évi nemzeti célértéke Magyarország esetében az összenergia igény 13%-a (2009/28/EK irányelv). *Gyulai* (2006) szerint 2013-ra a megújuló energia közül a szilárd biomassza 3992 GWh, míg a biogáz 262 GWh zöldáram-termelés várható. Magyarországon a megújuló energiaforrások közül tűzifából 47,4%-ot és egyéb biomasszából 38,3%-ot használnak fel, míg a kommunális hulladék biológiailag lebomló része 3,6%-ot tesz ki. A bioüzemanyag részarányát 2010-re 5,75%-ra kellett növelni, 2006-ban a kötelező bekeverési arány miatt elérte a 1,7%-ot. A biogáz előállítás 2007-ben csak 0,8%-os részarányt képviselt (*Dióssy, 2007*). A hőtermelésre előállított biogáz és biometán célértéke 2015-re 5,0 PJ, 2020-ra 7,0 PJ, míg a villamosenergia-termelésre a célérték 2015-re

350 GWh, 2020-ra 660 GWh (2148/2008.(X.31.) Korm. hat.). Kovács és Kovács (2007) szerint az egy főre számított biogáz-termelési mutató alapján Csehországban és Ausztriában 14-szer, Hollandiában 20-szor, Dániában 45-ször több biogázt állítanak elő egy lakosra számítva, mint nálunk, de a kép a többi európai államhoz viszonyítva sem kedvezőbb. A biogáz-technológia által nyújtott lehetőségeket és a Magyarországon keletkező szerves hulladék anyagok jelentős mennyiségét figyelembe véve nehezen érthető a relatív elmaradás. Bai (2007) a Magyarországon a mezőgazdaságban működő biogáz telepek hazai elterjedésének főbb akadályozó tényezőiként az ágazat alacsony jövedelemtermelő képességéből fakadó forráshiányt, a földgázhálózat országos kiterjesztését és a földgáz viszonylag alacsony árát jelölte meg. Semberly és Tóth (2004) a környezetvédelmi előírások kapcsán megállapította, hogyha a biohulladékok hasznosításának integrált módszerét alkalmazzák a biohulladékok ártalmatlanítása - a bennük rejlő energia és tápanyag hasznosításával - a mezőgazdasági ágazat számára gazdasági haszonnal járó beruházás lehet. Ugyanakkor a fermentációs eljárás alkalmas a szennyeződések eltávolítására is kiválóan használható, lehetőséget nyújt „zöld energia” előállítására. Hazánkban a biogáz előállításnak a mezőgazdasági termelés lehet az egyik jelelős tartaléka. Nagy *et al.* (2008) hangsúlyozták, hogy a bioenergiát előállító egységekben végbemenő anyag- és energia folyamatok összefüggéseinek pontosabb meghatározását. A biomassa szervesanyag átalakításával elektromos áram, valamint hőenergia keletkezik. A két energiatípus kapcsolata, harmonikus felhasználása szerintük a bioenergiát előállító egység gazdaságosságát jelentősen befolyásolja. Szendrei (2005) és Sántha (1996) kiemelik, hogy a biomassa anaerob erjesztési eljárása során, a nyersanyag jellemzőinek megfelelően két egymással egyenrangú termék keletkezik. A fermentált végtermék, mely trágyázásra alkalmas szerves anyag és az energiatermelésre alkalmas metángáz. Sántha (1996), Bíró és Pacsuta (2002) és Szegi (1967) publikációjukban hangsúlyozták a fermentált anyag a talajok termőképességének regenerálására, a mezőgazdasági termelés fokozására és a műtrágya helyettesítésére is alkalmas.

A koncentrált állattartás során nagy mennyiségben keletkező hígtrágya tárolásának és kijuttatásának szabályozása változott a 91/676/EKG tanácsi irányelve alapján. Az állattartó telepeket kötelezték szigetelt hígtrágya tároló megépítésére, ugyanis csak az év egy bizonyos hányadában hasznosítható a trágya a mezőgazdaságban. Ehelyett sok állattartó telep biogáz üzem megépítését választotta, mely igaz költségesebb, de hosszútávon gazdaságosabb megoldás. A jogszabályok szigorodtak az állati hulladékok kezelésével kapcsolatban, a betegségek takarmányon át az élelmiszerláncba való bekerülésének kockázata miatt (1774/2002/EK, 71/2003 FVM). Az állati hulladékokat három kategóriába sorolja be, melyek

közül az első és második kategóriába tartozó vágóhídi hulladékokat az esetleges biogáz célú hasznosításuk előtt fertőtleníteni szükséges. Harmadik kategóriába tartoznak a környezetre jóval kisebb kockázatot jelentő állati hulladékok, melyeket már nem szükséges fertőtleníteni, ilyen többek között a baromfi feldolgozó-üzemekben nagy mennyiségben keletkező toll.

Az értekezés átfogó célkitűzései:

A kutatási célom olyan biogáz receptura variánsok kidolgozása, melyek nagyobb metán-kihozatalt eredményeznek. A vizsgálati helyen nagy mennyiségben keletkező hígtrágya, vágóhídi hulladék, illetve az előkezelt állati tetem újrahasznosítását értékelem. Megoldást dolgozok ki a nehezen hidrolizálható és a baromfi vágóhidakon nagy mennyiségben keletkező broiler toll feltárására, majd az előkezelt toll és a sertés hígtrágya együttes kofermentációjára. Információbázist készítünk a Nyírbátori Regionális Biogáz Üzemben az alkalmazott alapanyagok és a fermentált végtermék összetételére, minőségi paramétereire vonatkozóan. Hosszú idejű üzemi adatok alapján elemzem a biogáz hasznosítás gyakorlatát, és fejlesztési megoldásokat dolgozok ki.

Az értekezés részletes célkitűzései:

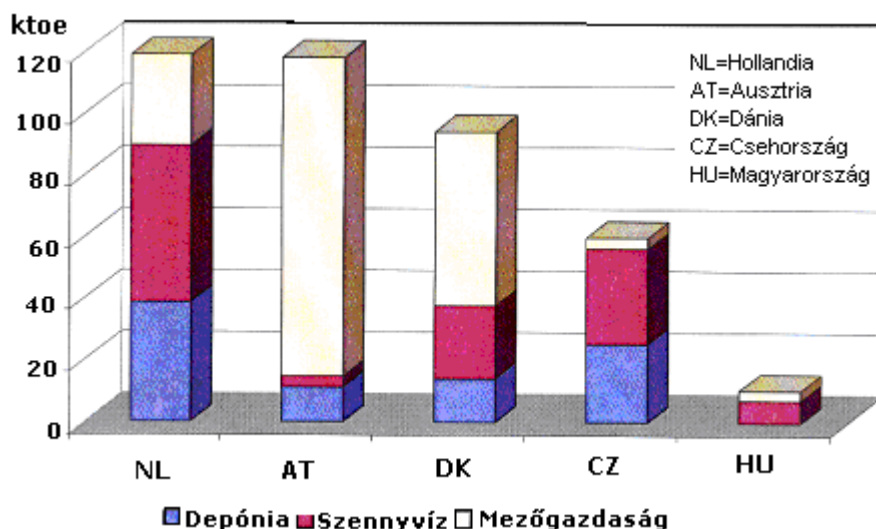
Meghatározom a baromfi vágóhídon képződő baromfi toll előkezelésének üzemi követelményeit. Vizsgálom a sertés hígtrágya biogáz-termelésének hatékonyságát laboratóriumi és üzemi körülmények között. Laboratóriumi körülmények között vizsgálom a sertés hígtrágya és előkezelt baromfi toll együttes fermentálhatóságát. Megállapítom a toxikus kénhidrogén képződés függvényében a biogáz-termelés szempontjából a kezelt toll optimális keverési arányát a receptúrában. A Nyírbátori Regionális Biogáz Üzem alapanyagbázisa és a fermentált végtermék mennyiségi és minőségi paramétereivel kapcsolatban vizsgálom az összefüggéseket, majd anyagforgalmi mérleget készítek. Értékelem az évek, az évjáratok, a receptura variánsok és a random hibák hatását a biogáz-termelésre folyamatára.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A biogáz-termelés szerepe, jelentősége

Annak ellenére, hogy a biogáz fogalma a szakirodalomban jól ismert, szerzőtől függően a meghatározások részben eltérnek. *Boros* (1993) megfogalmazása szerint biogáznak nevezzük a szerves anyagokból biológiai úton, anaerob baktériumos erjedéssel keletkező gázt. Fő összetevői az éghető metán és a szén-dioxid. *Kacz és Neményi* (1998) ezt alátámasztotta azzal a megállapításával, miszerint a biogáz eredete szempontjából lényegében a természetes szerves anyagokban tárolódott napenergia. *Kárpáti* (2002) ezt azzal egészítette ki, hogy a szerves anyagok egy részét (cukrok, fehérjék, zsírok) az anaerob mikroorganizmusok metánná és szén-dioxiddá tudják alakítani, amely az energiatartalom ismételt hasznosítására ad lehetőséget. A 42/2005 (III.10.) Korm. rendelet alapján a biogáz biomasszából, illetve hulladékok biológiailag lebomló részéből földgázminőségűre tisztítható, bioüzemanyagként felhasználható gáznemű üzemanyag vagy fagáz. *Braber* (1995) és *Shih* (1993) szerint az anaerob fermentálás biológiai folyamat, mellyel a szerves anyagok levegőtlen körülmények között metánra bomlanak le.

Viszlai (2009) megállapította, hogy Magyarország összes biomassza tömege 350 millió tonna, míg az évente képződő biomassza-készlet 105-110 millió tonnára tehető, melynek energiatartalma 1100 PJ. Az ország éves energiaigénye 1030-1050 PJ, mely ebből fedezhető lenne. *Szunyog* (2008) Rebrudar nevű projekt keretein belül 2008-ban végzett biomassza potenciál felmérésekről írt tanulmányában hazánk elméleti biogáz előállításra alkalmas potenciálját 222,8 PJ/év-re becsüli, mely 5,7 Mrd m³ földgázzal egyenértékű, ami az éves hazai primerenergia igény 21,5%-át lenne képes fedezni. *Kovács* (2007a) 2006-os adatai alapján a biogáz-termelés tekintetében hazánk jelentősen elmarad az 1. ábrán feltüntetett Európai Unió országoktól. Hollandiában és Csehországban főleg szennyvíziszap bázisú a biogáz-termelés, de jelentős a depónigáz kitermelése is. Ausztriában és Dániában pedig inkább a mezőgazdasági alapanyagbázisú biogáz-előállítási technológia terjedt el.



1. ábra. Biogáz-termelés 2006-ban (ktOE) (Kovács, 2007a)

Hazánkban a biogáz üzemek száma alacsony, nagyobb részarányban szennyvíziszap-bázisúak, azt a mezőgazdasági alapanyagokra épülő követi, a depóniagáz előállítás minimális (1. ábra). Bai (2002) ezzel ellentétben azt állítja, hogy hazánkban 14 db szeméttelen valósult meg depóniagáz kinyerés, összesen mintegy 13-15 millió m³ hulladékból évi mintegy 100-120 millió m³ mennyiségben, melynek jelenleg csak kis részét hasznosítják ténylegesen. A közel 60 hazai szennyvíztisztító telep közül 12 helyen termelnek biogázt, melynek évi 60-70 millió m³ alapanyagból 6-7 millió m³ biogáz keletkezik, fűtőértéke eléri a 0,15 PJ-t. Emellett hat mezőgazdasági alapanyagokat hasznosító biogáz-üzem létesült (Némethi, 2009).

Magyarországon jelenleg 10 db működő mezőgazdasági melléktermékeket, hulladékokat feldolgozó biogáz üzem van: Nyírbátorban, Pálhalmán, Kenderes-Bánhalmán, Kaposváron, Klárafalván, Kecskeméten, Csengersimán, Dömsödön, Kapuváron és Kaposzsekcsőn. Az EU-n belül jelentős mértékben növekszik a biogáz előállítás. A 2005-ös 5 millióról 2010-re várhatóan 9 millió tonna olaj egyenértékűre változik a felhasználás (Somosné, 2010).

A biogáz ipar elsősorban azokban az országokban (pl. Németország, Ausztria, Dánia, Csehország) fejlett, ahol a gazdasági kormányzat hatékonyan támogatja a megújuló energiahordozók fokozott felhasználását és a környezetvédelmet. Más európai országokban (mint például Angliában, Franciaországban) alig találni mezőgazdasági biogáz üzemeket, viszont nagyon fejlett a depóniagáz hasznosítása és a szennyvíziszap rothasztása. Németországban a biogáz üzemek száma 2008-ra meghaladta a 3600-at, az átlagos teljesítmény elérte a 360 kW-ot (Somosné, 2010), 2009-ben pedig mintegy 4500 üzem volt (Weiland, 2010). Hasonló fejlődés látható Ausztriában is, ahol 2004 év végén 175, 2007-ben

már 350 mezőgazdasági üzem működött (Somosné, 2010). Míg a kontinens gazdagabb feléhez gyors ütemben felzárkózó Csehországban, csak 2008-ban 40 ilyen létesítményt adtak át. A hazai helyzetre jellemző, hogy a kormányzati támogatás jelen van, azonban annak formája és mértéke egyelőre nem elegendő a lényeges előrelépéshez. A Magyar Energia Hivatal a kiadott engedélyek alapján 2008-ban 15 indítás előtt álló projektet regisztrált. 2009-ben a KEOP-2009-4.4.0 „Megújuló energia alapú villamosenergia-, kapcsolt hő- és villamosenergia-, valamint biometán-termelés” témakörében 11 db pályázat érkezett be, ebből csak 4 db irányult a biogáz-termelésre és felhasználásra (I₈). Jelenleg 20-nál is több biogáz üzem épül, és várhatóan 2010-ben ebből 5-8 üzemben beindul a biogáz-termelés (Somosné, 2010). Kovács és Fuchsz (2007) szerint hazánkban a biogáz üzem létesítését akadályozó tényezők, hogy a „zöldáram” ár nem differenciált sem az alapanyagok, sem az üzemméret szerint, a méretnövelés útjában állnak a villamos hálózat korlátai. A kiegészítő területalapú támogatás korlátai, hogy HUF/ha összegében adják, függ a támogatott terület méretétől és a támogatott növényektől. Véleményük szerint indokolt lenne egy egyszerűsített engedélyezési eljárás.

Réczey (2007) szerint egy biogáz üzem ott gazdaságos Magyarországon, ahol

- nagyüzemi állattenyésztési ágazat működik,
- van a közelben nagyobb település, ahol még nem megoldott a környezetre káros szerves hulladék elhelyezése, vagy olyan ipar, melynek szerves hulladéka kármentesíthető,
- „biotrágya” elhelyezésére elegendő a mezőgazdasági terület,
- stabil, jövedelmező beruházás, mely hitelképes.

A következőkben a biogáz előállítás alkalmazási lehetőségeit, a biogáz összetételét, továbbá a biogáz gyártás előnyeit és hátrányait mutatom be. A biogáz előállítás folyamata magától végbemegy mélyvízi tengeröblökben, mocsarakban és hulladéktároló telepeken. A biogáz előállításának alkalmazási lehetőségeit Hódi (2006) három különböző tevékenység köré csoportosítja:

- a, a hulladéklerakás, -ártalmatlanítás (szilárd hulladék => depóniagáz),
- b, a szennyvízkezelés (kommunális szennyvíziszap => biogáz)
- c, és a mezőgazdasági vagy élelmiszeripari melléktermékek, hulladékok hasznosítása (vegyes alapanyag-bázis => biogáz).

A fenti tevékenységek közül az utóbbi csoportot *Kovács és Fuchsz (2007)* tovább bontotta:

- Állati hulladékokat kezelő regionális üzemekre
- Állattartó telepekhez telepített biogáz üzemekre
- Növényi eredetű hulladékokat és energianövényeket feldolgozó biogáz üzemekre
- Bioetanol-biogáz komplexumokra.

A biogáz összetételét többek között *Yadav és Hesse (1981)*, *Kaltschmitt és Hartmann (2001)* is publikálták (*1. táblázat*). A biogáz energiaértékét a tiszta metán részaránya határozza meg, mely az egyes eljárások és a feldolgozott hulladékok függvényében 50–70% között mozog (*Barótfi, 2000*).

1. táblázat. A biogáz összetétele szennyvíziszap és mezőgazdasági alapanyagok esetében

<i>Biogáz összetétele</i>	<i>Térfogat (%)</i>						
Metán (CH ₄)	50-70	50-75	63-68	50-75	50-75	55-70	55-75
Szén- dioxid (CO ₂)	30-50	25-45	32-37	25-45	25-50	27-44	25-45
Nitrogén (N ₂)	0,1	0-2	0-0,2	0-3	2 >	0,5-3	1-5
Hidrogén (H ₂)	n.a.	0-1	0-0,2	0-1	1 >	1	n.a.
Kén- hidrogén (H ₂ S)	0,1	0-2	0-0,1	0-1	0,02-2	nyomok ban	0,1-0,5
Oxigén (O ₂)	n.a.	0-2	n.a.	0-1	n.a.	0,1	nyomok ban
Víz(gőz)	kísérő anyagként	2-7	n.a.	telített	2 (20°C)-7 (40°C)	n.a.	n.a.
Szén- monoxid (CO)	0,1-1,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,1	0-0,3
Ammónia	n.a.	n.a.	n.a.	0-0,5	n.a.	n.a.	n.a.
Irodalmi forrás:	<i>Barótfi (2000)</i>	<i>Kaltschmitt és Hartmann (2001)</i>	<i>Öllös (1991)</i>	<i>Yadav and Hesse (1981)</i>	<i>Neumann (2002)</i>	<i>I₁₂</i>	<i>I₁₁</i>

A fenti táblázat adatai alapján megállapítható, hogy a biogáz metán-tartalma $\pm 25\%$ -kal változhat az alapanyag összetételétől, minőségétől, illetve az alkalmazott technológiától függően. Ezért is fontos az adott biogáz üzem technológiájára adaptált receptúra vizsgálata.

A biogáz összetétele és fűtőértéke nagymértékben függ a felhasznált szerves anyag minőségétől, típusától és a technológiától (*Kacz és Neményi, 1998*).

Dublein és Steinhäuser (2008) (2. táblázat) az eltérő alapanyagbázison termelt biogáz összetételének különbségeit határozta meg.

2. táblázat. A biogáz három típusának összetétele a feldolgozott hulladékok függvényében

Biogáz összetétele	Mértékegység	Szennyvíziszapból termelt biogáz	Mezőgazdasági alapanyagból termelt biogáz	Depóniagáz
Metán (CH ₄)	tf %	65-75	45-75	45-55
Szén-dioxid (CO ₂)	tf %	20-35	25-55	25-30
Nitrogén (N ₂)	tf %	3,4	0,01-5,0	10-25
Hidrogén (H ₂)	tf %	nyomokban	0,5	0,00
Oxigén (O ₂)	tf %	0,5	0,01-2,0	1-5
Szén-monoxid (CO)	tf %	0,2>	0,2>	0,2>
Kén-hidrogén (H ₂ S)	mg/Nm ³	8000>	10-30000	8000>
Ammónium	mg/Nm ³	nyomokban	0,01-2,5	nyomokban
Benzin, toluol, xilén	mg/Nm ³	0,1-5,0 >	0,0	0,1-5,0 >

Forrás: Duplein és Steinhäuser (2008) nyomán

A depóniagáz összetétele kedvezőtlenebb a szennyvíz és mezőgazdasági hulladék alapú biogázénál, ugyanis alacsonyabb a hasznosítható metán-tartalma, ezáltal a fűtőértéke is. Nagyobb a toxikus elem tartalma, így pl. a benzin, toluol, xilén mennyisége, mely tisztítása magas költségeket igényel. Bai (2007) szerint viszont nagyobb a depóniagázban a telített zsírsavak aránya, mely pozitív hatással van a hasznosíthatóságára. A fenti táblázat adatai alapján megállapítható, hogy a mezőgazdasági alkalmazású biogáz erőmű esetében a biogáz metán-, a szén-dioxid-tartalma tágabb határok (30%) között ingadozik. Ennek oka az elérő alapanyagokban, alkalmazott technológiában keresendő, melyek típusa jelentős, olykor $\pm 50\%$ -os különbségeket is eredményezhet.

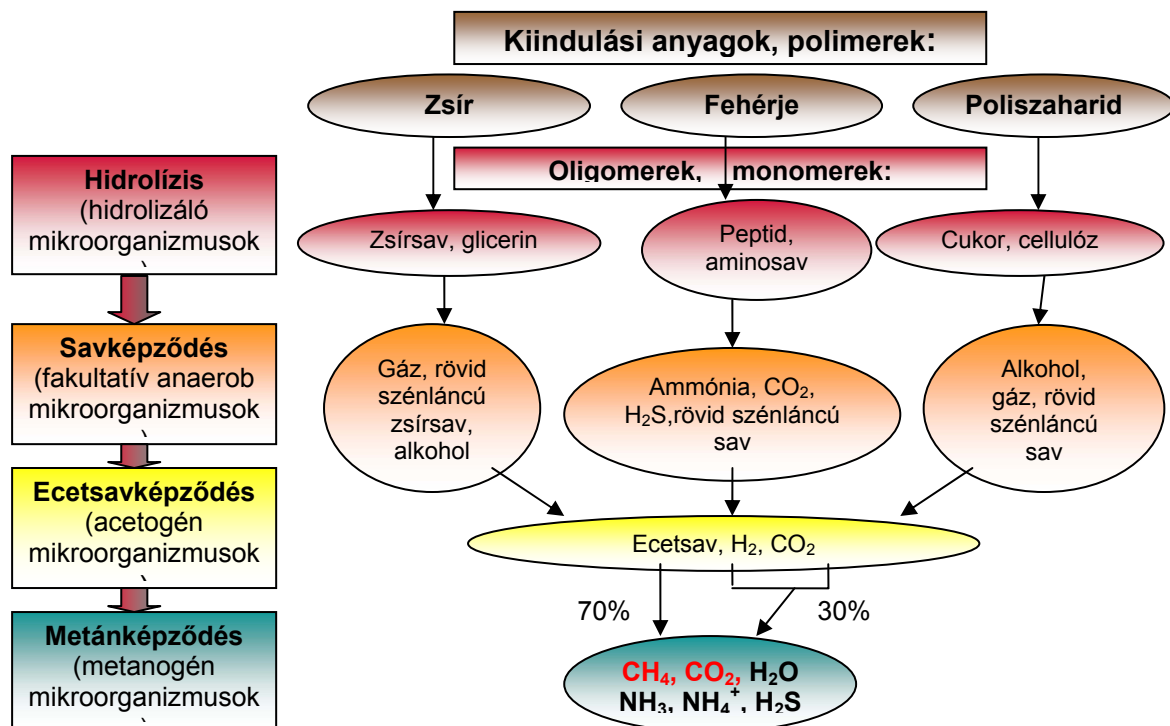
2.2. A biogáz-termelés mikrobiológiai háttere

A biogáz a metanogén mikroorganizmusok anyagcsereterméke, amely szerves biomaszából bomlásakor keletkezik. Felföldi (1981) és Pesti és Gazdag (2005) szerint a metánfermentáció két lépésben zajlik le. Az első fázisban különféle fakultatív és obligát anaerobikus baktériumok a szerves anyagok fehérje-, szénhidrát- és zsírtartalmát hidrolízissel és fermentálással zsírsavakká alakítják (savképzők). A második lépésben a szigorúan anaerobikus metánképzők (*Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanococcus* és

Methanosarcina fajok) ezeket a zsírsavakat hasznosítják: széndioxidot és metánt termelnek belőlük kétféle reakció segítségével. A biológiai metán-termelést Klein és Winter (2000), Helmeczi (2005), Kovács és Bagi (2007), illetve Petis (2007) szerint lényegében három mikrobiológiai tevékenység köré csoportosíthatjuk, amelyek egymásra épülnek és ezért természetes körülmények között nem lehet ezeket egymástól elválasztani. Hulladékok esetében a lebomlás folyamata Christiensen-Kjeldsen (1989) szerint öt jellegzetes fázisra osztható fel. Börjesson és Mattiasson (2007) szerint a biomasszából előállítható biogáz egy komplex, kevert mikroba populáció által katalizált, három különböző biotechnológiai folyamat során (melyet négy lépésre oszt) létrejövő gáz. Az anaerob fermentációt számos további szerző osztotta fel 4 lépésre (Bitton, 1994; Karpenstein-Machan, 2005; Dueblein és Steinhauser, 2008). A fermentációs folyamatot a 2. ábrán a négy fázisra osztó elméletek alapján mutatom be.

Az anaerob fermentáció négy lépése:

1. Hidrolízis: komplex makromolekulák lebomlása monomerekre
2. Savképződés fázisa: oldható monomerek átalakulása illékony zsírsavakká
3. Acetogén fázis: esetsav képződés
4. Metanogén fázis: esetsavból vagy hidrogénből és szén-dioxidból történő metán-termelődés.



2. ábra. Az anaerob fermentáció mikrobiológiai folyamata (Öllös, 1991; Börjesson és Mattiasson, 2007; Dueblein és Steinhauser, 2008; Pereira, 2009 alapján)

A különböző fázisokhoz eltérő mikroba csoportok köthetők. A természetben ez több tucat mikroorganizmus összehangolt működését jelenti, minden egyes fajnak meghatározott szerep jut a bonyolult elágazási lehetőségeket is tartalmazó lebontási útvonalban.

1. Hidrolízis: Az anaerob bontás során, - mint látható - a kiindulási anyagok polimerek (fehérje, zsír, poliszaharidok). Az első szakaszban fakultatív anaerob baktériumok lebontják a makromolekulás szerves anyagokat egyszerűbb vegyületekre, oligo-, monomerekre, mint pl.: egyszerű cukor, aminosav, zsírsav és víz (butirát, propionát, laktát és alkoholok). Hidrolizáló baktériumok: *Clostridium spp.*, *Bacillus spp.*, *Pseudomonas spp.* (Schulz et al., 1982; Böhnke et al., 1993).

A hidrolízis sebességét korlátozza a sok növényi vázanyag, így a cellulóz, a hemicellulóz és a lignin felhasználása (Kaltschmitt és Hartmann, 2001), melyek közül a lignin bontható le legnehezebben. Emellett a nehezen feltárható fehérjéket érdemes kiemelni, így pl. a vágóhídi hulladékok közül az általunk vizsgált baromfi tollat. Ezen hulladékok esetében valamilyen előkezelés alkalmazása javasolt.

2. Savképződés fázisa: Ezután a savképző fakultatív és obligát anaerob baktériumok végzik (*Clostridium spp.*, *Bacteroides spp.*, *Butyrivibrio spp.* (Schulz et al., 1982; Graf, 1999; Ottow, 1997)) a további bontási folyamatot, mely során rövid szénláncú szerves savak, Pesti és Gazdag (2005) megfogalmazása szerint C1-C5 molekulák (vajsav, propionsav, acetát, ecetsav), alkoholok, hidrogén és szén-dioxid képződnek (Bitton, 1994; Klein és Winter, 2000; Helmeczi, 2005). Kovács és Bagi (2007) hozzáfűzik, hogy a baktériumok amellet, hogy hidrogént állítanak elő nagyon érzékenyek a hidrogén koncentrációra, ezért nagyon fontos, hogy a hidrogéntermeléssel arányos legyen a felhasználás. Szabó (1999) szerint csökken a szulfátkoncentráció a folytatódó szulfátredukció révén. A zsírsavak átalakulása a pH és alkalitás (lúgosság) növekedésével jár, ami a kalcium, a vas, a mangán és a nehézfémek oldhatóságának a csökkenését vonja maga után, amelyek később valószínűleg szulfidokként csapódnak ki. Továbbra is szabadul fel ammónia, ami az anaerob környezetben nem alakul.

3. Acetogén fázis: Pesti és Gazdag (2005) megfogalmazása szerint az acetogén baktériumok az előbbieket anyagsere-végtermékeit a metanogén baktériumok számára alkalmas szubsztrátokká alakítják. Zsírsavak és egyéb szerves savak képződnek, melyek közül a metántermelés szempontjából a legfontosabb az ecetsav. Ebből készítenek ecetsav-baktériumok acetátot, szén-dioxidot és hidrogént (Eder és Schulz, 2006; Kovács és Bagi, 2007; Dueblein és Steinhäuser, 2008). Kovács és Bagi (2007) ezen állítást kiegészíti azzal, hogy az acetogének nagyon sokfélék és a környezeti hatásoknak általában ellenállóak. Ez érthető is, hiszen sokféle tápanyagot tudnak hasznosítani, ami a túlélési esélyeiket lényegesen

növeli. Acetogén baktériumok: *Clostridium spp.* *Eubacterium spp.* (Schulz et al., 1982; Kleemann und Meliß, 1993; Wenzel, 2002).

4. Metánképződés fázisa: Utolsó lépésben a metanogén mikroorganizmusok (archaeabaktériumok) hatására bekövetkezik a metán-, szén-dioxid- és vízképződés (Bitton, 1994). Kovács és Bagi (2007), Dueblein és Steinhäuser (2008) megállapították, hogy a természetes úton képződő metánmennyiség kb. 70%-a acetátból, míg Klein és Winter (2000), Fuchs et al. (2009), hogy 30%-a H₂ és CO₂-ből keletkezik. Szabó (1999) hozzáfűzte, hogy a gázképződés 50-60% metántartalomnál stabilizálódik, ami a zsírsavak és a hidrogén alacsony szinten történő tartását eredményezi.

A metanogén baktériumok jellemzése: A metanogének a mikroorganizmusok különleges, legősibb fejlődési vonalához tartoznak, amelyeket Archaeának nevezünk (Kovács és Bagi, 2007), ősi kemolitotróf autotróf baktériumok. Pesti és Gazdag (2005) könyvében a metanogén baktériumokat, sejtmorfológiai alapon négy genuszra osztotta: *Methanobacterium*, *Methanococcus*, *Methanosarcina* és *Methanospirillum*. Bagi (2009) a kb. 50 metanogén törzset 3 osztályba és 4 családba osztotta (3. táblázat).

3. táblázat. Metanogén baktérium rendszerezése

Osztály	Család
Methanobacteriales	Methanobacteriaceae
Methanococcales	Methanococcaceae
Methanomicrobiales	Methanomicrobiaceae
	Methanosarcinaceae

Forrás: Bagi, 2009

Kovács és Bagi (2007) szerint a metanogenezis az egész biogáz-termelés sebességét meghatározó mikrobiológiai folyamat. A metanogének lassan szaporodnak és rendkívül érzékenyek a környezeti feltételek változásaira. A metánbaktériumok a ma ismert baktériumok közül az oldott oxigénre a legérzékenyebbek, annak jelenléte számukra káros hatású. Az alacsonyabb pH érték, a pH változás, a hőmérséklet-ingadozás, az illékony savak koncentrációja kritikus lehet ebben a szakaszban. Morfológiai szempontból heterogének, kémiaiilag homogének és erősen tápanyag specifikusak, utóbbi állításokkal Petis (2007) és Bagi (2007) is egyetértettek. Természetes körülmények között a szakaszok térben nem különülnek el, mivel a mikroorganizmus csoportok egymás anyagszere termékéből táplálkoznak, ezért nagyon fontos, hogy a tápanyag mennyisége és a szaporodásuk

egyensúlyban legyen. Ahhoz, hogy fennmaradjon az egyensúly, biztosítani kell az optimális fermentációhoz szükséges feltételeket (*Petis, 2007; Kovács és Bagi, 2007*). *Eder és Schulz* (2006) szerint a kétlépcsős folyamat esetében ez két szakaszban játszódik le. Az első részben keletkező gáz nagyrészt szén-dioxidból és egyéb energetikailag használhatatlan gázokból áll, és emiatt már itt el lehet távolítani ezeket. A második részben termelődő gáz metántartalma már nagy, általában 50- 80%. Az előzőekben ismertetett folyamatsornak két kritikus pontja van, az egyik a nehezen bontható hulladékok miatt a hidrolízis, a másik a metanogén mikroorganizmusok érzékenysége miatt a metántermelés fázisa. A metanogén közösségek működését gátolhatják a vetélytárs mikroorganizmus populációk és az általuk termelt vegyületek. Az anaerob környezetben szintén előforduló denitrifikáló baktériumok és a szulfátredukálók különösen veszélyesek, hiszen jól versengenek a metanogén mikrobákkal az energiaforrásért, illetve számukra káros közti termékeket termelnek (*Kovács és Bagi, 2007*). Amennyiben a szulfát koncentráció megemelkedik az anaerob reaktorban a szulfátredukáló törzsek elszaporodnak. Növekedésükhöz hidrogénre van szükség, hidrogén-szulfidot állítanak elő. Mivel mind a metanogén, mind a szulfát redukáló törzseknek hidrogénre van szükségük anyagcsere folyamataik fenntartásához versengés, kompetíció alakul ki a két mikroba típus között. Alacsony ecetsav koncentráció esetében a szulfátredukáló törzsek kerülnek előnybe, ekkor az anaerob fermentorban a hidrogén-szulfid szint megemelkedik és gátolja a biogáz-képződés folyamatát, emellett korrozív anyag (*Bagi, 2009*).

2.3. Baromfi toll előkezelésének módjai

Az értekezésben speciális vizsgálatokat végzek a nehezen hidrolizálható és magas kén-tartalmú baromfi toll fermentációjára vonatkozóan, ezért az alábbiakban röviden bemutatom fizikai, kémiai és biológiai feltárhatóságát. Az előzetes kezelések ugyanis alkalmassá tehetik a baromfi tollat biogáz, vagy egyéb célú hasznosításra.

A toll fizikai úton történő feltárása:

A toll fehérje eredeti állapotban gyakorlatilag emészthetetlen, csak a keratin molekula térszerkezetét rögzítő diszulfid-hidak felhasítása, és a térszerkezet rögzítésében résztvevő hidrogén-hidak denaturálása után bontható le. Ezen az sem változtat érdemben, ha a tollat finomra daráljuk. A keratin vizes közegben duzzad, molekulaszervezete megnyúlik, és hő hatására denaturálódik. A toll fehérjének emészthetőségét csak nyomáson végzett hőkezeléssel lehet jelentősen javítani. 4 bar nyomáson 60 percig végzett hőkezeléssel a

termék in vivo emészthetősége eléri a 70-80%-ot, ami 4-5%-kal nagyobb in vivo emészthetőségnek felel meg. Feltárása során kénben szegény, vízoldható, illetve kénben gazdag, oldhatatlan frakcióra bontható. A natív keratin mechanikus behatásokkal szemben rendkívül ellenálló. A hőkezeléssel emészthetővé tett toll viszonylag kevés lizint, metionint, hisztidint és triptofánt tartalmaz, de ugyanakkor cisztin-tartalma jelentős. A toll vizes közegben történő autoklávozása során a keratinban lévő cisztin diszulfid-hídjai felhasadnak, miközben cisztein és kén-hidrogén képződik. A keratin eredeti cisztin-tartalmának több mint fele elbomlik, eközben dihidro-alanin köztesterméken keresztül lantionon is képződik, melynek biológiai hasznosíthatósága nulla, túlzott jelenléte jelentős fehérjekárosodást jelez. A redukáló szénhidrátok karbonil csoportja és a lizin oldalláncán elhelyezkedő szabad epszilon-amino csoport között kialakuló reakciónak (Maillard-féle barnulási reakció) elsősorban nagy gyomor- és béltartalom esetében van jelentősége, mely során pl. melanoidinek, furozin és piridozin, stb. keletkeznek (*Hedegűs et al., 1998*).

A toll kémiai módon történő feltárása:

Különböző adalékanyagokkal a tollfehérje emészthetősége tovább javítható. A tenzidek (pl. zsíralkohol-szulfátok) csökkentik a keratin hidrofób karakterét, hatására a toll megpuhul (lásd borotvahab), és a hőkezelés során könnyebben feltáródnak. Többféle savas eljárás is létezik a toll bontására. A sósavas eljárás hatékony ugyan, de jelentősen növeli a termék sótartalmát, a kénsavas eljárásnál a felesleges kénsav gipsz formájában elválasztható, de erősen hidroszkópos anyagot kapunk. A lúgos eljárások a fehérje táplálóértékét rontják, jelentős cisztin-vesztés lép fel. A foszforsavval kezelt toll bázisanhidridekkel semlegesíthető, miközben jelentős mértékű reakcióhő keletkezik, javítva a hőkezelés energiamérlegét. A karbamid, illetve a karbamid származékok a keratinok oldhatóságát jelentősen növelni képesek. Híg karbamid oldatban való hőkezeléssel 80% feletti in vitro pepszines emészthetőségű termék állítható elő. A redukáló hatású anyagok (pl. tioalkoholok, tioglikolát, szulfítok) szintén erős diszulfid-híd bontó hatásúak (*Hedegűs et al., 1998*).

A toll biológiai lebontásának módjai:

A toll mikrobiális illetve enzimatisz uton való lebontása oldható fehérjékre és aminosavakra nagyon kedvező és viszonylag olcsó lehetőséget kínál értékes termékek előállítására a melléktermékként keletkező tollból (*Dalev, 1994; Shih, 1993; Williams et al., 1990*). A keratinok magas szerkezeti stabilitással rendelkeznek és nagy a fehérjebontó mikrobákkal szembeni ellenálló-képességük a diszulfid-, a hidrogén-, a kristály- és más keresztkötések

miatt (Kunert, 1973; Kaluzewska et al., 1991; Friedrich és Antranikian, 1996). A nagyszámú diszulfidhíd-kötés, hidrogén-kötés és a hidrofób kölcsönhatások miatt a keratin oldhatatlan és nehezen emészthető az emberek és állatok számára (Wang és Parsons, 1997) és nehezen feltárható az olyan enzimek számára, mint a tripszin, pepszin és papain (Letourneau et al., 1998). Degradációjához speciális fehérjebontó (keratinbontó) mikroorganizmusokra van szükség (Elődi, 1980; Cohlberg, 1993; Steinert, 1993; Kornillowicz-Kowalska, 1997; Onifade et al., 1998). A keratinfehérje lebontására csak néhány speciális szaprofita és elősködő gombafaj (Kushwaha, 1983; Bahuguna és Kushwaha, 1989; Rajak et al., 1992; Safranek és Goos, 1982), actinomicetes faj (Mukhopadyay és Chandra, 1990; Sohair és Assem, 1974, Bressollier et al., 1999), *Bacillus* törzs (Williams et al., 1990; Kim et al., 2001) és a termofil *Fervidobacterium pennavorans* képes. A talajban lévő mikroorganizmusok közül számos faj bontja a keratint (Kaul és Sumbali, 1997). Baromfi-ipari melléktermékeken is izoláltak keratinbontó mikroorganizmusokat (Wang és Shih, 1999; Williams et al., 1990). Ezen mikroorganizmusoknak kimagasló képességük van a keletkező hulladék toll hasznosítására. Bizonyos baktériumok, gombák, speciális proteázok, a keratinázok segítségével képesek a keratin hidrolízisére. A proteázok (pl. bakteriális enzimek, pronáz, stb.) a tollat viszonylag jól képesek bontani (Hegedűs et al., 1998). A keratinázok a proteináz enzimek egyik csoportjába tartoznak (Godfrey, 1996), fontosak a haj, toll bontásában és a szennyvízrendszer megtisztításában a szennyvíz kezelését akadályozó kollagénektől. A keratinbontó enzimek számára az optimális hőmérséklet 50°C körüli, de egyes termostabil keratinázok 90°C-on is megőrzik aktivitásukat. Ezen enzimek a legaktívabb fehérjebontók közé tartoznak, jelentős specifikusság jellemző rájuk (Friedrich és Kern, 2003). A keratin tartalmú szennyeződések eltávolítására csak az extracelluláris, vagyis aktivitásukat a sejten kívül kifejtő proteázok alkalmasak (Bagi et al., 2008). A keratin-bontó enzimeket, - az úgynevezett keratinázokat – több különböző mikroorganizmusból izolálták és írták le (Moriyama et al., 1967; Yu et al., 1969; Nakanishi and Yamamoto, 1974; Ebeling, 1984; Takiuchi et al., 1984; Asahi et al. 1985; Moriyama és Oda, 1992). A *Thermoactinomyces keratinolyticum* baktérium keratinbontó hatásfokát csirke toll esetében Hussein és Swelim (1995), míg pulyka tollnál Kushwaha (1983) jegyezte le. A szaprofita gombák keratinbontó aktivitását Kornillowicz (1994) vizsgálta. Kimutatták a keratinbontó tevékenységet egyes *Aspergillus*, és *Ctenomyces* fajoknál is. A *Nesterenkonia* sp. és a *Bacillus pseudofirmus* törzsek felhasználása esetében is nagymértékben hidrolizálódott a toll lúgos körülmények között (Gessesse et al., 2003). A *Trichophyton mentagrophytes*, *Trichophyton rubrum*, *Trichophyton gallinae*, *Microsporum canis*, *Microsporum gypseum* esetében (Wawrzkievicz et al., 1991) is

megállapítottak keratinbontó tevékenységet, továbbá *Vibrio sp. Kr2* törzsénél is, melyet tollban izoláltak egy baromfi feldolgozó üzemben (Sangali és Brandelli, 2000). Jellemzője, hogy szobahőmérsékleten teljesen lebontja a tollat (Grazziotin et al., 2007). Laboratóriumi vizsgálatok során azonosították a Gram-pozitív *Kocuria rosea* tollbontó baktériumot (Coello és Vidal, 2001). Ez a baktérium nagy keratinbontó aktivitást mutatott, és egyedüli szén-, nitrogén-, illetve energia forrásként használta fel a tollat. Bernal et al. (2003) szerint a jövőben a bőr-, a kozmetikai- és az élelmiszeriparban nyílik széleskörű alkalmazására lehetőség. Több *Streptomyces* törzs esetében is vizsgálták a keratinbontási folyamatok jellemzőit. A *Streptomyces* fajok is keratin-bontó enzimet termelnek (Noval és Nickerson, 1959). A *Streptomyces sp.* keratinbontó enzim termelése 45°C-on, lúgos kémhatáson (pH:11) bizonyult optimálisnak. A *Streptomyces* fajok izolálása szőrből, bőrből, tollból könnyen és gazdaságosan elvégezhető (Tatineni et al., 2007). A *Streptomyces BA7*-es törzset a talajból izolálták (Aslan, 1999), mely tollon tenyésztve jól bontja a tollkeratint. Aktivitását tág hőmérsékleti (30°C-90°C) és pH (pH: 5-12) értékek között is megőrzi (Korkmaz et al., 2003). A *Streptomyces thermoviolaceus* hőmérsékletre nem érzékeny alkáli-stabil keratinbontó mikroorganizmus (Chitte et al., 1999). Sinha et al. (1991) illetve Böckle et al. (1995) azonosították a keratin-bontást végző enzimet *Streptomyces pactum*ból és *Streptomyces fradiae*ből, a *Streptomyces pactum* DSM 40530 törzsének tulajdonították a magasabb fokú keratinbontó-képességet.

A tollbontó *Bacillus licheniformis*-t (PWD-1) baromfi eredetű hulladékok aerob kivonatából izolálták (Williams et al., 1990), Wang és Shih (1999) vizsgálták keratináz-termelő képességét, míg más kutatók biotechnológiai módszerrel állították elő a beta-keratin bontásának fokozása érdekében (Lin et al., 1995). Cheng et al. (1995) a *Bacillus licheniformis*-t szintén a tollbontás hatásfokának növelése kapcsán vizsgálták. Kao és Lai (1995) a Gram-pozitív, pálcika formájú, endospórás *Bacillus spp.*-t úgy azonosították, mint a tollnak a talajban található leghatékonyabb keratinbontóját. Cheng et al. (1995) megvizsgálták a *Bacillus licheniformis* keratinázának molekulásúlyát, ami 31,4 kDa volt, a tollbontó *Bacillus licheniformis* törzs keratinázának molekula tömegét Lin et al. (1992) határozták meg (33 kDa). A *Bacillus licheniformis*-ből készült tömény keratinbontó enzim jelentősen növelte a nyers toll és a kereskedelmi toll-liszt aminosav feltárhatóságát (Lee et al., 1991). Magyarországon Kovács et al. (2002), Perei et al. (2004) folytattak kísérleteket *Bacillus licheniformis*-sal, az általuk a természetből elkülönített baktérium (*Bacillus licheniformis* KKI) extracelluláris proteázt termel és enzimatisz képe ssége révén teljesen elbontja a szőrt és a tollat. Az így kapott végtermék ártalmatlan. A keratinbontó baktérium nem veszélyes a

környezetre, így megfelelően alkalmazható a keratintartalmú hulladékoknak (elsősorban a toll) keletkezési helyén történő ártalmatlanítására. Vizsgálataink során mi is ezt a baktérium törzset alkalmaztuk, ezért a következőkben röviden jellemzem. A *Bacillus licheniformis* Pesti (2001) szerint valódi baktériumok családjába tartozik (Eubacteria), ezen belül a Gram-pozitív baktériumok (Firmicutes) divíziójába, és a Firmibacteria osztályba sorolható. A keratinbontó *Bacillus licheniformis* KK1-es törzse gram pozitív, aerob, endospórás, pálcika formájú baktérium, melynek pH-igénye semleges, hőmérséklet igénye 30-50°C között, optimuma 42°C-on van (Bálint et al., 2005; Bagi, 2006). Peptid antibiotikumot termel. Tárolhatósága +4°C-on folyékony táptalajon 1-2 hét, táplemezen 0,5-1 év. A baktérium toleráns a környezeti, biogén feltételekkel szemben (Bagi, 2006).

Hegedűs et al. (1998) szerint a toll előzetes hőkezelése növeli a bontás hatékonyságát. Ezen megállapítást alapul véve, az baktériummal történő oltást megelőzően a tollat különböző hőfokon kezeltük. A keratinfehérje-bontó enzimek lényegesek a biotechnológiai alkalmazások szempontjából, hiszen a tollból magas tápanyag-tartalmú aminosavakat, peptideket állítanak elő, továbbá a jövőben a bőripar (Chandrasekaran és Dhar, 1986; Dhar és Sreenivasulu, 1984; Dalev és Neitchev, 1991; Mukhopadyay és Chandra, 1990; Onifade et al., 1998; Papadopoulos, 1989; Pfleiderer és Reiner, 1988) a kozmetikai- és az élelmiszeriparban nyílik széleskörű alkalmazására lehetőség (Bernal et al., 2003).

2.4. Biogáz-termelés technológiája

2.4.1. A biogáz-termelés alapanyagai

Kutasi (2007) megfogalmazásában a biogáz előállításra valamennyi szervesanyag (kivéve a szerves vegyipar termékeit) alkalmas, így a trágya, az élelmiszeripari melléktermékek és hulladékok, minden zöld növényi rész, háztartási zöldhulladékok, lejárt szavatosságú élelmiszerek, éttermi hulladék, kommunális szennyvíziszapok, stb. Az eddigi gyakorlatnak megfelelően a nedves biogáz-gyártás alapanyaga általában hígtrágya, vagy élelmiszeripari szervesanyag-tartalmú folyadék. Kasza (2007) szerint az anaerob lebontással feldolgozható hulladékok közé a lakossági hulladék szerves frakciója, a piaci, vendéglátó-ipari hulladék szerves frakciója, a szennyvízkezelő telepekről származó elsődleges és másodlagos szennyvíz iszap, az állati ürülék, a halhulladék, a vágóhídról származó hulladék, a tejipari hulladék, a sütőolaj/ napraforgóolaj tartozik.

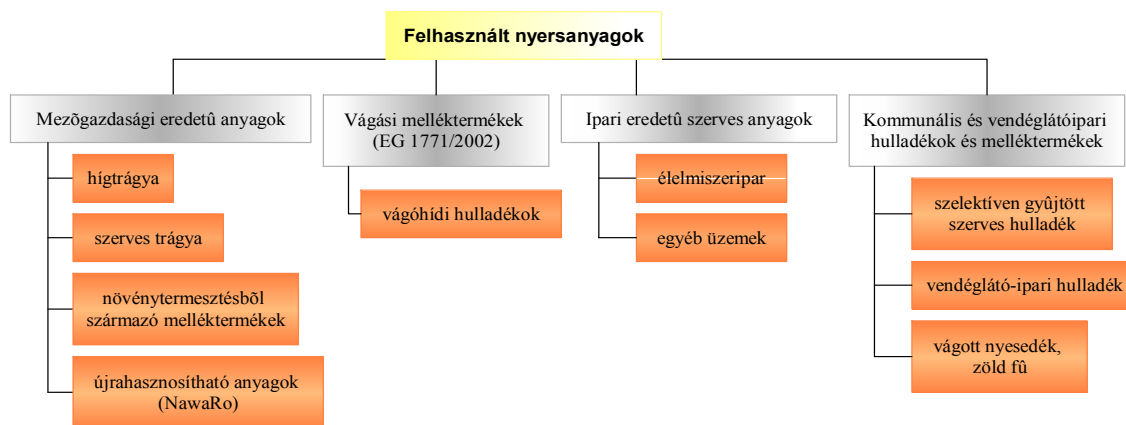
A biomassa alapú energia előállításának több módját is ismerjük, amelyek kiválóan alkalmazkodnak a felhasználás módjához (Hajdú, 2006). Láng (1985) az egyes biomassa

osztályokat képződésük szerint három csoportra osztotta, melyek megoszlási arányai Magyarországon a következők (Nagy, 2008):

1. *Elsődleges biomassza*: a természetes vegetáció, szántóföldi növények, erdő, rét, legelő, kertészeti növények, vízben élő növények. Részaránya a teljes biomasszából 50%. Ebből: Dendromassza: 40%; Növényi fő és melléktermék: 60%, így pl.: silókukorica, kukoricaszár, kukoricaszem, kukoricacsutka, fű, cukorcirok, napraforgótörköly, lucerna, energiafű, len, kender, árpaszalma, búzaszalma, rozsszalma, zabszalma, cukorrépaszelet, repcefogácsa, burgonya.

2. *Másodlagos biomassza*: az állatvilág, gazdasági haszonállatok összessége, továbbá az állattenyésztés főtermékei, melléktermékei, hulladékai. Részaránya 10%, mely az elsődleges biomassza konverziója, így pl.: trágya, hígtrágya

3. *Harmadlagos biomassza*: a biológiai eredetű anyagokat felhasználó iparok termékei, melléktermékei, hulladékai, emberi települések szerves eredetű szerves hulladékai. A teljes biomassza 40%-t teszi ki. Elsődleges és másodlagos biomasszák feldolgozása közben keletkezett melléktermékek, kommunális hulladékok, így pl.: vágóhídi hulladék, ipari eredetű szerves hulladék, vendéglátó-ipari szerves hulladék, melléktermék. A *Bayerisches Landesamt für Umwelt* (2004) a biogáz üzemben felhasználható nyersanyagokat a következőképp csoportosította (3. ábra).



3. ábra. Biogáz üzemben felhasznált alapanyagok csoportosítása (*Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2004 nyomán*)

Bai (2007) az alapanyag típusától függően más-más biogáz előállítási eljárást (szakaszos, folyamatos) javasol (1. melléklet), mely alapján megállapítható, hogy a technológia megválasztása nagymértékben függ az alapanyagok típusától és azok minőségi

paramétereitől. Nemcsak a potenciális, hanem az energetikai célra ténylegesen javasolható biomassza is óriási mennyiségben áll rendelkezésünkre (Szunyog, 2008a).

1. Elsődleges biomassza:

A mező- és erdőgazdaságban (30 millió tonna növényi maradvány, melléktermék, nyesedék, erdészeti apadék), valamint az élelmiszeriparban (5 millió tonna) összesen évente mintegy 35 millió t hasznosítható biomassza képződik (OHT, 2003-2008). A lágyszárú növényi alapanyagok (silókukorica, cukorrépaszecska, kukorica csővé, cukorcirok, napraforgó törköly, szecskázott zöld fű, lucerna, stb.) magas C-tartalma a C/N arány beállítása miatt meghatározó. A cellulóz alapú növényi anyagokat könnyebben és nehezebben feltárható szénforrásra oszthatók fel, melyek közül az alacsony lignin-tartalmú növényi anyagok, így pl. a frissen vágott zöld növényi részek (fűfélék, gabonafélék szára) bomlása gyorsabban megy végbe, mint a magas cellulóz-, esetenként lignin-tartalmú, nehezen hidrolizálható szubsztrátoké, így ténylegesen feltáródó szénforrást biztosítva a biogáz receptúrában. A magas keményítő-tartalmú anyagok (kukorica, búza, burgonya, rozs, árpa, zab) bontása könnyebben végbemegy, az állati szervezetek számára emészthető, így több mikroorganizmus enzimje képes feltárni. Fásszárú növényeket egyáltalán nem fermentálnak a biogáz üzemben, annak magas lignin-tartalma miatt, mely a biológiai degradációval szemben különösen ellenálló, hidrofób makromolekula (O'Sullivan, 1997). A növényi alapanyagok esetében, egy átlagos növényi alapanyag például, aminek 90%-os a nedvesség-tartalma és 25%-os a szárazanyag-tartalma van, 60%-os metán-tartalmú biogázt és 70%-os biogáz üzemi teljesítményt eredményez, ami 123 m³ biogáz/t friss alapanyagot jelent (I₇).

2. Másodlagos biomassza:

A KSH (Központi Statisztikai Hivatal) adatai (2000-2008) szerint a sertésállomány a 2000-es 4800 e darabról 2008-ra 3400 e db-ra esett vissza, ugyanezen időszakban a szarvasmarha állomány (805 ezer db) 100 ezer darabbal csökkent. A baromfiállomány a 2000-es évhez képest 2003-ra 5215 ezer db-bal növekedett, majd 2008-ra 383 ezer darabbal csökkent, így a felhasználható trágya, mennyisége az utóbbi években visszaesett. Hazánkban az állatlétszám csökkenésének következtében az utóbbi években az állati trágya mennyisége is visszaesett. Jól látható hogy hazai viszonylatban a sertésenyésztéstől várhatjuk a legnagyobb trágya alapú biogáz potenciált (4. táblázat).

A szerves trágyák – beleértve a hígtrágyát is – ártalommentes kezelésének, tárolásának, felhasználásának szabályai az EU jogharmonizáció keretében a 49/2001. (IV. 3.) Korm. rendeletben meghatározásra kerültek. A jogszabály tartalmazza a jó mezőgazdasági gyakorlat

szabályait, amelyek betartása a nitrát-érzékeny területeken kötelező. Ez a szabályozás biztosítja, hogy a melléktermékek környezetkímélő módon hasznosuljanak.

4. táblázat. Trágyából és hígtrágyából elméletileg előállítható biogáz mennyisége Magyarországon (2008)

Paraméterek	Szarvasmarha	Sertés	Ló	Juh	Tyúkfélék	Egyéb baromfi	Összesen
Állatállomány számosállatban kifejezve (ezer db)(1)	560,80	385,69	46,06	88,24	64,97	22,37	1168,13
Gazdasági állatok éves trágyamennyisége (t/év)(2)	7,20	1,20	5,00	0,60	0,005	0,0095	
Termelt trágya mennyisége (ezer t/2008 év)(3)	4037,76	462,83	230,30	52,94	0,32	0,21	4784,37
Biogáz Nm ³ /t szerves anyag(4)	90-310	340-550	200-300	90-310	310-620	310-620	
Termelhető biogáz Nm ³ /év(3)	363398-1251706	157362-254556,5	46060-69090	4765-16411	99-198	65-130	571750-1592092

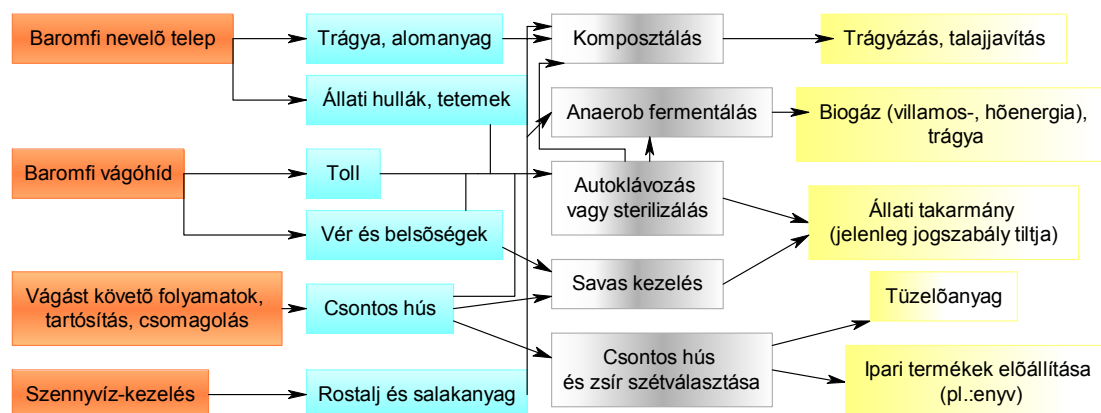
(1) Forrás: KSH adatok, 2008; (2) Hajas és Rázsó, 1969; (3) saját számítás; (4) Kaltwasser, 1983

Az állattartó telepek rekonstrukciójához, megfelelő technológiaváltásához biztosítani kell az erről szóló 2070/2001. (IV. 10.) Korm. határozat végrehajtásának finanszírozását és ösztönzését (OHT, 2003-2008).

3. Harmadlagos biomassa:

Az élelmiszeripar éves szinten megközelítőleg 4-5 millió tonna növényi és állati eredetű melléktermékkel és hulladékkal terheli a környezetet. Ennek a mennyiségnek megközelítőleg 95%-a takarmányként, és mintegy 2%-a humán célra (pl. antibiotikum gyártás) újra hasznosul. Az élelmiszeriparban belül a hús- és baromfiipar a kibocsátott hulladékért 40-50%-ban felelős (Hegedűs et al., 1998). A hazai szabályozás értelmében az állati tetemek, illetve a vágóhídi veszélyes hulladék –potenciális fertőzésveszélyességük miatt –magas környezeti kockázatot jelentenek, kezelésüket az állategészségügyi szabályoknak megfelelően kell megoldani. A keletkező állati eredetű hulladék mennyisége 2000-ben 330-340 ezer tonna volt (az összes veszélyes hulladék több mint 10 %-a). A hulladék döntő többségét az ATEV Rt. veszi át és kezeli (OHT, 2003-2008). A brojlercsirke vágási termékei közül 70% ehető, 30% nem ehető. A csontos hús 64%-ot, az ehető belsőségek 6%-ot, a nem ehető belsőségek 7%-ot, a vér, a fej 4%-ot, a nyak, a láb 3%-ot, a toll pedig 9%-ot tesz ki (Hegedűs et al., 1998). A baromfiiparban technológiai jellegű hulladékok közül legnagyobb részarányt a szárnyas hulladék tesz ki (kb. 34%), a második legjelentősebb a felhasználatlan toll (23%). Ezek mellett számolni kell a belsőségekkel (5%), vértartalmú anyagokkal (4%), gyomor- és

béltartalommal (2%) és elhullott tetemekkel (7%) (Salminen és Rintala, 2002). A baromfi telepeken és –feldolgozó üzemekben termelődő szerves szilárd hulladékok általánosan alkalmazott ártalmatlanítási és (újra)hasznosítási módjait szemlélteti a 4. ábra.



4 ábra. A baromfitelepeken és –feldolgozó üzemekben keletkező szerves szilárd melléktermékek és hulladékok általánosan alkalmazott újrahasznosítása és lerakása és anaerob fermentálással történő hasznosítása (Salminen és Rintala, 2002 megállapításai alapján).

A baromfi feldolgozóipar egyik legnagyobb mennyiségben keletkező mellékterméke a nedves, mintegy 50-70% víztartalmú toll, - ez több millió tonnát jelent évente világszerte (Williams et al., 1991; Hegedűs et al. 1998) - melynek felhasználása konfekcionált termék előállításra illetve díszítési célokra nem alkalmas. A toll kb. 10%-át adja a brojlercsirke élőtömegének (Salminen és Rintala, 2002; El-Boushi és Van der Poel, 2000). Kizsigerelés után a fej kb. 6,9%-ot, a lábak kb. 4,4%-ot, zsigerek kb. 10%-ot tesznek ki élőtömeg százalékában kifejezve (Salminen és Rintala, 2002). A toll szaruból áll, legnagyobb mennyiségben előforduló táplálóanyaga a fehérje, tömegének közel 90%-a a keratin (Harrap és Woods, 1964; Cherry et al., 1975). A toll fehérjéje a keratin, a vázfehérjék közé tartozik, és a toll, a szőr, a szaru, a köröm, a pata nyersfehérje-tartalmát alkotja (Hegedűs et al., 1998; Nárai-Szabó, 2006). A keratinok különféle köztakaró- és testfüggelék-képletek szilárd fehérje-alapanyagai (Elődi, 1980). Szárazanyagának 94%-át, szerves anyagának pedig 96%-át a fehérje teszi ki (Hegedűs et al., 1998). Papadopoulos (1985) vizsgálatai alapján a száraz toll 85-99%, Latshaw és mtsai (1994) szerint 90% feletti nyersfehérjét tartalmaz. Aminosav összetétele nem túl értékes tápanyag (Hegedűs et al., 1998), ugyanis különösen gazdag egy kéntartalmú aminosavban, a cisztinben (I₁₀).

A nem emberi fogyasztásra szánt állati melléktermékekre vonatkozó egészségügyi jogszabályok (1774/2002/EK Európai Parlamenti és Tanácsi rendelet illetve a 71/2003 FVM

rendelet) szigorúan meghatározzák a kezelési és elhelyezési lehetőségeket (*I₁₇*). A hatályos állategészségügyi szabályozás következtében a toll takarmányként való felhasználása már nem lehetséges. Szükséges tehát olyan innovatív fejlesztések, módszerek kidolgozása, melyek lehetővé teszik a keletkezett melléktermékek hasznosítását. A gazdaságosság fokozásának érdekében a baromfi-feldolgozó üzemek a hulladék tollak minél hatékonyabb felhasználására törekszenek. A baromfi toll magas fehérje-tartalma miatt kitűnő biogáz receptura-alapanyag lehetne, ugyanakkor nem adagolható közvetlenül, előkezelés nélkül a biomassza-keverékekhez (*Mézes et al., 2007*). A tollnak olyan feltáráson (pl. hővel történő és/vagy mikrobiális) kell keresztül mennie, melyek felbontják a keratin feltárhatóságát akadályozó cisztein kötéseket (*Hegedűs et al., 1998; Perei et al., 2004*).

A toll hasznosítási módjai:

Az Európai Unióhoz való csatlakozással a toll-liszt takarmányként való alkalmazásának lehetősége megszűnt. A nagyobb idegenanyag-tartalmú (por, trágya, takarmány, stb.) hulladék tollakat trágyázásra használják fel, például a kertészetek főleg a nagy foszfor-tartalma miatt. Vizes erjesztéssel vagy vegyi bomlással siettetik a feltárást, mert különben több (kb. 4) évre volna szükség, hogy a talajban a toll lebomoljon (*Ádám, 2001*). A baromfiipari hulladékok komposztálása esetén a megfelelő C/N arálynak és a nedvességnek fontos szerepe van. Az alacsony C/N arány estében nagy az ammónia veszteség (*Gray et al., 1971*). A magas nedvesség-tartalom (65%-nál magasabb) pedig a komposztáló folyamat beindulását gátolja (*Rynk et al., 1992*). Komposztáló kísérletek során kimutatták, hogy a baromfi tollat tollbontó mikroorganizmusokkal beoltva gyorsabb lesz a keratin feltáródása, a toll bontása. Ezek a mikróbák szén- és nitrogént igényelnek növekedésükhöz. A komposztálás akkor optimális, ha a C/N arány 20-40:1. A komposztálás előnye, hogy magas hőmérsékleten játszódik le a bontás. A hőmérséklet a hasznos szervezetek lebontó tevékenysége miatt nő (*Hansen et al., 1993*). A magas hőmérséklet elgyengíti a patogén szervezeteket, és a mikrobiális antagonizmus következtében elpusztulnak (*Kim et al., 1996*). A komposztálás egy reális és jól alkalmazható megoldás a toll felhasználására, mely talajjavítóként vagy szerves trágyaként kitűnően értékesíthető. Azonban figyelembe kell venni azt a tényt, hogy a toll komposztálása esetén a szerves anyag lebomlás hosszabb időt vesz igénybe, ha oltás nélkül keverjük bele a tollat a recepturába. Mindenképp szükséges tehát a toll előkezelése a bekeverés előtt. Fontos még figyelmet fordítani a keletkező komposzt magas kén-tartalmára, mely miatt savanyú talajokon nem javasolt használata.

George et al. (2003) olyan kísérleti eredményekről számol be, melyben a tollszárat és a

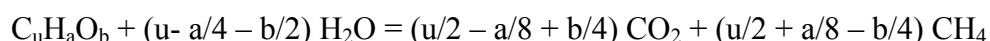
tollrostot külön választották és a rostot a papír- vagy ruhagyártásra használták fel. Kísérleteket végeztek olyan pulykatoll rostjaiból készült lebomló szövetanyag előállítására is, mely az erózió ellen nyújthat védelmet (*I₁₅*). Az irodalomban több alternatív eljárásról is beszámolnak, így pl. a tollrostokat vízsűrítésre is alkalmazhatják. A roston kívül a tollszár felhasználása is lehetséges ételek csomagolására alkalmas műanyagként (*I₅*). Az idegen anyagoktól mentes hulladék tollból kézi tűzoltó tartályok töltésére haboltót készítenek. Erre leginkább a tollgerinc használható, valamint a liba, kacsza szárny- és farktollai (*Ádám, 2001*). Adalékanyagok segítségével többek között az élelmiszeriparban struktúráképző segédanyagként, illetve kozmetikumokban (haj, bőr kozmetikumok) is felhasználhatják (*Hegedűs et al., 1998*). Az előbbi felsorolásból is látható hogy az eddig hulladékként kezelt baromfiiparban melléktermékként keletkező toll számos módon hasznosítható, és kell, hogy hasznosítsuk. Dolgozatommal is szeretnék hozzájárulni e terület fejlődéséhez és a témához kapcsolódó információk bővítéséhez.

A biogázképződés szempontjából a legfontosabb három fő vegyületcsoport a szénhidrátok, fehérjék, és a zsírok (*Bánhegyi, 1993*). Az 5. táblázatban mutatom be a szerves vegyületekből nyerhető metán mennyiségét számos szerzőtől, százalékos és liter/kg szerves anyag arányban.

5. táblázat. Különböző szerves vegyületek elméleti metánhozama és –koncentrációja

Megnevezés	Metántartalom (CH ₄)		Gázkihozatal		Elméleti CH ₄ /CO ₂ összetétel	Elméleti biogáz hozam		Metán- tartalom	Biogáz hozam	Metán- tartalom	Biogáz hozam
	CH ₄ %	l/kg szerv.a anyag	CH ₄ %	l/kg szerv. anyag	CH ₄ %	CO ₂ %	l/kg szerves anyag	CH ₄ %	m ³ /kg	CH ₄ %	l/kg szerv. anyag
Szénhidrátok	50	886	50	790	50	50	750	50	0,747	50	900
Zsírok	70	1535	68	1250	72	28	1390	68	1,250	67	1700
Fehérjék	84	587	71	700	60	40	800	71	0,7	70	700
Forrás:	Hawkes, D. L. Polytechnik of Wales, 1980 in Kissné, 1983		Gruber, 2007, Kleemann és Meliß, 1993		VDI, 2006 nyomán			Fuchs et al., 2009		Alexa, 2008	

Az elméleti biogáz és metán-kihozatalt kémiai egyenlet alapján (95%-os pontosság) *Buswell és Mueller* (1952) határozták meg:



Ahol u, a, b: Atomok és elemek száma.

A különböző szerves anyagokból nyerhető biogáz l/kg, illetve m³/kg száraz- és szervesanyag-tartalomra vontakoztatott mennyiségét számos szerző vizsgálta, melyek közül a 25

legfontosabb alapanyag gázhozam adatait a 2. *mellékletben* foglaltam össze. A sertés- és baromfitrágyából hozható ki megfelelő technológiai felkészültség mellett a legnagyobb biogáz-mennyiség. Ugyanakkor jelentős a kukoricaszárból, nyúltrágyából (380-464 m³/t) és szennyvíziszapból, csekély a juh- és istállótrágyából kitermelhető biogáz mennyisége.

2.4.2. Biogázhozamot befolyásoló tényezők

Kacz és Neményi (1998) szerint a szerves anyagból kinyerhető metángáz mennyisége függ a kiindulási szerves anyag összetételétől, a biogáz-erjesztő műszaki-technikai színvonalától, az alkalmazott technológiától, a szárazanyag-tartalomtól, a hőmérséklettől. Az anaerob fermentáció feltételeit és befolyásoló tényezőit számos szerző határozta meg, melyek mellett feltüntettem az optimálisnak tartott tartományt is (6. táblázat).

6. táblázat. A biogáz előállítás feltételei

Sorsz.	Biogáz előállítás feltételei	Forrás:
1.	oxigénmentes (anaerob) környezet	Graf, 1999; Schulz et al., 1982
2.	kémhatás: - 6,5-7,5 - 6,5-8,1 - 6,5-8,5 - 7-7,6 - 7-8,5	Deublein, 2008 Graf, 1999 Bánhegyi, 1993; Bagi, 2007 Kaltwasser, 1983 Bai, 2007
3.	állandó és kiegyenlített hőmérséklet szükséges: - mezofil: 32-43 °C - termofil: 50-58 °C	Kaltwasser, 1983; Bánhegyi, 1993; Deublein, 2008
4.	a különböző tápelemek (C, N, P) megfelelő aránya: - C/N arány: 20-30:1 - C/N/P nem hidrolizált anyag: 80-250:5:1 - C/N/P illó zsírsavak: 330:5:1 - C/N/P/S arány: 500:15:5:3 - C/N/P/S arány: 600:15:5:1	Karpenstein-Machen, 2005; Parkin és Owen, 1986; Malik et al., 1987; Bardiya és Gaur, 1997. Fuchs et al., 2009 Fuchs et al., 2009 Deublein, 2008 Weiland, 2001
5.	mikroelemek: Ni, Co, Mo, Zn, Mn, Cr mikroelemek: Ni, Co, Mo, Se	Fuchs et al., 2009 Deublein, 2008
6.	toxikus (mérgező) vegyületek (H ₂ S/HS, NH ₃ /NH ₄ , O ₂)	Kaltschmitt és Hartmann, 2001
7.	tartózkodási idő biztosítása (elegendő térfogat)	Gruber, 2007; Kárpáti, 2002
8.	- 50% < víztartalom - 30% > szárazanyag-tartalom	Bagi, 2007 Deublein, 2008
9.	biodegradálható szerves anyagban gazdag környezet	Van der Berg és Kennedy, 1983; Kovács és Bagi, 2007; Yadvika et al., 2004
10.	a szerves biomassza azonos időben, azonos mennyiségben és minőségben történő betáplálása	Petis, 2004; 2007
11.	megfelelő keverés biztosítása, minél nagyobb felület a baktériumok számára	Angelidaki és Sanders, 2004; Kárpáti, 2002.

A biogáz üzemben bizonyos a paraméterek - így főleg pH, hőmérséklet, szervesanyag-terhelés mértéke - vezérelése és ellenőrzése elengedhetetlen. Drasztikus változásuk hátrányosan befolyásolja a biogáz-termelést. Ezeket a paramétereket kívánatos tartományban belül kell működtetni, ill. tartani ahhoz, hogy a biogáz üzem hatékonyan tudjon működni (*Yadvika et. al, 2004*). *Bai* (2007) az alapanyaggal szemben támasztott követelményeket a nedves eljárásnál alap és kiegészítő követelményekre osztotta fel. Az alapkövetelmények közé a homogenitást, a magas szervesanyag-tartalmat, a szivattyúzhatóságot és a szárazanyag tartalmat (10% alatt), és az alapanyagban levő szárazanyag részek méretét (lehetőleg 5 mm alatt) sorolta. Kiegészítő követelményként a kémhatást (pH) és a C/N arányt említette meg. *Karpenstein-Machen* (2005) a hidrolízis és a metántermelés fázisára is külön határértékeket határozott meg (7. táblázat).

7. táblázat. Az anaerob fermentáció előfeltételei

Befolyásoló tényezők	Hidrolízis	Metántermelés
Hőmérséklet	25-30°C	Mezofil: 32-42°C Termofil: 50-58°C
pH-érték	5,2-6,3	6,7-7,5
C/N érték	10-45	20-30
Szárazanyag-tartalom	< 40%	< 30%

Forrás: *Karpenstein-Machen, 2005 nyomán*

Potenciálisan toxikus anyagok

A nehézfémek legtöbb anaerob mikroorganizmus fajtára már kis koncentrációjuknál is toxikusak. Ennek ellenére az anaerob reaktorokban nem jelentenek különösebb veszélyt, mivel csak oldott formában jelentkeznek a toxicitásuk (*Kárpáti, 2002*). A potenciálisan toxikus anyagok (cink, réz, nikkel vagy higanyok, peszticidek vagy detergensok) jelenléte a reaktorban a gáztermelés lelassulását, vagy leállítását okozhatják (3. melléklet, *Kaltschmitt és Hartmann, 2001*).

A biogáztermelést más folyamatok is károsan befolyásolják, így pl. a magas kén-tartalmú aminosavakat, - melyek pl. vágóhídi hulladékokból származhatnak, így többek között az általunk vizsgált baromfi tollból- a szulfátredukáló mikroorganizmusok hidrogén-szulfátra bontják le (*Wenzel 2002*). Ha az oldott szulfidok koncentrációja meghaladja a 200 mg/l értéket, a metanogén baktériumok tevékenysége jelentősen lelassul, és a folyamat gyakorlatilag leállhat (*Lawrence és McCarty, 1964*). A folyamatnak két hátránya van. Egyrészt a reakció hidrogént használ. Ami miatt a szulfátredukáló baktériumok közvetlen versengésben vannak a metanogén baktériumokkal, melyek szintén hidrogént, illetve szén-

dioxidot használnak a metán előállításához (Wenzel 2002). Másrészt a hidrogén-szulfid toxikus gáz, mely nemcsak az emberek egészségére káros, hanem korrodálja a biogázüzem gázmotorját, megrövidítve ezzel élettartamát (Schneider et al., 2002). Emellett rontja a biogáz minőségét, így jelentős költségnövelő tényező.

Amennyiben az erjesztésre kerülő anyag nitrogénben gazdag, úgy erőteljes ammonifikáció bontakozik ki, ami káros a biogáz-képződés folyamatára (Pesti és Gazdag, 2005). Az ammónia a rothasztóban a fehérjék deaminálása révén gyorsan keletkezik. A szabad ammóniát sokkal toxikusabbnak találták, mint az ammónium iont, így az ammónia toxicitása is a rendszer kémhatásának függvénye. 7 fölötti pH-nál jelentkezhet ez a gyakorlatban (Van Velsen, 1979).

Üzemeltetési feltételek:

1. Hidraulikus tartózkodási idő

A hidraulikus tartózkodási idő (HTI) az az időtartam, amíg az erjesztendő alapanyagok a fermentorban tartózkodnak, helytelen tápanyag összetétel esetén ez nem kívánt mértékben megnövekedhet (Gruber, 2007). A hidraulikus tartózkodási idő befolyásolja a biológiai lebomlás, és metántermelés sebességét. Más oldalról ugyanezt a reaktorban biztosított környezet, hőmérséklet, szilárd anyag koncentráció és a szerves anyagok részaránya is befolyásolja. A gyakorlatban azt javasolják, hogy az átlagos tartózkodási idő a kritikus mikroorganizmusok (metanogének) generációs idejének legalább a kétszerese legyen (Kárpáti, 2002).

2. Állandó alapanyagbázis biztosítása

A technológiai, műszaki paraméterek ellenőrzése és fenntartása (állandó hőmérséklet, keverési sebesség, intenzitás, stb.) jóval egyszerűbb, mint a nyersanyagok folyamatos minőségi kontrollja. A biogáz-termelés folyamata során képződő biogáz mennyisége és összetétele így főleg a betáplált szerves anyagok mennyiségétől és minőségétől függ (O'Sullivan, 1997; I₁₉). Ez a biztosítéka a kiegyensúlyozott mikrobiológiai tevékenységnek (I₁₉). A növényi alapanyagok nitrogénben szegények, ellenben magas emészthető szénhidrát-tartalommal rendelkeznek (O'Sullivan, 1997). A silókukorica esetében ez 290 g/kg-ot jelent (I₂). Jól hasznosíthatók a C/N arány beállításánál és alapvető fontossággal bírnak a gázkihozatal szempontjából. A frissen vágott zöld növényi részek bomlása gyorsabban megy végbe, mint a magas cellulóz-, esetenként lignin-tartalmú növényi melléktermékeké. Szalma, pelyva, fűfélék hozzáadása szűkíti a C/N arányt, és ezáltal növeli a gázkihozataalt (O'Sullivan,

1997). A fűfélék alkalmazásával fokozható a fajlagosan előállítható metángáz mennyisége (m^3/kg), így az energiatermelés foka meghaladja az általánosan alkalmazott szennyvíziszapokból és hígtrágyákból kinyerhető mennyiséget (Kutasi, 2007). Az állati eredetű hulladékok (trágya, hígtrágya, szennyvíz, vágóhídi hulladék) nitrogénben gazdagok (I_{20}), melyek közül fontos fermentálási alapanyag a szarvasmarha trágya, hiszen nagy szervesanyag-tartalom, a biogáz-előállítás szempontjából előnyös C/N arány, jelentős mikroba-, gyommag- és parazita-mennyiség és nagy gázkihozatal jellemzi (Sembery és Tóth, 2004). A sertés hígtrágya - nagy C/N aránya miatt - a biogáz gyártásnak kevésbé alkalmas nyersanyaga. A húslé, melyet a vágóhídi hulladékok (pl. bendő, gyomor, egyéb belső szervek, vér) sterilizálásával (130°C , 10 perc) állítanak elő, vizsgálataink szerint magas biogáz-potenciállal jellemezhető. Edström et al. (2003) szerint a vágóhídi hulladékból származó teljes biogáz potenciál értéke 1300 MJ/szarvasmarha és 140 MJ/sertés esetében.

3. Keverés

Nagyüzemi körülmények között a fermentor tartalmának mozgatására, keverésére is szükség van, mert e nélkül kedvezőtlenül ható rétegződés megy végbe (Pesti és Gazdag, 2005). A reaktor megfelelő keverésének a feladata a lebontás sebességét befolyásoló paraméterek (mikroorganizmus koncentráció, tápanyag koncentráció, pH, hőmérséklet) kiegyenlítése a reaktorban. A keverés legfőbb kedvező hatásai:

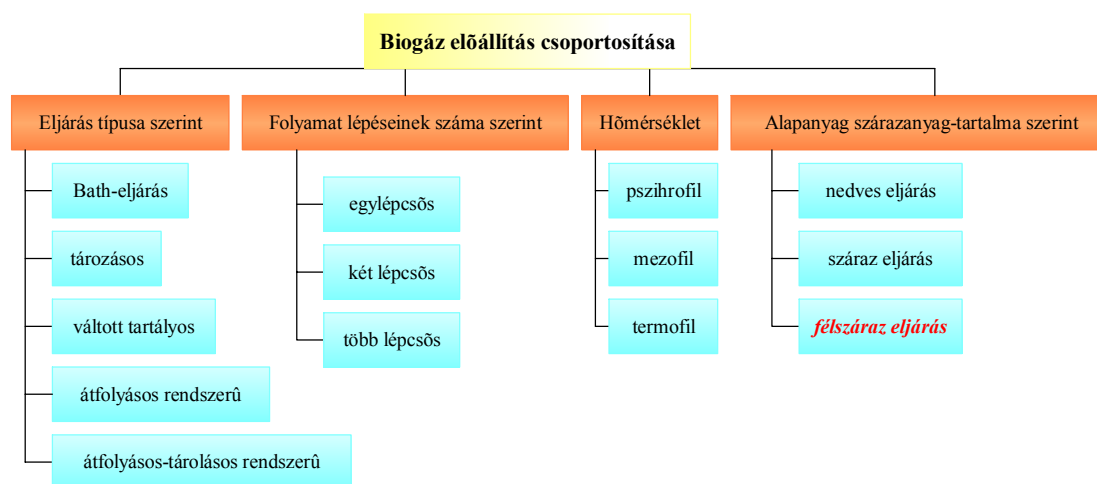
- hőmérséklet-különbségek kiegyenlítése a reaktortérben, egyidejűleg homogén kémiai és fizikai körülmények biztosításával,
- adaptálódott biomassza és a speciális, egyedileg alkalmazott alapanyagok, pufferek megfelelő összekeverése,
- közti termékek és mindenféle toxikus nyersanyag megfelelő homogenizálása az inhibíció minimalizálása érdekében,
- felületen úszó réteg keletkezésének, valamint a nehezebb részek kiüledésének megakadályozása a rothasztóban (Kárpáti, 2002).

2.4.3. A biogáz-termelési technológiák csoportosítása

A biogáz hasznosítására illetve előállítására több eljárás alakult ki. Az eljárások mindegyikének közös jellemzője, hogy középpontjában kizárólag a biogáz-termelés áll; ennek mennyiségi és minőségi jellemzőin keresztül értékelik, minősítik magát az eljárást, a projektet. A bioreaktor egy olyan magasszintű (csúcstechnológia) technológiai megoldást képvisel, mely zárt rendszerben képes a szükséges és elégséges feltételeket biztosítani és

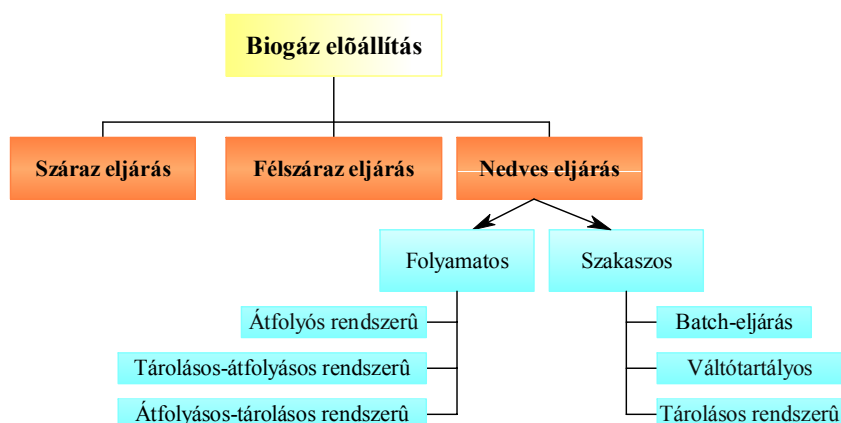
ehhez kapcsolatosan szabályozni és irányítani a biológiai anyagrendszerben a gázképződést meghatározó folyamatokat (Sinóros-Szabó et al., 2005). A biogáz képződése során levegőmentes anaerob körülmények között a biológiailag degradálható szerves anyagok alkotó elemeikre bomlanak, a folyamat eredményeként 50%, esetenként 75% metánt, 25-50% szén-dioxidot és egyéb gázokat tartalmazó gázkeverék képződik (Mézes, 2007). A biogáz metán-tartalma hő- és/vagy villamos energiaként, esetleg bioüzemanyagként hasznosítható, míg a végtermék, az ún. „biotrágya” szerves trágyaként, öntözésre, vagy talajjavító anyagként alkalmazható (Kovács, 2007; Petis, 2007; Bíró et al., 2008).

A következőekben a biogáz-előállítási eljárások csoportosításának lehetőségeit tárgyalom. A Bayerisches Landesamt für Umwelt (2004) a biogáz fermentálást az eljárás típusa, a folyamat lépéseinek száma, alkalmazott hőmérséklet és a szárazanyag-tartalom szerint csoportosította, melyet, a Barótfi (2000) által leírt félszáraz eljárással kiegészítve teljes körű képet ad a biogáz előállítás típusairól (5. ábra)



5. ábra. A biogáz fermentálás csoportosításának kritériumai (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2004; Barótfi, 2000 nyomán)

Klein és Winter (2000) és Rilling (1994) a nedves eljárást további típusokra bontotta technológiai szempontok szerint (6. ábra).



6. ábra. A biogáz előállítás típusai (Klein és Winter, 2000; Rilling 1994 nyomán)

Az alapanyag szárazanyag-tartalmát alapul véve a biogáz előállítás technológiáját Barótfi (1998) három csoportra osztotta:

- nedves: max. 15%-os Sza.%,
- félszáras: 15 – 30%-os Sza.%,
- és száraz: 30 - 35%-os Sza.% eljárásokra.

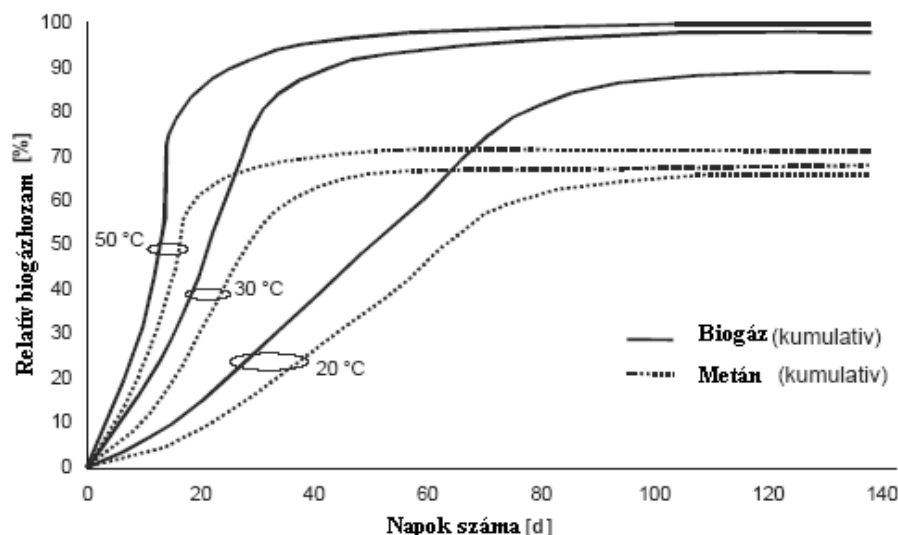
Az utóbbi években figyelhető meg a 30%-nál magasabb szárazanyag-tartalmú szilárd biomasszát felhasználó száraz eljárás megjelenése hazánkban (4. melléklet), (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2004). Ez utóbbiakat elsősorban az állattenyésztéssel nem foglalkozó gazdaságok részére fejlesztették ki. A száraz eljárásnál fontos megemlíteni az ún. második generációs biogáz előállítási fejlesztéseket, melyeknél a nagy cellulóztartalmú melléktermékek kierjesztése hatékonyabban és gyorsabban megoldható, mert a cellulóz lebontását nagy nyomáson és magas hőmérsékleten, vagy enzimek segítségével végzik (Kacz, 2007). A hőmérséklettől függően a szerzők három hőmérsékleti tartományt különböztetnek meg (8. táblázat), ahol az eltérő hőmérsékleteken különböző baktériumtörzsek aktívak.

8. táblázat. A baktériumok hőmérséklet igénye

Típus	Hőmérséklet (°C)					
	Minimális	Optimális	Maximális	Optimális	Optimális	Optimális
Pszichrofil	-15	10	20	0-20	<25	<20
Mezofil	5-10	30-37	40-43	30-38	32-42	30-42
Termofil	40	45-65	60-98	45-65	50-57	43-55
Forrás:	Olessák és Szabó (1984)			Barótfi (2000)	Gruber (2007)	Bayerisches Landesamt für Umwelt (2004)

- Pszihrofil: Fűtést nem igénylő eljárás, használata hazánkban nem jellemző az éghajlati feltételek miatt. Alacsony baktérium aktivitás, az alapanyagok hosszú tartózkodási ideje jellemzi. *Olessák és Szabó* (1984) szerint ez 60 napra, a *Bayerisches Landesamt für Umwelt* (2004) 70-80 napra tehető.
- Mezofil: A leggyakrabban használt hőmérsékleti tartomány. *Olessák és Szabó* (1984) alapján 25 +/-5 nap, míg a *Bayerisches Landesamt für Umwelt* (2004) szerint 30-40 nap a tartózkodási idő. A viszonylag egyöntetű, könnyebben bomló alapanyagok esetében alkalmazzák.
- Termofil: A baktériumok tevékenysége gyors, tartózkodási idő 15 +/-2 nap. A gáztermelés sebessége a termofil zónában 25-50%-kal nagyobb, mint a mezofil tartományban (*Olessák és Szabó, 1984*). A baktériumok érzékenysége nagyobb. Előnye, hogy a magasabb hőmérséklet miatt a patogén mikroorganizmusok és a férgek nagyobb arányban pusztulnak (*Schulz és Eder, 2005*). Azonban az anaerob bomlás nem exoterm, hanem endoterm folyamat, ezért a lebontandó anyagtömeg melegítésére van szükség, amelynek gazdaságossági hatásai miatt a mezofil lebontás előnyösebb (*Barótfi, 2000*). Másik hátránya, hogy a termofil baktériumok érzékenysége nagyobb (*Eder és Schulz, 2006*).

Baader et al. (1978) is meghatározták az egyes hőmérsékleti tartományokhoz rendelhető tartózkodási időket, melyek alatt az alapanyagok lebomlanak (7. ábra).



7. ábra. Relatív biogázmennyiségek a hőmérséklet és tartózkodási idő függvényében (*Baader et al., 1978 nyomán*).

Bai (2007) és a *Bayerisches Landesamt für Umwelt (2004)* építési mód alapján függőleges (5. melléklet), vízszintes és csőfermentorokat (6. melléklet, 9. táblázat) különböztet meg.

9. táblázat. Fermentorok típusai

Fermentor típusa	1. Csőfermentor vagy erjesztőcsatorna	Hosszan elnyúló, szögletes, beton
	2. Vízszintes fekvő tank	Acéltartályok, pl. használt olajtank
	3. Függőleges körtartály	Siló betonból vagy acélból

Forrás: *I₇*

Napjainkban jellemzően az előbbieket használják, mert a keverésük jól megoldható és talajszint alá is telepíthetők, ami hidegebb éghajlatú vidékeken egyszerűbb és olcsóbb módszer a fermentorok fogyasztásának csökkentésére. A vízszintes berendezések alkalmazását a kedvezőtlen (sziklás, talajvizes) talajviszonyok indokolhatják. A csőfermentorok jellegzetessége, hogy egy térben található az erjesztő és a gáztároló, általában kisebb tömegű és jól szállítható (*Bai, 2007*). *Gruber (2007)* működési mód szerint, azaz az alapanyagok feladása és kiürítése alapján két üzemeltetési típust különítettek el (10. táblázat). Hozzáfügték, hogy előfordul a gyakorlatban ezek kombinációja is.

10. táblázat. Biogáz üzem típusai az alapanyag feladása szerint

Üzemeltetés típusa	1. Folyamatos üzemű	Alapanyagok azonos mennyiségű napi beadagolása és kitárolása
	2. Batch-üzemű	A tartályok teljes feltöltése és kiürítése

Forrás: *Gruber (2007) nyomán*

A folyamatos eljárás során a híg konzisztenciájú alapanyagot (hígtrágya, szennyvíziszap) folyamatosan vezetik az erjesztőtérbe, ahonnan egy túlfolyón keresztül azonos mennyiségű, de már kierjedt „biotrágya” távozik a rendszerből. A Batch-eljárás jellegzetessége az alapanyag egyszeri betáplálása az erjesztő tartályba. Elsősorban nagy szárazanyag-tartalmú alapanyagok (almos trágya, növényi maradványok) elgázosítására alkalmas (*Bai, 2007*).

Petis (2008) szerint az alapanyag előkészítés típusai a következők lehetnek:

1. Nincs előkezelés
2. Hőkezelés
3. Ultrahangos kezelés
4. Mikrohullámú kezelés
5. Vegyszeres kezelés

A keverés típusa alapján három eljárást lehet megkülönböztetni mechanikus, hidraulikus és pneumatikus keverést (11. táblázat) (I₇).

11. táblázat. A biogáz üzemekben alkalmazott keverők típusai

Keverés típusa	1. mechanikus	Lassú üzemű központi keverőegység
		Gyorsüzemű oldali keverőegység
		Kanalas keverőszerkezet (fekvő csőfermentoroknál)
	2. hidraulikus	Külső pumpa
	3. pneumatikus	Biogáz befúvatás
		A hidraulikus termelésből származó gáznyomás használata

Forrás: I₇

Mezőgazdasági alapanyagokra épülő biogáz üzemek működését tekintve Szij (2005) szerint két főbb üzemtípus terjedt el a gyakorlatban. Egyik a tartályos fermentálás, alacsony fermentorokkal, mely főleg vegyes összetételű hulladékokat használ, nedves biogáz-gyártási technológia jellemzi, a tartályok nagy felületűek, mezofil, termofil, vagy kombinált fermentálási ciklus esetében alkalmazzák (Petis, 2005). Előnye, hogy alacsonyabb beruházási költséget igényel, hátránya alacsonyabb hatásfoka. A másik típus a csőfermentor, mely alacsony lapos csőszerű tartály, főleg termofil hőmérsékleten történik a kezelés, folyamatos üzemben. Előnye nagyon jó hatásfoka, míg hátránya a magas beruházási költsége (Szij, 2005). Az energiafarm koncepció a mezőgazdasági nagyüzemekben jelentkezhet, mint egy új ágazat, mely a többi ágazatra épül, így pl. az állattenyésztés, növénytermesztés melléktermékeire és hulladékaira, melyek költség-hatékony kezelését, ártalmatlanítását oldja meg komplex, egymásra épülő koncepcióval. A felhasznált anyagokból nagyobb értéket képviselő terméket hoz létre (Tóth, 2009). Magyarországon például a Nyírbátori Regionális Biogáz Üzem szolgáltat erre gyakorlatban megvalósult példát.

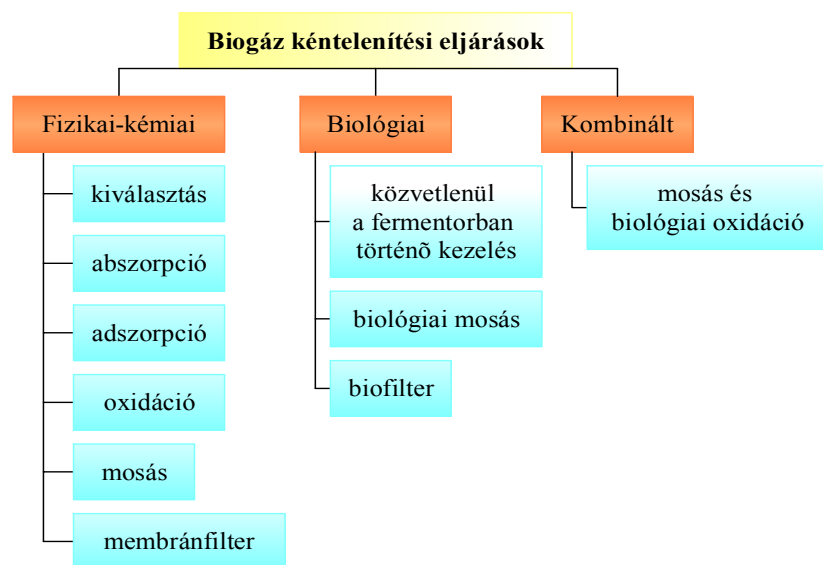
2.4.4. A biogáz tisztítása

A biogáz-tisztítás célja lehet szén-dioxid-leválasztás, víztelenítés, kéntelenítés, ammónium-mentesítés, egyéb szennyezők (pl: sziloxánok) eltávolítása. Gázkazánban történő elégetésnél legtöbb esetben semmilyen tisztítást nem kell végezni. Gázmotorban való hasznosításnál, de főleg a tüzelőanyag-cellában való felhasználásnál viszont komoly gáztisztítási feladatot kell megoldani. Az elektromos áram termelésre legalább 45%, gázfáklában történő elégetésre

minimum 25%, biofilteres tisztításhoz pedig min. 4%-os metán-tartalom szükséges (Bai, 2007). A biogáz földgáz vezetékbe történő betáplálásának is a tisztítás a feltétele, melynek terméke az ún. „biometán” (Ramesohl és Urban, 2006; Krayl, 2006).

A szén-dioxid a biogáz térfogatának mintegy 25-35%-át teszi ki. A nagy koncentrációban jelenlévő CO_2 csökkenti a fűtőértéket és a szükséges kezelés miatt növeli az energiafogyasztást (Hódi, 2006). Barótfi (2000) ezt kiegészíti azzal, hogy a gyakorlatban a széndioxid-eltávolítás egyik módja a mésztejes kezelés. Jelenleg elterjedtebbek külföldön a nyomás nélkül, vagy nyomás alatt üzemeltetett gázmosótornyok. Barótfi (2000) hozzáfűzte, hogy a CO_2 -ot a metántól szerves abszorbensekkel, adszorpciós módszerekkel (fizikai, kémiai) vagy membrános szeparálással, kondenzálással távolítják el. A szén-dioxid-leválasztás során keletkező CO_2 több célra használható. Ilyen például a levéltrágyázás, - amely a zárt térben termesztett növények asszimilációjához szükséges CO_2 -tartalom utánpótlását jelenti - és a szárazjég-előállítás (I_{21}). A szén-dioxid megkötésének másik alternatív, természetes megoldása az algatermesztés, mellyel a szén-dioxid megkötése mellett növényi olaj előállítása is lehetséges (Tredici, 2003).

A nyers biogáz magas nedvesség-tartalma, mely fokozza a korróziós hatást és csökkenti a biogáz fűtőértékét, ezért a gáztárolás előtt szükséges kondenzálással a gáz víztelenítése (Bai, 2007). Eder és Schulz (2006) szerint a biogáz víztelenítése mellett a kéntelenítés a legfontosabb eljárás a korrózió csökkentése érdekében, mellyel Barótfi (2000), majd Hódi (2006) is egyetértett és hozzátette, hogy főleg a szerelvényekben, a gázórában, a fűtőszálakban és motorokban okozhat problémát. A kéntelenítés költsége a kén-tartalom növekedésével aránytalanul növekszik. Petis (2007) megállapította, hogy a gáz kéntartalmát a legolcsóbban a felhasználásra kerülő alapanyag jó összeállításával lehet csökkenteni. Amennyiben az alapanyag nem változtatható a gáz kéntartalmához kell megválasztani a kéntisztítási technológiát. Bayerisches Landesamt für Umwelt (2004) szerint két fő eljárás-típus ismert a kémiai-fizikai és a biológiai, de használatos ezek kombinációja is a gyakorlatban (8. ábra). A kéntelenítési eljárásokat más szakirodalmi források mechanikai, kémiai, abszorpciós és biológiai eljárásokra osztották fel (Thorsten, 2007; I_{18}).



8. ábra. Kintelenítési eljárások *(Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2004 nyomán)*

Mezőgazdasági alapanyag bázisú biogáz üzemeknél tartályba történő levegő-befúvatást alkalmaznak, illetve ha szükséges vashidroxidos/vasoxidos kezelést. Egy internetes forrás *(I₂₁)* arról számolt be, hogy gazdaságilag előnyösebb a biogázt ammóniás oldaton is átvezetni, mivel így ammónium-szulfokarbonát csapódik ki, ami kinyerhető és a „biotrágyában” hasznosítható, mint tápanyagtartalom-növelő komponens.

A nyers biogáz tisztításának, és a biometán előállításának is hatékony módszere a nyomás alatti adszorpció, melynek hazai alkalmazását a drága beruházási és üzemeltetési, licenszvásárlási költségek korlátozzák. Az egyik ilyen eljárás a nyomásváltó adszorpciós módszer (PSA = pressure swing adsorption), mellyel egy ütemben a biogáz kezelését (kénhidrogén, ammónia, szén-dioxid, egyéb szennyezők eltávolítása) és dúsítását is meg lehet valósítani *(Ramesohl és Urban, 2006; Krayl, 2006)*.

A biogáz a fermentorok gázterében kialakuló túlnyomással, csővezetéken keresztül kerül először a gáztisztítóba majd a gázzsákba. Az engedélyezett gáznyomás a fermentorokban 10 mbar, a gáztározóban pedig 5 mbar, ezáltal önmagát préseli át a gáz a fermentorokból a gáztározóba a hűtőgépen keresztül *(Petis, 2007)*. A biogázt kondenzáltatást követően a nyers-gáztartályban tárolják, mely eltérő kiépítettségű, méretű és alakú lehet *(Barótfi, 2000)*.

2.4.5. Biogáz felhasználásának lehetőségei

Petis (2008) a biogáz hasznosítás lehetőségeit három fő csoportba sorolta: Közvetlen hőtermelés, gázmotorokban való felhasználás villamos és hő termelésre és közvetlen értékesítés.

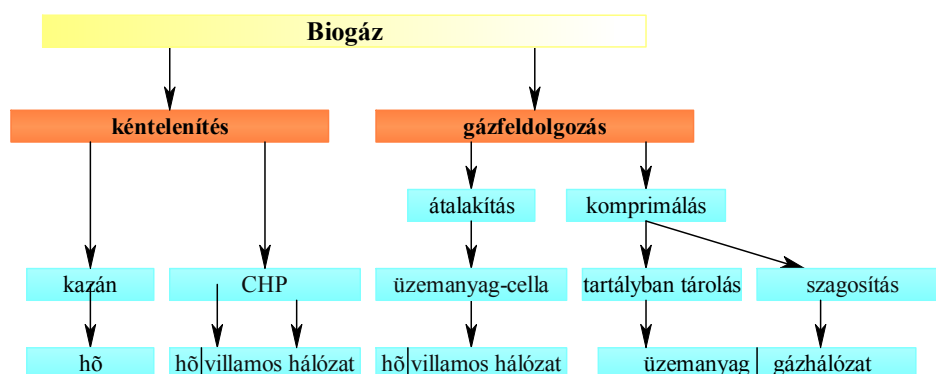
A megtermelt biogáz metán-tartalmának hasznosítási lehetőségei *Petis* (2008) szerint:

- Gázégőkkel történő elégetéssel közvetlenül hőtermelésre.
- Gázmotorokban való felhasználással villamos és hőenergia termelésre.
- Üzemanyagcellás berendezéssel elektromos áramtermelésre.
- Tisztítás után, a gázszolgáltató felé való értékesítésre.

A biogáz metán-tartalmának hasznosítása *Szj* (2005) alapján:

- Hőtermelés gázkazánokban, gázégőkkel
- Kapcsolt villamos áram- és hőtermelés blokkfűtő-erőműben (gázmotor, generátor, hőcserélő)
- Motorhajtó anyag: Széndioxid leválasztás, tisztítás (biometán)
- Betáplálás földgázvezetékbe: Széndioxid leválasztás, tisztítás (I_6).

Az *IEA Bioenergy* (2006) a villamos- és hőenergia előállítását írta le, mint legfőbb hasznosítási módot (9. ábra).



9. ábra. A biogázok és földgázok eltérő összetételéből adódó hatások elemzése (*IEA Bioenergy*, 2006 (in. *Szunyog*, 2008))

A biogáz összetétele és fűtőértéke nagymértékben függ a kiindulási szerves anyagoktól és a technológiától. A biogáz fűtőértékéről eltérő adatok láttak napvilágot: *Kovács* (2005), - aki szerint a biogáz értékes energiahordozó - 23 MJ/m^3 értéket adott meg, mellyel *Bai* (2007) is egyetértett, míg *Pesti és Gazdag* (2005) ennél alacsonyabb 21 MJ/m^3 -es adatot közölt, gyulladási hőfokát $650\text{-}750^\circ\text{C}$ -ban, sűrűségét $1,2 \text{ g/l}$ -ben, kritikus nyomását $75\text{-}89$ bárban határozta meg. *Kacz és Neményi* (1998) a fűtőértékre $21,5\text{-}24,7 \text{ MJ/m}^3$ közötti szélsőértékeket határoztak meg, hasonló $20\text{-}24 \text{ MJ/m}^3$ közötti értékeket publikált *iff. Sinóros-Szabó és Maniak* (2005), míg egy internetes forrás szerint a mezőgazdasági hulladékból, ipari hulladékból,

illetve kommunális hulladékból előállítható mintegy 60% metánt tartalmazó biogáz fűtőértéke 24-29 MJ/m³ között változik (*I₁₇*).

A villamos energiáról szóló 2001. évi CX. törvény biztosítja a megújuló erőforrásokból megtermelt energia kötelező átvételét, valamint szabályozza annak módját. A törvény meghatározza a megújuló energiaforrásokból származó elektromos áram minimális átvételi árát. Ennek értéke minden év január 1-jén az előző évi, KSH által közzétett fogyasztói árindex-változással azonos mértékben növekszik 2010-ig (*Fuchsz, 2006*). Az 56/2002. (XII. 29.) GKM rendelet az átvételi kötelezettség alá eső villamos energia átvételének szabályiról és árainak megállapításáról szolt – ez többször módosult, többek között a 112/2005. (XII. 23.) GKM rendelet által (12. táblázat).

12. táblázat. Értékesítésre termelt villamos energia jogszabályi átvételi ára

Évek:	2007	2008	2009	2010
Mértékegység:	Ft/kWh			
Csúcsidőszakban	27,06	29,56	31,1-31,4	32,10
Völgyidőszakban	23,83	26,46	27,9-28,1	28,72
Mélyvölgy időszakban	9,72	10,8	11,4-11,5	11,72

Forrás: 112/2005. (XII. 23.) GKM rendelet; 389/2007. (XII. 23.) Korm. rendelet; 287/2008. (XI. 28.) Korm. rendelet; *Petis, 2008a*

A villamos energiáról szóló 2007. évi LXXXVI. törvénynek megfelelően kalkulálják az adott évre vonatkozó átvételi kötelezettség alá eső, megújuló energiaforrásból előállított villamos energia legmagasabb induló átvételi árát (389/2007. (XII. 23.) Korm. rendelet). A környező országokban a biogázból termelt zöldáram átvételi ára jelentősen magasabb, mint itthon (*Somosné, 2010*).

Általában a biogáz-gyártás során keletkezett hő kb. 20-30%-át a fermentorok fűtésére fordítják. A fennmaradó hőmennyiség többi része felhasználható a mezőgazdasági üzem istállóinak, melegágyak, szárítók, de természetesen a távhőfűtő-hálózaton keresztül az üzemtől távolabb fekvő épületek, lakások fűtésére is (*Petis, 2008*). *Joos* (2002) a korszerű gázmotorok működése esetén kapcsolt termelésnél 91%-os összhatásfokot írt le, mely 32%-a elektromos energiából, 59%-a hőenergiából származott. *Petis* (2008a) szerint a legolcsóbb és leggazdaságosabb hasznosítás, ha közvetlenül hőtermelésre használjuk a biogázt, mivel a teljes értékű tisztítás nagyon drága, és a villamos energiává való átalakítás során képződő hőenergia hasznosítása a legtöbb esetben nincs megoldva, ezért nagy az üzemi veszteség.

Magyarországon a biogáz tisztításával keletkező biometán előállítására jelenleg még nincs gyakorlati példa, ugyanakkor *Sjöholm* (2008) szerint Svédországban és Németországban már

több városban létesítettek biometán-kutakat, főleg a helyi közlekedés, így a buszok, taxik és Svédországban egy vonat (Amanda) számára is. Svédországban, 2007-ben 779 autóbusz működött biogázzal, több mint 4500 gépkocsi használta a benzin és biogáz vagy földgáz keverékét (*EK Bizottság, 2007*). Hazánkban többek között a SzTE TTIK Biotechnológia Tanszékének és az MTA Szegedi Biológiai Központ kutatói az anaerob fermentációban résztvevő mikrobiológiai konzorciumok életébe avatkoztak be (hidrogén-képződés sebessége). Sikeresen növelték a biogáz-képződés hatásfokát laboratóriumi kísérleti fermentorokban, majd üzemi körülmények között: 15–10000 m³ hígtrágya-kezelő rendszerben, 2500 m³ szennyvíziszap-rothasztóban és Szeged város kommunális szemétlérakójában (*Kovács, 2005*).

2.4.6. A biogáz gyártás környezeti hatásai

A biogáz előállításának számos kedvező környezetre gyakorolt hatása van, ha összevetjük a fosszilis energiahordozókkal. *Pesti és Gazdag* (2005) szerint 28 m³ biogáz energia-tartalma 17 m³ természetes gázéval vagy 24 liter gázolinéval, ill. 21 liter dízelolajéval egyenértékű. A 13. táblázat az egyes energiahordozók gázemisszióját és fűtőértékét mutatja. A fermentációs rendszerben előállított biogáz fűtőértéke (19,3 MJ/m³) meghaladja a fa fűtőértékét, és közel azonos a szén fűtőértékével.

13. táblázat. Tüzeléstechnikai emissziók (g/kg)

Emisszió	Szén	Fa	Olaj	Földgáz*
SO ₂	16	0,2496	8,2	0,0272
CO	1,8	2,08	0,82	0,714
NO _x	2,4	1,92	2,87	2,244
CO ₂	1892	1754,08	3036,87	1907,4
Fűtőérték (MJ/kg)	20	16	41-42	34-38

*Az egyes energiahordozókra vonatkozó emissziók (földgáz esetén kg helyett m³)

Forrás: *Mézes et al., 2007*

Braber (1995) és *Shih* (1993) a biogáz technológia lényeges környezetvédelmi előnyét abban látták, hogy csökken az üvegházhatást okozó gázok, azaz a metán, nitrogéndioxid és széndioxid kibocsátása a levegőbe. A 14. táblázat a biogáz felhasználása során „megspórolt”, azaz ki nem bocsátott káros gázok mennyiségét foglalja össze.

14. táblázat. A biogáz felhasználása során „megspórolt” káros gázkibocsátás (g/kg)

Emisszió	Szén	Fa	Olaj	Földgáz
Biogáz/energiahordozó arány (fűtőérték)	0,965	1,206	0,47	0,567
SO ₂	15,44	0,301	3,854	0,0154
CO	1,737	2,509	0,385	0,405
NO _x	2,316	2,32	1,35	1,272
CO ₂	1825,78	2115,42	1427,33	1081,5

Forrás: Mézes et al., 2007

A biogáz/energiahordozó arány mutatja, hogy 1 m³ biogáz, hány kg (földgáz esetében m³) fosszilis energiahordozónak felel meg. A különböző gázok mellett látható értékek a biogáz-egyenértékkel felszorozott mennyiségek. A táblázatból jól látszik, hogy jelentős mennyiségű szén-dioxid kibocsátást kerülhetünk el, ha energiahordozóként biogázt használunk fel. Ez alapján a biogáz használata az üvegházhatás mérsékléséért tett intézkedéseket jelentősen segíti. Látható továbbá az is, hogy a biogázzal közel azonos fűtőértékű szén helyettesítésével 15,44 g/kg kén-dioxid kibocsátása kerülhető el, azonos fűtőérték elérése mellett. A kén és nitrogén vegyületek légtérbe jutásának megakadályozásával csökken a savas ülepedés kialakulásának veszélye.

A fermentációs rendszer használatával az állattartó telepek bűzkibocsátása is csökkenthető, hiszen a fermentációs eljárások, zárt anaerob körülmények között mennek végbe. *Shih* (1993) és *Braber* (1995) leírja, hogy az anaerob fermentálás csökkenti a patogén szervezetek számát, - *Braber* (1995) eredményei szerint egyhónapos termofil fermentáció után elpusztulnak - a szaghatást, illetve kis földterületet igényel. *Mujzer* (1996) megállapította, hogy a biogáz előállítás során a szerves anyagok mintegy 50%-a elbomlik. *Bai* (2007) szerint az eredeti szervesanyag-tartalom kb. 45-55%-a hasznosul. A fermentált maradék sötétbarna színű, szaga az istállótrágyára emlékeztet.

Bai (2007) szerint a megtermelt „biotrágya” konzisztenciája szerint lehet:

- Nedves állapotú, folyékony: 6-10% szárazanyag,
- Félszáraz állapotú, lapátolható: 25-35% szárazanyag, az alapeljárásból származtatva.

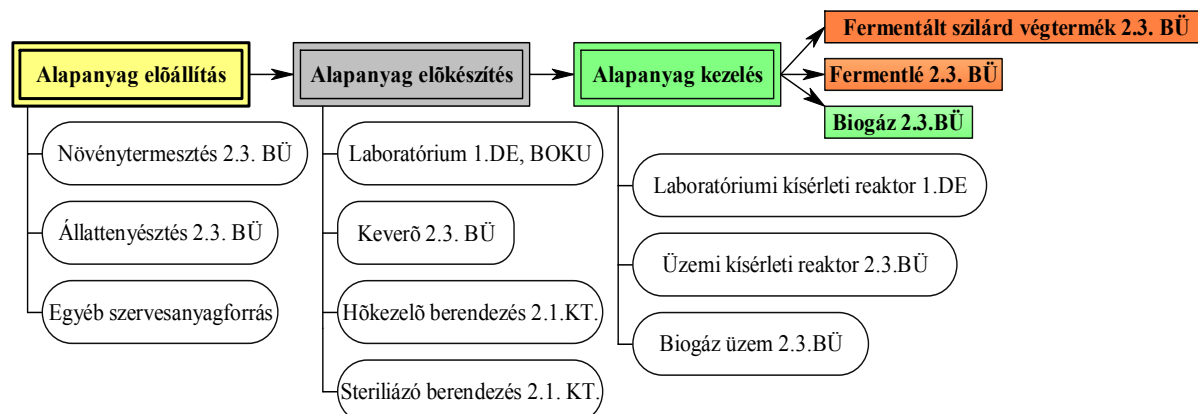
A fermentáció után visszamaradt anyag összetételét tekintve kedvező, mert a benne lévő foszfor és kálium a növények számára könnyen felvehető, metabolizált formában van jelen, illetve csírázásgátló hatása révén a gyomok ellen, mint „zöld szer” alkalmazható (*Mézes et al.*, 2007; 2008). A tápanyag nagyrésze a fermentált anyagban marad, így pl.: értékes nitrogén-tartalom megőrződik, így használata visszaszoríthatja a műtrágya-felhasználást és talajjavító

anyagként is alkalmazható (*Sundradjat, 1990; Vermeulen et al., 1992; Shih, 1993; Salminen et al., 2001*). Az elfolyó anyag savassága csökken, a pH értéke 7-ről 8-ra emelkedik. A környezetszennyező anyagok koncentrációja kevesebb, például a BOI (biológiai oxigénigény) 60-70%-kal, a KOI (kémiai oxigénigény) 50-60%-kal alacsonyabb az anaerob fermentáció után (*Kovács, 2005*). A folyamatban a foszfor- és kálium-tartalom a növények számára könnyen felvehető, metabolizálható állapotba kerül (foszfor: 0,45l, kálium: 0,27l), ezzel együtt a műtrágyagyártáshoz szükséges fosszilis energiahordozók használata is csökken (1 kg N-műtrágya előállításához 1 l fűtőolajra van szükség) (*I₃*).

Petis (2008) alapján a biotrágya hasznosítása lehet közvetlen: nyárfás öntözése, energia ültetvények öntözése; vagy közvetett: szántóterület öntözése (előkezelés, tárolás, szállítás). A fermentorból folyamatosan távozó kezelt végtermék hasznosítható fázisbontás nélkül, vagy fázisbontást követően. Célszerű lehet nagyobb szárazanyag-tartalomra besűríteni, pl. adott esetben fázisbontás, vagy adalékolás útján. Fázisbontás végezhető többek között szeparálással (pl.: IPS lemez szeparátor. A nagy szárazanyag-tartalmú kierjesztett végtermék közvetlenül, vagy tárolás után tengelyen trágyaszóró kocsikkal kiszállítható, és műtrágya helyett, talajjavító anyagként hasznosítható (*Petis, 2007*). *Bai (2007)* hozzáfűzte, hogy emellett deponálható, komposztálható, vagy adalékolva és zsákolva kerti földként értékesíthető. A leválasztott folyékony fázis esetleges átmeneti tárolás után közvetlenül tartálykocsival, vagy csővezetéken keresztül szállítható a területre, ahol a Nitrát direktívában engedélyezett időszakban kiöntözhető. Kijuttatását GPS vezérlésű precíziós célgéppel lehetne hatékonyabban megoldani, mellyel a tápanyag-tartalom ismeretében az adott növénykultúra számára ideális mennyiségű tápanyagot és öntözővizet tudunk biztosítani (*7. melléklet, Tamás, 2010*). Nitrátérzékeny területekre, ahol a fermentlé kijuttatása magas nitrogén-tartalma miatt már nem lehetséges, speciális fermentlé szeparálási, tisztítási technológiákat dolgoztak ki többek között az osztrák (pl. ultraszűrés, fordított ozmózis) (*Drosg, 2010*) és a német (ANAStrip®-eljárás) (*Bauermeister és Meier, 2010*) szakemberek. Emellett speciális, napenergiával és a biogáz hőenergiájával fűtött üvegházban történő szárítással is kezelhető a fermentlé, folyamatos keverés mellett. A szilárd végtermékből különböző talajjavító anyagokat (pl. pellet) gyártanak (*Baumann, 2010*).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A kutatás felépítési vázlatát a biogáz előállítás folyamata alapján tárgyalom (10. ábra).



10. ábra. Kutatási vázlat

Kutatási helyszínek jelmagyarázata (10. ábra):

1. Laboratóriumi kísérletek:

DE = Debreceni Egyetem, AGTC, MÉK, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet* (*korábban: MTK, Víz- és Környezetgazdálkodási Tanszék)

BOKU = Bodenkultur Wien, IFA-Tulln/Bécsi Agrártudományi Egyetem, Agrárbiotechnológiai Kar, Környezetbiotechnológiai Intézet

2. Üzemi kísérletek:

BÜ = Nyírbátori Regionális Biogáz Üzem

KT = Komposztáló telep (Hrsz.: 223/6)

Kutatási feladatok jelmagyarázata:

1. Laboratóriumi kísérletek:

1.1. Baromfi toll fizikai-biológiai előkezelése biogáz célú hasznosításhoz

1.2. Baromfi toll fizikai-kémiai előkezelése biogáz célú hasznosításhoz

1.3. Sertés hígtrágya fermentálása

1.4. Sertés hígtrágya és előkezelt baromfi toll kofermentációja

2. Üzemi kísérletek:

2.1. Baromfi toll üzemi méretű előkezelése

2.2. Sertés hígtrágya üzemi méretű fermentálása

2.3. Biogáz üzem: információbázis kiépítése, alapanyagok összetétele és a biogázhozamok közötti összefüggések vizsgálata, az alapanyagok és a végtermék minőségének összehasonlítása

2.4. Előkezelt baromfi toll alkalmazása a biogáz üzemben.

Az anyag és módszer és eredmények fejezeteket a 10. ábrán bemutatott helyszínek és vizsgálati módszerek szerint tárgyalom.

3.1. A kísérletek és vizsgálatok helyszínei

3.1.1. Laboratóriumi helyszínek bemutatása

A Debreceni Egyetem AMTC MTK Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet (DE) komposztáló és anaerob fermentációs laboratóriumában vizsgáltuk a fermentációs folyamatokat és a vágóhídról származó baromfi toll hővel és mikroorganizmussal történő lebonthatóságát. A baromfi toll előkezelésével kapcsolatos kutatások a Barros-2-2005-0047 (EA_KUTF_05_KEAHUBI) program keretein belül valósult meg.

A baromfi toll termikus és kémiai előkezelhetőségével, elemtartalmának meghatározásával kapcsolatban a Bécsi Agráregyetem (*Bodenkultur für Wien*) kutató-központjában (IFA), Tullnban végeztem vizsgálatokat. A kutatásokat Erasmus program és FVM kutatási programja segítségével a Környezettechnológia Intézet biogáz kutatócsoportjában valósítottam meg.

3.1.2. Üzemi helyszínek bemutatása

A Nyírbátori Regionális Biogáz Üzemet (BÜ) a Bátortrade Kft. 2002-ben építette (Petis, 2007). A regionális üzem egy többfunkciós rendszer, mezőgazdasági tevékenységet folytat és emellett magas metán-tartalommal rendelkező biogázt állít elő (Mézes et al., 2008). A vállalatcsoport 3000 ha saját tulajdonú területen növénytermesztéssel, 5000 ha-on integrációs formában gabona, kukorica és napraforgó termeléssel, 40 ezer tonna szemestermény szárítással, 1500 tonna lucerna szárítással, 9 millió liter tejtermeléssel (Petis, 2007), 3-3,5 millió db brojlercsirke neveléssel, 10 millió db brojlercsirke feldolgozással és értékesítéssel, valamint biogáz előállításal foglalkozik (Petis, 2008). A termelt biogázt a vegyes alapanyagoknál bevált alacsony fermentorokban állítja elő, majd gázmotorokkal hasznosítja, melyekkel villamos- és hőenergiát egyidejűleg állít elő. Az üzem méreteit, technológiáját tekintve világszínvonalú, és egyedi a maga nemében. A biogáz-termelés akkor gazdaságos, ha az alapanyag ellátása a helyben lévő mezőgazdasági és élelmiszeripari hulladékokra és melléktermékekre épül (Petis, 2007). A megvalósult technológia alkalmas növényi és állati eredetű alapanyagok befogadására, többek között környezetvédelmi szempontból kockázatosnak ítélt állati hulladékok feldolgozására is (Bíró et al., 2008). Az üzem egy szarvasmarha telep és egy baromfi-feldolgozó mellé épült, így közvetlenül csővezetéken jut el a hígtrágya és a vágóhídi szennyvíz fermentációs térbe, lecsökkentve ezzel a szállítási költségeket és biztosítva az üzem folyamatos ellátását. A biogáz üzem mivel vegyes alapanyagot használ fel, egymást követően sorba kapcsolva üzemelteti a mezofil és termofil

fermentorokat. A biogáz üzem alapanyag ellátásához 6000 m² falközi silótárolót, egy 100 t/nap kapacitású állati hulladék-feldolgozó üzemet, egy 50.000 t/év kapacitású komposztáló üzemet építettek (Petis, 2005).

A Bátorcoop Szövetkezet *komposztáló telepén (KT)* történt a vágóhídról származó baromfi toll előkezelésének üzemi megvalósítása, mely a biogáz üzem közelében található. A keletkezett előkezelt baromfi toll elszállítása és hasznosítása így gazdaságosan megoldható volt.

3.2. Vizsgálati eszközök és módszerek ismertetése

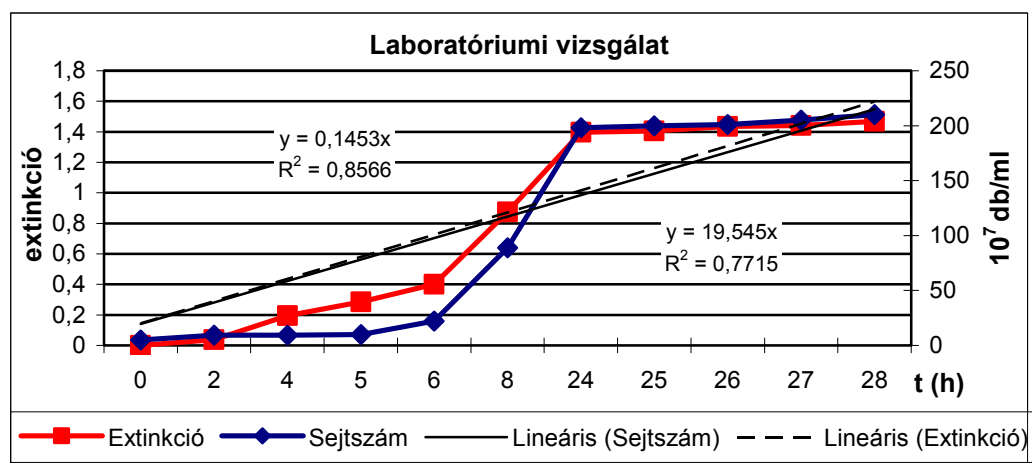
3.2.1. Laboratóriumi vizsgálatok eszközei és alkalmazott módszerei

1. Baromfi toll fizikai és mikrobiológiai előkezelése során alkalmazott eszközök és módszerek (DE)

Az SZTE, TTIK Biotechnológiai Tanszék kutatócsoportja bocsátotta rendelkezésünkre az általuk hidrogén-termelés céljából kitenyésztett (Kovács *et al.*, 2002; Kovács *et al.*, 2000; Kovács *et al.*, 2006), de keratinbontásra is alkalmas *Bacillus licheniformis* KK1-es törzsét kísérletezés céljából. A *Bacillus licheniformis* KK1 szaporítása folyékony élesztőkivonatot tartalmazó LB tápoldaton (Luria-Bertani, összetétel: 10 g tripton, 5 g élesztő, 5 g NaCl), 42°C-os inkubálás mellett történt. Fél literes mérőpohárba kimértem az előre elkészített tápoldatot. A kimért tápoldatot egy Erlenmeyer-lombikba desztillált víz fokozatos adagolása mellett csomómentesre kevertem, 0,5 l-re feltöltöttem, beállítottam a pH-t 7,0-es értékre foszfát-puffer segítségével, majd sterilizáltam (105°C, 30 perc). Az így kapott tápoldatot beoltottam automata pipetta segítségével 1,5-ös extinkciójú, $2,0 \cdot 10^9$ db/cm³ sejtszámú *Bacillus licheniformis* KK1 kultúrából vett oltóanyaggal.

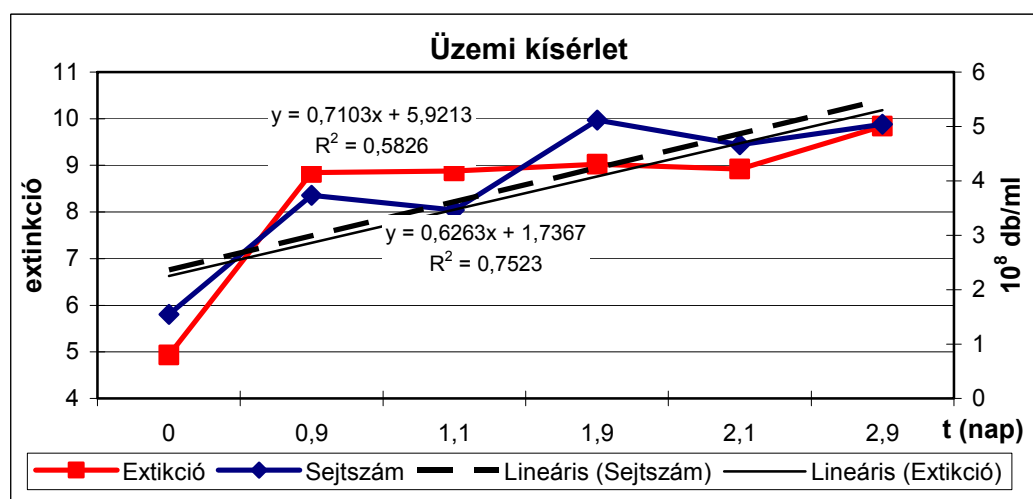
A baromfi toll degradációjának nyomon követésére speciális módszert alkalmaztam. A baromfi toll:víz elegyben oltás előtt, majd oltás után folyamatosan mértem a zavarosságot. A kolloid rendszereknél jóval erősebb a fény szórása (Tyndall-effektus), mint más folyadékoknál, az ilyen anyagok többségénél észlelhető zavarosság (turbiditás) a nagyfokú fényszórás következménye (Kőmives, 2001). Az extinkciót, vagy más néven fény intenzitásának csökkenését Filterphotometer PF-10 típusú fotométerrel mértem 605 nm-es tartományban (mérési pontosság: +/-10 nm). A kísérlet beállítása előtt összefüggést kerestem a baktérium sejtszámnövekedése és a tápoldat zavarossága között. Turbidimetriás sejtszám-meghatározás során a baktérium tenyészetből 2 napon keresztül óránként mintát vettem. Meghatároztam a baktériumkultúra sejtszámát Bürker-kamra segítségével db/ml-ben, illetve az extinkciót

fotométerrel 605 nm-es tartományban. Ezután az extinkció értékekhez tartozó sejtszámokból elkészítettem a kalibrációs görbét (11. ábra).



11. ábra. *Bacillus licheniformis* KK1 extinkció és sejtszám kalibrációs adatai

A kalibrációs görbe segítségével a továbbiakban a tenyészetek extinkciójából tudtam következtetni a sejtszámról, illetve a tollbontás mértékére. A kísérleti beállítások beoltásához 1,5 extinkciójú, $2,0 \cdot 10^9$ db/cm³ sejtszámú baktérium tenyészetet használtam, melyet kísérlet során mikroszkóppal identifikáltam. Az üzemi kísérlet során is elkészítettem a kalibrációs görbét (12. ábra). Az üzemi kísérlet esetében $1,55 \cdot 10^8$ db/ml sejtszámú baktérium kultúrával oltottam be a toll:víz elegyet, előtte megmértem a kezdeti extinkció értéket (4,94).



12. ábra. *Bacillus licheniformis* KK1 extinkció és sejtszám kalibrációs adatai

Előkészítés eszközei és az alkalmazott módszerek:

Mikroszkóp: Leika Strata Lab típusú monokuláris fénymikroszkópot, és Canon Power Shot G2 4 megapixeles digitális fényképezőpet használtam. A baktériumsejt számolása 400 szoros nagyításnál Bürker-kamrában történt. A kapott érték a db/cm³-ben megadható sejtszám (I_{16}).

Toxikus gázemisszió mérése: A baktériumos tollfeltárás folyamán a toxikus gázok esetleges egészségügyi határértéket meghaladó mértékének azonnali jelzése Oldham, MX21 típusú hordozható multigáz érzékelő műszerrel történt. A mérhető gázok lehetnek: éghető gázok (metán, propán, bután, stb.), toxikus gázok (szénmonoxid, hidrogén-szulfid, klór, ammónia, stb.) (ppm) vagy oxigén (%).

Aprítógép, homogenizátor (WARING®, Snijders Analzseer): A speciális rozsdamentes acélból készült 1 liter térfogatú aprítógépet a toll, illetve a bigáz alapanyagok aprításához használtam.

Alapanyag homogenizálás módszere: A célom az volt, hogy a baktériummal előkezelt toll homogenizálási foka megfeleljen a biogáz üzemben történő hidraulikus anyagtovábbításra. A baromfi toll előkezeltése esetében az aprítás nélküli kezeléssorozatok eredményei alapján kiválasztottam a legeredményesebb kezelést, majd ezen kombináció hatékonyságát a toll előzetes aprításával kívántam maximalizálni. Az adott tollmennyiségeket 20, 30 és 40 másodpercig aprítottam. Az alsó és felső frakciót 10 másodpercenként kicseréltem az aprítás egyenletessége érdekében, 40 g tollat homogenizáltam egyszerre. Reprezentatív mintát vettem a felaprított tollból, lemértem 20 db toll hosszúságát, majd 20, 30 és 40 mp-es darálási folyamat után megismételtem. A kapott eredményeket átlagoltam, így megkaptam az aprítás előtti és utáni átlagos tollhosszúságokat. Az aprítás nélküli (0 mp) átlagos tollméret 8 cm volt. 20 mp aprítás után az átlagos tollméret 4,6 cm, 30 másodperces darálás után 4,2 cm, 40 másodperces darálás után pedig 2,7 cm volt, tehát az aprítás megfelelő eredményeket hozott (15. táblázat).

15. táblázat. 70°C-on hőkezelt, aprított, 1:3-as toll:víz arányú, 1%-os baktérium kultúrával kezelt baromfi toll

Paraméterek	Kontroll	0 mp	20 mp	30 mp	40 mp
Átlag	1,21	3,50	3,38	3,17	3,17
Szórás	±0,12	±1,59	±1,81	±1,61	±1,59
Maximum	1,45	6,24	7,11	7,35	7,58
Minimum	1,01	1,16	1,31	1,27	1,42

Száraz- és szervesanyag-tartalom meghatározása: A szárazanyag-tartalmat az ide vonatkozó szabványok alapján (MSZ 318-3:1979) a minta megfelelő homogenitásának biztosítása után 105°C-on, tömegállandóságig történő szárítással, szervesanyag-tartalom esetében pedig LAC L gyártmányú 650°C-on, tömegállandóságig történő égetéssel (MSZ 318-3:1979) határoztam meg.

Hőmérséklet és kémhatás mérése: Az alapanyagok és a végtermék kémhatását Sentron ISFET félvezető szenzoros pH-mérővel (mérési pontosság: $\pm 0,01$ pH, $\pm 0,5^\circ\text{C}$, mérési tartomány: -2-16) mértem. A hőmérsékletét Testo 950 digitális hőmérővel (mérési határ: $0-100^\circ\text{C}$, mérési pontosság: $\pm 0,05^\circ\text{C}$) és Volcraft MS 4 multifunkcionális mérőműszerrel (mérési pontosság: $\pm 0,3^\circ\text{C}$) vizsgáltam.

2. Baromfi toll fizikai és kémiai előkezelésének vizsgálati eszközei, módszerei (BOKU)

Alapanyag homogenizálása: A tollat 0, 40 és 80 másodpercig aprítottam Kenwood gyártmányú speciális rozsdamentes acélból készült 1 liter térfogatú aprítógéppel. Ezt követően megmértem a kapott részek hosszúságát, szélességét és vastagságát (50 db minta) Merox gyártmányú digitális tolómérővel.

Mikrohullámú hőkezelés: A baromfi toll termikus kezelésénél UltraClave HighPerformance Microwave Reaktort (max. 200 bar, 280°C) használtam, mely az easyClave 5 programban megadott beállítások (hőmérséklet, időtartam, nyomás, 50< lehetséges kombináció) szerint végzi el a 3,5 literes reaktortérben az adott anyag hőkezelését (8. melléklet). A hagyományos hőkezeléssel ellentétben a mikrohullámú hőkezelés esetében az anyag egyenletesen, belülről melegszik, jelentéktelen a hőveszteség, mivel nem a környezet, hanem az anyag melegszik teljes térfogatában (László et al., 2005). Az UltraClave feltárási hatékonyságát hagyományos nyomás alatti rendszerrel összehasonlítva a feltárási idő 1/8-ra, míg a feltárási hatékonysága alapanyag fajtánként 12-35%-kal csökken (I_{13}). A baromfi tollat 240°C -on, 45 percig, 100 bar nyomáson (40 bar kezdeti nyomás) hőkezelttem.

Minták előkészítése szén-, nitrogén- és kén-tartalom vizsgálatához: A végtermék oldatfázisának előkészítését Beckman gyártmányú, GS-6 típusú centrifugával 2900 rpm-en 20 percig végeztem, majd a folyékony fázis kipipettázása után az oldatban is megismételtem, majd vizsgáltam a kémiai oxigénigényt 5-,10-szeres, szükség esetén 20-szoros hígítás után. A 0, 40 és 80 percig homogenizált 160°C -on hőkezelt mintáknál $0,45\ \mu\text{m}$ -es filtert (Syringe Filter Nylon) és fecskendőszűrőt, míg az 1M NaOH-oldattal elegyített, 0, 40 és 80 percig homogenizált, 130 és 160°C -on hőkezelt toll esetében 12 mm-es filtert (Sartorius), Duran szívópalackot, szűrőtulipánt, gumikónuszt és vízszugárszivattyút alkalmaztam. Ezt követően a mintákat eppendorfban GS-15 típusú centrifugával 12500 rpm-en 30 percig centrifugáltam.

A végtermék oldat-fázisában a kén-tartalmat ICP-vel (ULTIMA) határoztam meg előkezelés után (9. melléklet). Az oldatot az ICP-vel történő kén-meghatározáshoz a fent leírt módon kezelttem, majd mikrohullámú hőkezelést alkalmaztam, ezután papír-filterrel leszűrtem az oldatot, desztillált vízzel felhígítottam 45 ml-re, majd 5 ml HCl-ot adtam hozzá. Az eredeti

tollmintából szárítás és megfelelő homogenizálás után tudtam a szén- és nitrogén-tartalmat meghatározni. Kén esetében ezt hőkezeléssel egészítettem ki, majd a mintát redős 3hw típusú szűrőpapíron leszűrtem, ezután HCl-dal kezeltem az analízás előtt.

Szén-tartalom meghatározása (KOI) kétféle módszerrel történt. Az eredeti tollmintát a vizsgálat előtt szárítottam, homogenizáltam a pontosabb mérési eredmények érdekében, majd Behrotest TRS 200 készülékkel hőkezeltam. A kémiai oxigén igényt kénsav, majd 3 csepp ferroin indikátor hozzáadása után titrálással (665 Dosimat, titrálószer: 0,06M Ammónium-vas(II)szulfát-oldat, titrálás vörös színig) határoztam meg.

A végtermékben az oldatba beoldódott szén mennyiségét pedig KOI (1000-10000 ml/l) vízanalitikai vonalkóddal ellátott küvetta-teszt segítségével, hőkezelés után (15 perc, 150°C) (HT 2005) spektrofotométerrel (Hach-Lange VIS, DR 2800) határoztam meg.

A nitrogén-tartalom meghatározása: A teljes nitrogén-tartalom meghatározása Kjeldahl-módszerrel történt. Az eredeti mintánál szárítás és homogenizálás után, míg a végtermék hígfázisában a fent leírtaknak megfelelően. Üvegcsőbe egy darab 1000 Kjeltab CT tablettát helyeztem, majd belemértem a mintát Satorius Talent, 0,001 felbontású analitikai mérleggel, hozzáadtam 20 ml kénsavat (98%), majd Gerhardt gyártmányú Kjeldatherm KB 40S típusú roncsolóblokkal 4,5 h-t hőkezeltam, mely 15 M NaOH-ot használt (10. melléklet). A TR vezérlőegységgel felszerelt roncsolón digitálisan állítható a roncsolási hőmérséklet, és 430°C-ig 1% pontossággal dolgozik.

Kén-tartalom meghatározása: Az eredeti baromfi tollban a szárított, homogenizált mintákból, míg a végtermék oldat-fázisában a kén-tartalmat mikrohullámú hőkezelés, HCl-os roncsolás és recés szűrő alkalmazása után ICP segítségével határoztam meg.

Abszorpció meghatározása fotométerrel: Perkin Elemer gyártmányú, Spektrometer Lambda típusú UV/VIS spektrométerrel (Pontosság: +/-0,1 nm), 605 nm-en határoztam meg a végtermék oldat-fázisának abszorpcióját. A 605 nm-es tartományt az összevethetőség érdekében alkalmaztam, mivel az ezt megelőző kísérletekben a mikrobiológiai feltárás során a toll bomlásának mértékét ezen nm-en követtem nyomon.

A száraz- és szervesanyag-tartalom vizsgálatát az MSZ 318-3:1979 és az MSZ 318-3:1979 alapján végeztem

3. Biogáz előállítás laboratóriumi modellreaktorokban (DE)

A Víz- és Környezetgazdálkodási Intézetben található hőszigetelt termosztát szekrényben (4 db) 4 darab 6 l térfogatú rozsdamentes acéltartály képezte a fermentációs tereket (13. ábra). A kísérlet légköri nyomáson, anaerob körülmények között zajlott. A reaktorból távozó gázelegy

esetleges szerves sav-tartalmának elnyelésére deszt.vízzel töltött gázmosó palackokat használtam. Ezt követően hűtőberendezéssel kondenzáltattam a gázt. A gázmosó és a hűtőberendezés után a gázkeverék összetételének meghatározása Fisher-Rosemount NGA 2000 típusú (CH_4 , CO_2 , O_2) gáz-analizátorral történt.

**Bioreaktor kismodell kísérletek:
Gázanalizátorral ellátott bioreaktor**

**Reaktortér (fűtés,
pH, hőmérséklet ellenőrzés)**

**Biogáz mosása (biztonsági gázmosó
palack), szűrése (szénszűrő) és hűtése
a mérési kör előtt**

**Biogáz összetételének
és mennyiségének mérése**



13. ábra. Anaerob fermentálás kísérleti bioreaktorokban (*Saját forrás*)

A kénhidrogén és az ammónia (H_2S , NH_3) mérését MX42A típusú gázelemzővel végeztem, mely előtt nem szükséges a gázmosó és a hűtőberendezést alkalmazni. A Fisher-Rosemount NGA 2000 típusú precíziós gázelemző a gázkeverék összetételét határozta meg folyamatos (11. melléklet), az Oldham gyártmányú, MX42A típusú szakaszos üzemmódban (12. melléklet). A Fisher-Rosemount gáz-analizátor RS232 porton keresztül számítógéphez csatlakoztatható, közvetlen jelkimeneti egységgel rendelkezett. Az MX42A gázelemző műszer kimeneti egysége RS232 porttá átalakítható volt, így lehetőség nyílt ezen adatok folyamatos mérésére, számítógépen való közvetlen elemzésére, tárolására is. A biogáz összetevők meghatározása adott hullámhosszakon való abszorbancia és potenciometria elve alapján történt (Bíró et al, 2008a). A gáz-analizátor esetében két pontos kalibrálást szükséges végezni. A szén-dioxid- és metán-koncentráció nulla értékét orvosi tisztaságú nitrogénnel, a kalibráció második pontját speciálisan erre a célra kevert metán-szén-dioxid (45 és 55%) gázkeverékkel végeztem.

A biogáz-gyártás nyersanyagai és a fermentált végtermék esetében a szárazanyag- (MSZ 318-3:1979 és szervesanyag-tartalmat (MSZ 318-3:1979), a kémhatást (WTW gyártmányú 340i típusú pH mérővel (Pontosság: $\pm 0,005$, mérési tartomány: -2:20)) a helyszínen vizsgáltam. A

szén- és nitrogén-tartalom elemzése a BátorTrade Kft. központi laboratóriumában (MSZ 6830-4:1981) Elementar VARIO EL[®] univerzális elem analizátor segítségével történt. A részletes módszertani leírás a www.aktivit.hu (I₄) oldalon található meg. A kén-tartalom meghatározását a Debreceni Egyetem AGTC MÉK Műszerközpontjában Elementar VARIO EL[®] analizátorral végezték.

3.2.2. Üzemi vizsgálatok körülményei

1. Baromfi toll előkezelése üzemi körülmények között (KT)

A Tycoon típusú tartály elhelyezésére a nyírbátori Bátortrade Kft. komposztáló telephelyén került sor. A Tycoon egy 6 m³-es, fűthető, belső keverőegységgel és levegőztető-berendezéssel ellátott duplafalú, zárt tartály (14. ábra), amit eredetileg vágóhídról, állattartó telepről származó szerves hulladékok (2. és 3. osztály) fertőtlenítésére terveztek. A nyomás-, a hőmérséklet-, az oxigén-szabályozás és a leürítés központi számítógéppel vezérelt. A mikroorganizmusok számára így optimális körülményeket lehetett biztosítani. A hőmérsékletet beépített hőmérőszonda méri, az adatokat számítógén rögzítik. A baromfi toll beadagolása a tartály tetején elhelyezett garaton keresztül, mechanikus úton történt.

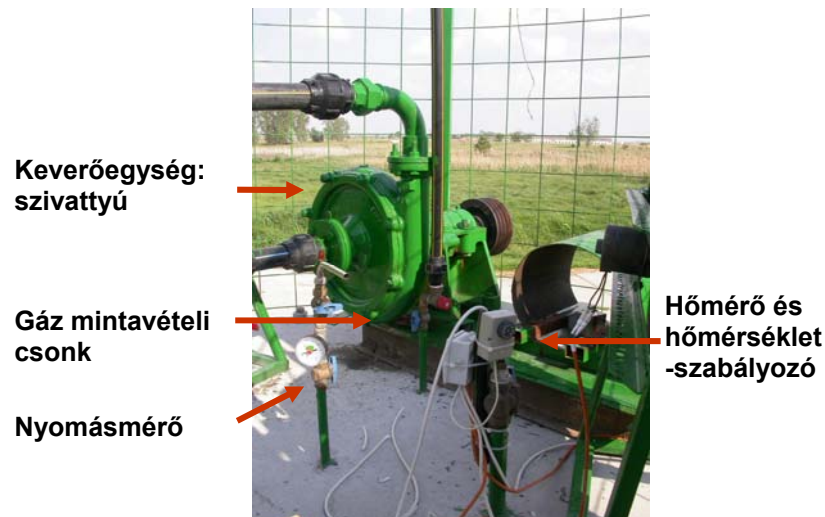


14. ábra. A Tycoon tartály és a szerelvényei (Saját forrás)

Naponta 5-ször vettem mintát a helyszínen, ahol hőmérsékletet és pH-t (WTW, Multi 330i) mértem. BátorTrade Kft. nyírbátori laboratóriumában pH-t, hőmérsékletet, extinkciót és baktérium sejtszámot (3.2.1. fejezet 1. pontja szerint) vizsgáltam. A sejtszámlálás Bürker-kamrával, Alpha BIO-3CCD, binokuláris, beépített CCD kamerás mikroszkóppal történt. A kezdeti és végtermék esetében meghatározásra került a C, N, S%-tartalom is.

2. Sertés hígtrágya monorecepturás vizsgálta Batch-eljárással 10 m³-es, nyomásálló kísérleti fermentorban

A speciális nyomásálló fermentor alkalmazásának célja az volt, hogy teszteljem a kísérleti fermentort, és az anaerob baktérium közösség nyomással szembeni tűrőképességét. A robosztus kivitel és a belső műanyagréteg miatt maga a tartály nincs kitéve korróziónak. A fermentációs reaktor egy 10 m³-es palástfűtéses saválló műanyag belső borítással ellátott, 5 bar-ig nyomásálló tartály volt. A belső fűtéscsövek nem érintkeznek a hígtrágyával, ezért élettartamuk rendkívül hosszú. A csavarrögzítéssel ellátott betonfedél biztosította a fermentációhoz szükséges anaerob feltételeket. A sertés hígtrágya tartályba történő átemelését és szükség szerű ürítését szivattyú végezte. A kívánt hőfok tartását fűtő berendezés és hőszabályzó biztosította. A keverés hidraulikusan, szivattyú alkalmazásával történt, mellyel az egész fermentorban lévő alapanyag homogenizálódott (15. ábra).



15. ábra. Centrifugál szivattyú (Saját forrás)

A szivattyú keverésszáma és időtartama egyaránt automatizált volt. A keletkező gáz egy 50 l-es, álló, kavicságyas, abszorpciós tornyon került átvezetésre, mely a H₂S és NH₃ részbeni eltávolítását, koncentrációcsökkentését biztosította.

3. A Nyírbátori Regionális Biogáz Üzem technológiai háttere

A rendelkezésre álló fermentor kapacitás 17 000 m³, melyben jelenleg naponta kb. 20-25000 m³, 60-65%-os metán tartalmú biogázt állítanak elő (16. táblázat). A biogáz üzemben 110 000 m³ vegyes alapanyagot dolgoznak fel, mely 85%-a növénytermesztési és állattenyésztési hulladékból tevődik össze. A biogáz üzembe kerülő növényi anyagokat és trágyát a napi feladási igénynek megfelelően a két keverőtartályban készítik elő felváltva. Amikor

megfelelően homogenizálva van a szubsztrátum a megtöltött tartályból szivattyúval nyomóvezetéken keresztül négyóránként adagolják a mezofil tartályokba. Közben az üresen maradt keverő tartályban készítik elő receptura alapján a következő napi feladáshoz szükséges mennyiséget. A mezofil tartályból a közlekedő edény elve alapján, csővezetéken átfolyik az azonos mennyiségű anyag a termofil fermentorokba (13. melléklet), onnan pedig a kiejedt anyag a „biotrágya” tárolókba (16. ábra). A biogáz üzem jelenleg fejlesztés alatt van, további két-két mezofil és termofil tartállyal és egy gáztárolóval bővítik.

16. táblázat. Nyírbátori Regionális Biogáz Üzem jellemzői

Eszköz neve	H m	ø m	Tart. idő nap	Térfogat m ³	Haszn. térf. M ³	Teljesítmény kWh
2 db keverő akna 	4	10	1	628	628	
6 db mezofil fermentor 	5	18	18	7632	6409	
6 db termofil fermentor 	5	20	22	9040	7914	
4 db átmeneti biotrágya tároló tartály 	5	5	30	9040	9040	
2 db gáztároló 		16		2000	2000	
1 db átmeneti szennyvítároló tartály				50	50	
4 db blokkfűtőmű 						2600
1 db gázkezelő konténer	12,5	3				

Forrás: Petis, 2008 alapján (H- geometriai magasság; ø – szélesség)



16. ábra. A biogáz üzem elrendezési rajza (I₉ alapján)

A keverőtartályok úgy vannak méretezve, hogy egy tartályba beférjen a napi felhasznált mennyiség. A sorba kapcsolt mezofil és termofil fermentorokban hosszabb az erjedési idő és így a 38°C-on még le nem bomlott szerves anyag jelentősebb része az 55°C-os fermentorokban le tud bomlani.

A fermentorok belső magassága 5 m, melyből 4,2 m a folyadék oszlop magassága és 0,8m a gáztér. A folyadék folyamatos keverésével a termelődő metán és egyéb gázok felszabadulnak és a gáztérben összegyűlnek. A biogáz a fermentorok gáztérében kialakuló túlnyomással, csővezetéken keresztül kerül először a gáztisztítóba majd a gázszákba. Az engedélyezett gáznyomás a fermentorokban 10 mbar, a gáztározóban pedig 5 mbar, ezáltal önmagát préseli át a gáz a fermentorokból a gáztározóba a hűtőgépen keresztül. A termelt nyers biogáz magas nedvességtartalmú, ezért a gáztisztítóban lévő hűtővel lehűtik és kicsapatták a többlet vizet. A gáztisztítóból már száraz gáz kerül a gáztározókba.

A biogáz minőségét egy számítógépes vezérlésű gázanalizátor (Chemec, BC20 Biogas controller) segítségével méri folyamatos üzemmódban, mind a mezofil, mind a termofil fermentorokban. Számítógéphez csatlakoztatható, közvetlen jelkimeneti egységgel rendelkezik, így lehetőség nyílik ezen adatok folyamatos mérésére, számítógépen való közvetlen elemzésére, tárolására is. A rendszer hátránya, hogy az adatokat csak pár napig tárolja. A metán-, szén-dioxid, ammónia és kénhidrogén koncentrációjának meghatározása adott hullámhosszon való abszorbanancia-mérés alapján történik. A kén-tartalom folyamatos problémát okoz, ezért kiemelt figyelmet szentel az üzem a kérdés megoldására. Jelenleg a fermentor felső rétegébe történő levegő befúvatással és vashidroxid alkalmazásával csökkentik 200 ppm alá a kénhidrogén mennyiségét. A külföldön pl. Ausztriában elterjed nyomás alatti tisztító tornyok jelenleg túl magas beruházási költséget jelentenek. A gázmennyiség mérését gázáramlás-mérő műszer végzi. A termelt biogáz egy részét közvetlenül tüzelésre használják a baromfifeldolgozóban és a Kft. más üzemében, illetve a fermentorok fűtésére. Nagyobb részéből (jelenleg 86%) villamos energiát állítanak elő a 2500 kW kapacitású blokkfűtő kiserőműben, mely 4 db gázmotorból áll. A termelt villamos energiából 1000-1200 kWh -t a kapcsolódó üzemek hasznosítanak, a többlet pedig értékesítésre kerül. Egy m^3 biogázból 2,1 kWh villamos energiát állítottanak elő, az átalakítás költsége 2008-ban 8,2 Ft -ba került kW-onként.

A biogáz gyártás mellékterméke évente 110.000 t „biotrágya”. Az átemelő aknából szivattyúval átemelik a szeparátorokra a fermentált végterméket, ahonnan a hígfázis az átmeneti trágyatárolóba kerül, a szilárd fázis pedig a tárolók mellett lévő szárító üzembe, vagy az átemelő tartály mellett kialakított komposztálóba. Mind a szilárd végterméket, mind a fermentlevet szántóföldön, tápanyag utánpótlásra hasznosítják, mely csak az év meghatározott időszakában végezhető, ezért a tiltott időszakokban, a hat db 10 000 m^3 -es fóliával kibélelt átmeneti tározóban gyűjtik és tárolják (Petis, 2008). A szárított, komposztált anyag egy

részét recirkuláltatják a biogáz üzemben, mely elősegíti a cellulóz-tartalom még jobb lebomlását és az alapanyag C/N arányának bővítését.

Receptura alapanyagok felmérése, információbázis létrehozása

Első lépésben a fermentorokba naponta bejuttatott szerves alapanyagok mennyiségét, összetételét, majd minőségét vizsgáltam. A fermentorba két módon kerülhet be nyersanyag, egyrészt előzetes homogenizálás után a keverőkből naponta háromszor, valamint közvetlen feladás is lehetséges. A beadagolt szerves anyagok mennyisége és minősége naponta változik. Ezen változások folyamatos nyomon követése csak az adatok pontos rögzítésével és elemzésével lehetséges. Ez nemcsak a biogázhozamoknak a beltartalmi értékekkel való összevetése, hanem az erjesztési folyamat során a minőségi tulajdonságokban bekövetkező változások nyomon követhetősége miatt is fontos. A növényi és állati eredetű alapanyagokat részletes leírását a 3.3.2. fejezetben mutatom be.

Az átlagos hidraulikus tartózkodási idő megállapítása

Gruber (2007) szerint az átlagos tartózkodási idő a fermentorok maximális térfogatából (V_r) (m^3) és a naponta feladott nyersanyagok mennyiségéből (V) (m^3 /nap) számítható ki, tehát $HTI = V_r/V$. Ez az időintervallum mutatja meg az adott anyag lebonthatóságát, illetve, hogy mennyi idő után termelődik belőle biogáz. A számításokat a fermentorok hasznos térfogatával végeztem, mely mezofil esetén $6409 m^3$, termofil esetén $7914 m^3$, illetve a napi feladott mennyiségek 20 napos mozgóátlagát vettem alapul. A mezofil és termofil fermentorok esetében külön meghatároztam a tartózkodási időket. Ezeket összegezve pedig megkaptam a teljes hidraulikus tartózkodási időt (HTI).

Az alapanyagok minősége és a biogázhozam, illetve a fermentált végtermék minősége közötti összefüggések vizsgálata

A fermentorba naponta beadagolt alapanyagok össz mennyisége a 2 keverőből naponta (napi 3 bekeverés) feladott és a közvetlenül bejuttatott alapanyagokból tevődik össze. Az egyes alapanyagok minőségi és mennyiségi adataiból a keverőkre, majd a fermentorra egy súlyozott értéket kell számolni. Ezután kapjuk meg a napi feladott receptúra átlagos mennyiségére vonatkoztatott minőségét szárazanyag-tartalomra vonatkoztatott %-os értékben, melyből a tonna/nap-os értékeket lehet kiszámolni. A napi értékeket (N, C, C/N arány, sz.a., szerv.a.) az előzőleg meghatározott tartózkodási idők függvényében vettem össze a biogázhozam

adatokkal. A biogáz-termelést a gázóraállásokból számoltam a mezofil és a termofil fermentorokra, melyből megkaptam az összes napi gázhozam adatokat Nm³-ben.

A felhasznált alapanyagok minőségi paraméterei és a fermentált végtermék bevizsgált minőségi paraméterei között is analizáltam az összefüggéseket. Az input szerves anyagok minőségi adatait az output anyagok („biotrágya”) minőségi paramétereivel összevetve választ kaphatunk az erjesztési hatékonyságra, illetve az erjesztési folyamat során keletkező fermentált anyagok minőségére, melyből további felhasználását (pl.: mezőgazdasági területre való kijuttatás) tudjuk behatárolni.

Alapanyagok előfordulásához kötött variánsok összeállítása a nagyobb biogáz-termelés érdekében

Egy adott napon a fermentorokba bekerülő különböző alapanyagokból összeállított recepturából megállapítható, hogy mekkora gázhozamot produkál az erjesztés ideje alatt. A feladott szubsztrátum közül néhány csak szezonálisan használható fel, tehát érdemes az egyes jellegzetes időszakokra néhány különböző receptura variánst meghatározni. A minőségi paraméterek folyamatos vizsgálatával kiszűrhetők a rendszer számára hátrányos kiugró értékek, vagy ellensúlyozhatóvá válnak, pl. magas N-tartalmú nyersanyag esetén magas C-tartalmú alapanyag felhasználásával.

A felhasznált növényi alapanyag termelődése a klímától függő időben periodicitással leírható folyamat, ezért az észlelések időbeli sorozatát idősor elemzési eljárásokkal vizsgálok 823 napos időintervallumra. Az alkalmazott teoretikus modellt *Kontur et al. (1993)* eredetileg egy másik időben és térben folyamatos jelenség, a talajvízjárás periodicitási vizsgálata során írta le. *Tamás et al. (2007)* matematikai analógiaként alkalmazták vizsgálataikban biomassza növekedés idősorainak értékelésére. A biomassza termelés és a biogáz-termelés valószínűsíthető összefüggései miatt kiterjesztettem a biogáz-termelési folyamat értékelésére is. A modell lineáris trendet, periodikus összetevőt, autoregresszív és véletlen komponenseket tartalmazott, amelyeket sikeresen sorba fejtettem (Forward transformation). A modell komponensek leválogatásával meghatároztam az évszakok (90 nap) közötti eltéréseket, az évszakai eltéréseket, biomassza termelés periodicitását, a biogáz üzem technológiai fegyelmeiből adódó visszatérő, ismétlődő hibákból fakadó termelés csökkenést és a modell bizonytalansági tényezőjét, mely a véletlenszerű, random hibákat fejezi ki, de jelen esetben a biogáz üzem technológiai tartalékára is utal.

Az idősor modellalkotóit egymás után határoztuk meg és választottam le a maradék adatállományból az alábbi képlet segítségével:

$$Y_i = T_i + P_i + A_i + V_i$$

Ahol T_i trend, P_i periodikus, A_i autoregresszív és V_i véletlen komponens.

A vizsgált időszak biogázhozam adatait a továbbiakban a fenti egyenlet alapján bontottam fel komponenseire. Az idősorok felbontásának első lépéseként az eredeti idősorról leválasztásra került a lineáris trend komponens:

$$T_i = d_0 + d_1 * i$$

$$i = 1, 2, \dots, N$$

A megfelelő helyettesítéssel a paramétervektor eleme d_0 és d_1 , a független változó $i = 1, 2, \dots, N$, a függő változó $Y_1, Y_2, \dots, Y_N$, a hiba az $y_1, y_2, \dots, y_N$ trendmentes idősorból alkotott vektor lesz. A d_0 és d_1 számítása az alábbiak szerint történt:

$$d_0 = \frac{\frac{2(N-2)-3}{3} * \bar{Y} - \frac{N+1}{2} * \overline{i * Y_i}}{\frac{2(N+2)-3}{3} - \frac{N+1}{2}} \quad d_1 = \frac{-\frac{N+1}{2} * \bar{Y} + \overline{i * Y_i}}{\frac{N^2-1}{12}}$$

ahol: d_0 = a trendfüggvény állandója

d_1 = a trendfüggvény együtthatója

N = elemszám

i = az i -edik elem

$\bar{Y}$ = az eredeti adatsor átlaga

A következő lépés így a periodikus összetevő leválasztása volt a modellben. A periodikus összetevő leválasztásával az éves sorokból - szinuszos változást tudunk az adatsorról "levenni". Ha ismerjük a periodikus összetevő periódusidejét, akkor a feladat csupán a kérdéses periódus amplitúdójának megállapítása. Feltételeztem, hogy a biogáz üzem alapaanyagbázisában évszakos periodicitás van, az időperiódus számítása az alábbiak szerint történt:

Ahol:

$$P_i = a_0 + a \cos \frac{2\pi}{r} * i + b \sin \frac{2\pi}{r} * i \quad \begin{array}{l} a_0 = \text{periodicitási állandó} \\ a \text{ és } b = \text{függvényegyütthatók} \end{array}$$

Esetünkben $r = 90$ nap a periódusidő. Az i értéke jelen példában napban számolható. A feladat az a_0 , a és b értékek meghatározása. Jelen esetben az y_i trendmentes idősorot akarjuk közelíteni a P_i periodikus komponenssel:

$$y_i = P_i + p$$

ahol a p_i a 90 napos periódustól való eltérés idősora, azaz a periodikus reziduum.

A p_i érték meghatározásának módja: $p_i = y_i - P_i$

A P_i kiszámításához szükséges a és b értékeket az alábbi képletek alapján számoltam ki:

$$a = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N y_i \cos \frac{2\pi i}{90} \quad b = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N y_i \sin \frac{2\pi i}{90}$$

Amennyiben a periodikus összetevőt is izoláltam az adatforrásból az autoregresszív és a véletlen komponensek maradtak vissza. Az autoregresszív elemzés az egymást követő évek függőségéből adódó statisztikai törvényszerűséget számszerűsíti, míg a véletlen tényező a modell bizonytalanságát reprezentálta. A modell interpretációja során az autoregresszív komponenst technológiai fegyelemként értelmeztem, míg a véletlen összetevő a modell bizonytalanságát határozza meg. A vizsgálatot ezek után a p_i maradék tag meghatározásával folytattam, amelyről feltételeztem, hogy már sem trend, sem periodikus összetevő nem befolyásolja, csupán az egymást követő értékek közötti autokorreláció. Az alkalmazott egylépéses autoregresszív almodell:

$$p'_i = c'_1 * p'_{i-1} + V'_i$$

ahol a ' jel arra utal, hogy a modell egylépéses, és ahol a V_i az autoregresszív komponens.

$$c'_1 = r_1 = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} p_i p_{i+1}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i^2}$$

A c'_1 egyenlő az egylépéses autokorellációs tényezővel, az r_1 -el:

$$V'_i = p'_i - c'_1 p'_{i-1}$$

A random hiba jelen esetben a kiszámíthatatlan technológiai hiba, emberi mulasztás, toxikus hatás miatt bekövetkező gázhozam csökkenés, vagy a nem magyarázható gázhozam növekedés is lehet, melyet technológiai tartalékként lehet meghatározni. A modellkomponensek sorbafejtése után sikeresen visszatranszformáltam (backward transformation) a vizsgált idősorra az adatokat, mely az eljárás alkalmazhatóságát egyértelműen igazolta.

4. Az előkezelt baromfi toll alkalmazása a biogáz üzemben

A 6 db mezofil és termofil fermentorpárból az egyikbe (F6) hővel és baktériummal előkezelt baromfi tollat adagoltunk. A folyós állagú előkezelt tollat tehát közvetlenül a mezofil fermentorba juttattuk. Az előzetes laboratóriumi eredmények alapján 5%-ot kevertünk be a mezofil fermentorba. Ezt követően egyre csökkentettük a bejuttatott toll arányát 2, majd 1%-

ra. Összehasonlítottam az üzemben alkalmazott eredeti receptura és az előkezelt tollal kiegészített receptura gáz-hozam, ill. a biogáz minőségi adatait.

3.3. Kísérleti beállítások bemutatása

3.3.1. Laboratóriumi vizsgálatok kísérleti beállításai

1. Baromfi toll fizikai, mikrobiológiai előkezelése (DE):

A kutatás első fázisában a vágóhidakon nagy mennyiségben keletkező baromfi toll mikroorganizmussal történő feltárását elősegítő termikus és mikrobiológiai kezelések hatékonyságának vizsgálatára került sor. Majd az előkezelt baromfi toll és egyéb nyersanyagok kofermentációja során termelődő biogáz mennyiségi és minőségi paramétereit, illetve a kidolgozott technológia alkalmazhatóságát vizsgáltam. A hőkezelést főzőberendezésben végeztem. A baromfi toll biológiai feltárásához *Bacillus licheniformis* KKI (Perei et al., 2004.; Bálint et al., 2005; Kovács et al., 2002) baktérium törzset alkalmaztam. Bagi Zoltán tanácsai alapján végeztem a baktériummal történő oltást, a baktérium tenyésztését és a fenntartását. A kísérletekben az optimális pH, hőmérséklet, tollméret, és bacilus:toll arány értékek meghatározását végeztük el, valamint a paraméterek közötti összefüggéseket és a bontás hatékonyságát vizsgáltam. 2006-2007 között 9 kísérleti beállítással dolgoztam a laboratóriumban, háromszori ismétlésekkel. A tollat hőkezelttem 70, 100 és 130°C-on főzőberendezésben 1 h időtartamig, majd a toll:víz arányt állítottam be, mely során 1:1-es, 1:2-es és 1:3-as toll:víz arányokat vizsgáltam (17. táblázat). 70°C-ot a 71/2003 (VI. 27.) FVM rendeletben megfogalmazott állati hulladékot is kezelő biogáz telepekre vonatkozó speciális, míg 130°C-ot az állati hulladékok feldolgozására vonatkozó módszerekben meghatározott követelmények miatt alkalmaztam.

17. táblázat. Kísérleti beállítások a baromfi toll előkezelése során

Hőkezelés (°C)	70 °C			100 °C			130 °C		
Toll:bakt. arány/ Toll: víz arány (%)	1%	3%	5%	1%	3%	5%	1%	3%	5%
1:1					A	A			
1:2	E, G	E	F	D	B	B	C	C, F	G
1:3	D, E, G, H, I	D, E	F	D	A	A	C, F	C	G

Az 1:2 aránynál 0,67 kg tollat 1,33 l vízzel, az 1:3 aránypárnál 0,5 kg tollat 1,5 l vízzel elegyítettem. Az optimálisnak bizonyuló 42°C-os bontási hőmérsékletet termosztát segítségével, a 7,2-es pH-t 5-5 ml foszfát-puffer hozzáadásával biztosítottam az oldatban. A

toll:*Bacillus licheniformis* arányt (%) az adott aránypárban lévő toll tömegének 1, 3 és 5%-val megegyező térfogatú *Bacillus licheniformis* kultúrából vett oltóanyaggal állítottam be. Az összes lehetséges kombináció kipróbálásra került a kísérletsorozatban, egy kísérlet alkalmával 4 kezelést állítottam be és egy kontrollmintát adott toll:víz aránnyal. A legjobb extinkció értékeket (5-12 között) és homogenitást mutató kombinációkat többször megismételtem.

2. Baromfi toll fizikai, kémiai előkezelése (BOKU):

Az IFA (Tulln) intézetében a toll-mintát eredeti formájában, illetve kétféle homogenizálási idő alkalmazása után (0, 40, 80 sec) az előzetes kutatások során leghatékonyabbnak ítélt 1:2-es arányban (10 g toll: 20 g víz) desztillált vízzel elegyítettem, majd mikrohullámú hőkezelést (70, 130, 160°C) alkalmaztam 1 óra időtartamig (14. melléklet). A 160°C-ot az osztrák hatályos jogszabályok miatt vezettem be. A tollhoz később desztillált víz helyett 1%-os NaOH-oldatot adtam a hőkezelést megelőzően a nagyobb hatékonyság elérése érdekében.

3. Sertés hígtrágya monorecepturás vizsgálata laboratóriumi körülmények között (DE):

A kutatás során a sertéstelepek hulladékként kezelt, legtöbbször hasznosítatlan hígtrágyáinak energetikai (biogáz) célú felhasználásának egyik lehetséges módozatát vizsgáltam kísérleti 6 literes modell-reaktorokban. Hasonló jellegű laboratóriumi kísérleteket végzett *Brachthaeuser* (2004), a keverés biogáz-termelésre gyakorolt hatását *Karim et al.* (2005) elemezték, szarvasmarha trágyával *Borole et al.* (2006) kísérleteztek. Hazánkban Kalmár Ferenc vezetésével Mezőtúron, FVM MGK intézetében Gödöllőn és Kovács L. Kornél vezetésével Szegeden folytak és folynak laboratóriumi fermentációs kísérletek.

A sertés hígtrágya, mint referencia alapanyag mezofil és termofil, valamint oltóanyaggal kezelt és kezeletlen körülmények közötti fermentációjának vizsgálatára került sor. Oltóanyagként a Nyírbátori Biogáz Üzemből származó fermentlevet használtam fel. A mikrobiális kezelési arányok és a bontási hőmérséklet előzetes megtervezése után a következő hígtrágyás monorecepturás kísérleteket állítottam be (18. táblázat).

18. táblázat. Biogáz előállítás kísérleti beállításai

Oltóanyag megléte	Kezelt		Kezeletlen	
Alkalmazott hőmérséklet	1. fermentor	2. fermentor	3. fermentor	4. fermentor
52°C	4,5 kg hígtrágya: 0,5 kg oltóanyag (10%)		5 kg : 0 kg	
35°C		4,5 kg hígtrágya: 0,5 kg oltóanyag (10%)		5 kg : 0 kg

4. Sertés hígtrágya és előkezelt baromfi toll együttes fermentálhatóságának vizsgálata Batch-eljárással (DE):

A vizsgálatok olyan sertés hígtrágyából és baromfi tollból álló receptura kidolgozását célozták, mely optimális C/N aránnyal és hidraulikus tartózkodási idővel rendelkezik és alkalmazható a biogáz-üzemekben, anélkül, hogy a hasznos metánkoncentráció csökkenését okozná. A baromfi tollat előkezelttem (70°C-os hőkezelés, majd 1%-os *Bacillus licheniformis* KKI törzsszel 42°C-os inkubáció), majd meghatároztam azt a maximális bevihető előkezelt toll arányt, melynél még elkerülhető a fermentációt károsan befolyásoló gázok túlzott keletkezése, valamint a pH káros eltolódása.

A különböző arányban kevert sertés hígtrágya és toll együttes fermentálhatóságának vizsgálatára laboratóriumi körülmények között, gáz-analizátorral ellátott 6 literes kísérleti reaktorokban került sor. A kísérlet megkezdése előtt megterveztem a mikrobiális kezelési arányokat és a bontási hőmérsékletet. Monorecepturás sertés hígtrágya volt a kontroll, melyet mezofil és termofil körülmények között fermentáltam. A kontroll vizsgálatokat követően az előkezelt tollat 5, 10, 20 és 40%-os arányban kevertem a hígtrágyával. A különböző beállításokat foglalja össze a 19. táblázat.

19. táblázat. Kísérlet beállítási paraméterei sertés hígtrágya és előkezelt baromfi toll együttes fermentálása esetében

Fermentáció hőmérséklete	Sertés hígtrágya: előkezelt baromfi toll arányok				
	5%	10%	20%	40%	Kontroll
35°C	4,5kg: 0,5kg	4,75kg: 0,25kg	4 kg: 1 kg	3kg: 2kg	5 kg
52°C	4,5kg: 0,5kg	4,75kg: 0,25kg	4 kg: 1 kg	3kg: 2kg	5 kg

3.3.2. Üzemi kísérleti beállítások

1. A baromfi toll-bontás üzemi kísérleti beállításai (KT):

Az üzemi kísérletsorozatban 10 m³-es speciális kerámiabetétes, duplafalú tartályban több kezeléskombinációt vizsgáltam (20. táblázat).

20. táblázat. Kísérleti beállítások (Baromfi toll bontása üzemi körülmények között)

Hőkezelés (°C)	70°C		130°C	
Baktérium koncentráció (%)	1%	3%	1%	3%
Kísérletek jelölése	A	B	C	D

Az 1:3 arányú toll-víz elegyet 70 és 130°C-on 1 óráig hőkezelttem. Mindkét esetben 1 és 3%-os baktérium koncentrációt (*Bacillus licheniformis* KKI) alkalmaztam. A kísérleteket

megelőzően a tartályt forró gőzzel sterilizálták. A baktérium felszaporítását laboratóriumban végeztem, az oltás az üzemi kísérlet helyszínén történt, amikor a hőkezelt toll:víz elegy hőmérséklete 50°C alá csökkent. A bontási folyamat kezdetétől a hőmérsékletet gőzáram segítségével a baktériumok életfeltételeinek megfelelő 42°C-on inkubáltam. A kísérlet során az oxigén-ellátás biztosítása 3 óránként 10 perces levegőztetéssel történt.

2. Sertés hígtrágya monorecepturás vizsgálata Batch-eljárással 10 m³-es, nyomásálló kísérleti fermentorban:

A kutatás során egy új technológiai megoldást alkalmaztam, mely minimális építési munkálatokkal teszi elérhetővé az állattartó telepek számára a hígtrágyára alapozott biogáz-termelést. Egy előreszerelt tartály telepítése történik, melynek fűtése, szigetelése a tartály falába van elhelyezve, kizárva ezzel a sérülések lehetőségét. A keverést egy a tartályra szerelt szivattyú végzi, mely mind a feltöltést, mind a leürítést is szolgálja.

A prototípus legyártását megelőzően laboratóriumi vizsgálatok történtek a fermentációs paraméterek megállapítása érdekében, amelyet az üzemi méretű kísérletek követtek. Az elvégzett vizsgálatokon alapulva meghatároztam a tartály alkalmazhatóságát, működési feltételeit. A gáz mennyiségének mérése gázórával történt. A laboratóriumi eredmények ismeretében került sor a technológia üzemi szinten történő tesztelésére. Az első kísérleteket 3 bar nyomáson és 52°C-os hőmérséklet mellett végeztem (21. táblázat).

21. táblázat. Sertés hígtrágyás monorecepturás kísérletek beállításai

Kísérleti beállítások	Beállítási paraméterek:		Metán-tartalom	Gázmennyiség
	Nyomás	Hőmérséklet		
1. Kísérlet	3 bar	52°C	alacsony	Kevés
2. Kísérlet	Nincs	52°C	Max. 33%	Max. 4 m ³
3. Kísérlet	Nincs	37°C	Max. 62%	Max. 11 m ³ , 10 napos tartósság

Hasonló, szintén monorecepturás, szarvasmarha trágyára alapozott kutatásokat *Aoki et al.* (2006) végeztek üzemi körülmények (60 m³) között.

3. A biogáz üzem alapanyagbázisának vizsgálata (BÜ):

A nyersanyagérdekelt biogáz-termeléshez könnyen bomló magas szén- és nitrogén-tartalmú alapanyagok szükségesek, és csak pufferként használják az alacsony tápanyagtartalmú anyagokat (*Petis, 2007*). A nyírbátori biogáz üzemben 2007-ben felhasznált fontosabb biomassa 29%-a istállótrágyából, 13%-a termelt növényi főtermékből, 19%-a növényi melléktermékből és hulladékból, valamint 39%-a állati hulladékból tevődött össze (*Petis,*

2008). A biogáz üzem alapanyagbázisának részletes feltérképezése 2006-2008 közötti időszakot ölelte fel, mely során vizsgáltam a keverőkbe (2 db) juttatott alapanyagok mennyiségi és minőségi paramétereit. A két 314 m³-es keverőben, - melyek hasznos térfogata egyenként 300 m³ - a nyersanyagokat homogenizálják, majd a tartályokból hidraulikusan, nyomóvezetéken keresztül, a két keverőből felváltva négyóránként adják fel a fermentorokba. A fermentorokba közvetlenül is juttattak könnyen feltáródó anyagokat, ill. az optimális pH beállításához szükséges puffereket. Az üzem területén folyamatosan feljegyzik a telepre beérkező összes és az ebből naponta feladott nyersanyagok mennyiségét, míg a minőségi paraméterek elemzésére az üzem központi telephelyén található akkreditált laboratóriumban kerül sor. A biogáz üzemben a nyersanyagok feladása felváltva történik a két 300 m³-es keverőből, de a fermentorokba közvetlenül is juttatnak be könnyen feltáródó szerves anyagokat, melyek részletes kifejtése a 15. mellékletben található.

Növényi eredetű alapanyagok:

Az üzemben felhasznált silókukorica bekevert mennyisége jelentős az év során, hiszen a téli időszakban ezzel lehet pótolni a hiányzó friss zöldtömeget, melyek csak a vegetációs időszakban állnak rendelkezésre. Alacsony fehérje- és magas emészthető szénhidrát-tartalmának (290 g/kg) köszönhetően igen jól és viszonylag hosszú ideig tartósítható silózással (*I₁*). A silókukorica 2007-es mennyisége 3580 t volt, ez egy hónapra vetítve kb. 300 tonnát jelentett, míg két év alatt 9282 tonnát hasznosítottak. A silókukorica mellett cukorrépa szeletet, zöldborsót, E. triticales-t, kukorica csővéget és egyéb friss zöld növényi alapanyagokat is alkalmaztak, főleg a tavaszi és nyári periódusban. Ezen felül kis mennyiségben egyéb növényi alapanyagokat, - mint pl. zöldbab, szecskázott zöld fű, ill. lucerna, cukorrépa szecska, szemes kukorica - is fermentáltak kis mennyiségben.

Állati eredetű alapanyagok:

Nagy mennyiségben használtak fel kis száraz- és szervesanyag-tartalmú, nagy térfogatú procesz.vizet (technológiai szennyvíz) (80260 m³) és baromfi szennyvizet (43225 m³). Térfogatnövelő szerepük jelentős, hiszen tápközeget és életteret biztosítanak a mikroorganizmusok számára, valamint hozzájárulnak a nedves eljárás során alkalmazott 1-15% szárazanyag-tartalom biztosításához. Az alacsony szárazanyag-tartalmú hígtrágya felhasználása szintén a nedves technológia biztosítása miatt, illetve a környezetvédelmi jogszabályok szigorodása következtében indokolt (49/2001.(IV. 3.) korm.rendelet). A szarvasmarha hígtrágya mennyisége a vizsgált időszakban 52297 m³ volt. A biogáz üzem a tejipari melléktermékek közül a tejsavót (16404 m³) és a sajtsavót (140 m³) a kémhatás beállításának érdekében alkalmazza, emellett gátlós tejet (849 m³) és tejsírt (1014 m³) is

felhasználnak. Az anaerob fermentáció során fontos a C/N arány beállítása, a vizsgált biogáz üzemben az alapanyagok nitrogén-tartalmát a hőkezelt húslé, a szarvasmarha trágya, a - hígtrágya, a baromfi szennyvíz, míg a szén-tartalmát elsősorban a növényi eredetű melléktermékek (kukorica, silókukorica) adják a felhasznált mennyiségek függvényében. A szarvasmarha trágya fontos alapanyag, hiszen nagy szervesanyag-tartalom, a biogáz-előállítás szempontjából előnyös C/N arány, kedvező mikroba közösségek és nagy gázkihozatal jellemzi. Negatívumaként csupán a jelentős gyommag- és parazita-mennyiséget lehet kiemelni, melyeket az előzetes vizsgálati eredmények alapján a mezofil és termofil hőmérsékletet is alkalmazó kapcsolt biogáz üzem ártalmatlanít. 2007-ben az egy hónapra vetített átlagosan bekevert mennyisége 430 tonna volt, míg éves mennyisége meghaladta az 5000 tonnát, vizsgált időszakban összesen 11668 tonnát használtak fel.

A biogáz üzem termofil fermentoraiból naponta kikerülő erjesztett szerves anyagokat ideiglenesen a tározókba juttatják, majd szeparátor segítségével szétválasztják az ülepedő anyagokat a folyadék fázistól. Az ülepített szilárd fázis (szeparált anyag) alacsony nedvesség-tartalma miatt könnyen tárolható, illetve később felhasználható mezőgazdasági területeken „biotrágya”-ként. A fermentált, szeparált anyag egyik alternatív felhasználási módja a fermentorokba történő visszaforgatása, azzal a céllal, hogy a visszamaradt szervesanyagot további gáztermelésre hasznosítsák.

4. Az előkezelt baromfi toll alkalmazása a biogáz üzemben (BÜ):

Az előkezelt baromfi toll kofermentációja a biogáz üzemben a következő időpontokban és keverési arányok mellett történt (22. táblázat).

22. táblázat. Kísérleti beállítások előkezelt baromfi toll biogáz üzemi alkalmazásakor

Kísérleti beállítások	Eredeti receptúra	5% előkezelt baromfi toll	2% előkezelt baromfi toll	1% előkezelt baromfi toll
Kísérlet időpontja	2008. 01.12-05.31.	2008.01.12-02.24.	2008.03.01-04.13.	2008.04.20-05.31.

3.4. Az adatok statisztikai értékelése

Az adatok statisztikai értékelését Excel adatelemző és SPSS statisztikai programmal végeztem, mely során varianciaelemzést (ANOVA), T-próbát, így független mintás t-próbát és páros t-próbát, regresszióelemzést, többváltozós lineáris regressziót használtam (*Sajtos és Mitev, 2007*).

Az adatok normál eloszlásának vizsgálatára Kolmogorov-Smirnov próbát alkalmaztam a következő kísérletek esetében:

- A baromfi toll hővel és mikrobával történő előkezelése során mért pH és extinkció adatok normál eloszlásának és aprításnak bomlási idejére gyakorolt hatásának vizsgálata kapcsán.
- A baromfi toll fizikai (aprítás, hőkezelés) és kémiai úton (NaOH) történő előkezelése során az eltérő hőmérsékletű kezelésekben mért nitrogén-, szén-, kén-tartalomban és pH-ban jelentkező különbségek elemzésével kapcsolatban.
- A baromfi toll fizikai és mikrobiológiai előkezelésének üzemi körülmények között tapasztalt eredményinek vizsgálatához.
- A mezofil és termofil hőmérsékleten beállított sertés hígtrágya és különböző mennyiségű előkezelt baromfi toll receptúrák metán koncentrációkra gyakorolt hatásának, ill. a kénhidrogén- és ammónia-termelődésének elemzése kapcsán. Továbbá a metán koncentrációk (tf%) esetében az egyes kezelés párok (mezofil és termofil: 5%, 10%, 20%, 40%) esetében.

Egytényezős varianciaanalízist alkalmaztam a középértékek szimultán összehasonlítására a következő kísérleteknél:

- A baromfi toll hővel és mikrobával történő előkezelése során mért pH és extinkció adatok elemzéséhez, a 100°C-os kezelések extinkció értékeit kivételével, mert nem voltak normál eloszlásúak. A Levene-teszt eredményei a varianciák azonosságát igazolták minden esetben, így a középértékek szimultán összehasonlítását Duncan-tesztrel értékeltem 5%-os szignifikancia-szint mellett.
- A baromfi toll aprítása esetén, ahol a nullhipotézis az volt, hogy a kontroll mintától és egymástól nem térnek el az egyes kezelések. A Levene-teszt eredményei az extinkció esetében az I. szakasznál a varianciák különbözőségét igazolták, így Games-Howell- és Dunnett T3-tesztet alkalmaztam. A II. szakasz esetében a varianciák azonosak voltak, így a középértékek szimultán összehasonlítását Duncan- és Tukey-tesztrel értékeltem 5%-os szignifikancia-szint mellett. A tesztek azonos eredményeket adtak. A pH esetében az I. szakasz adatainak varianciái azonosak voltak, míg a II. szakasz varianciái nem, a fenti tesztek segítségével hasonlítottam össze a középértékeket.
- A baromfi toll fizikai és kémiai úton történő előkezelése kapcsán az eltérő hőmérsékletű kezelésekben mért nitrogén-, szén-, kén-tartalomban és pH-ban jelentkező különbségeket vizsgálatánál. A *Levene-teszt* alkalmazása azt igazolta, hogy az adatok varianciája nem minden esetben azonos, ezért a középértékek szimultán összehasonlítását a varianciák azonosságát nem feltételező *Games-Howell-teszt*rel végeztük 5 százalékos szignifikancia-szinten.

- Sertés hígtrágya és előkezelt baromfi toll együttes fermentálása során mért metán koncentrációk esetében, amikor a hozzáadott toll részarányának hatását vizsgáltam. Emellett a termelődött kénhidrogén- és ammónia adatok elemzése során. A *Levene-teszt* minden esetben a varianciák különbözőségét igazolta, így a középértékek szimultán összehasonlítását *Dunett T3 tesztjével* és *Games-Howell-teszt*tel értékeltem 5%-os szignifikancia-szint mellett.

Lineáris regresszió-analízissel vizsgáltam a baromfi toll fizikai és kémiai úton történő előkezelése után az oldat teljes nitrogéntartalmának ($N \text{ g l}^{-1}$), széntartalmának ($C \text{ g l}^{-1}$), kéntartalmának ($S \text{ g l}^{-1}$) és pH-jának összefüggését az aprítási idővel ($t \text{ sec.}$) és a hőmérséklettel ($T \text{ }^{\circ}\text{C}$) a desztillált vizes és a NaOH-os kezelésekből. Az összefüggés-vizsgálatok az aprítási idő és a vizsgált kémiai paraméterek között nem igazoltak szignifikáns összefüggéseket, ezért a középértékek szimultán összehasonlítását csak a hőmérsékletre vonatkozóan végeztem el.

Független mintás T-próbát használtam a baromfi toll üzemi körülmények között végzett fizikai és mikrobiológiai előkezelésének extinkció és pH eredményei esetében. A nullhipotézis az volt, hogy a két kezelés ($70, 130^{\circ}\text{C}$) hatása megegyezik egymással. Az egyes hőmérsékleteken végzett kísérletek alatt mért pH és extinkció adatok közötti kapcsolat megállapítása pedig *lineáris regresszió analízissel* történt. Szintén *független mintás T-próbát* alkalmaztam a sertés hígtrágya és előkezelt baromfi toll együttes fermentációja során mért metán-koncentrációk varianciáinak vizsgálatára, illetve a középértékek szimultán összehasonlítására a különböző hőmérsékleti beállítások (mezofil, termofil) elemzésekor. A metán koncentrációk ($\text{tf}\%$) a kontrollkezelések I. szakaszában és a mezofil 20% tollal bekevert kezelés II. szakaszában a varianciák különbözőek voltak, így a *Welch-próba* eredményeit vettem figyelembe, a többi esetben *T-próbát* alkalmaztam.

A Nyírbátori Regionális Biogáz Üzem esetében az alapanyagok minőségi paramétereinek *szűrését* SPSS 17 statisztikai programmal, leíró statisztikai elemzéssel (Descriptive statistics)/(Explore) végeztem. A felhasznált alapanyagok minőségi paramétereit és biogázhozam, illetve a fermentált végtermék minősége közötti összefüggéseket *regresszió analízissel* vizsgáltam, amit az alapanyagok beltartalmi értékei és a biogáz-termelés, illetve a fermentált végtermék beltartalmi értékei esetében is a tartózkodási idők ($\text{HTI}=43 \text{ nap}$) alapján összegzett értékekkel – kivétel a C/N arány átlaga- végeztem el.

4. EREDMÉNYEK

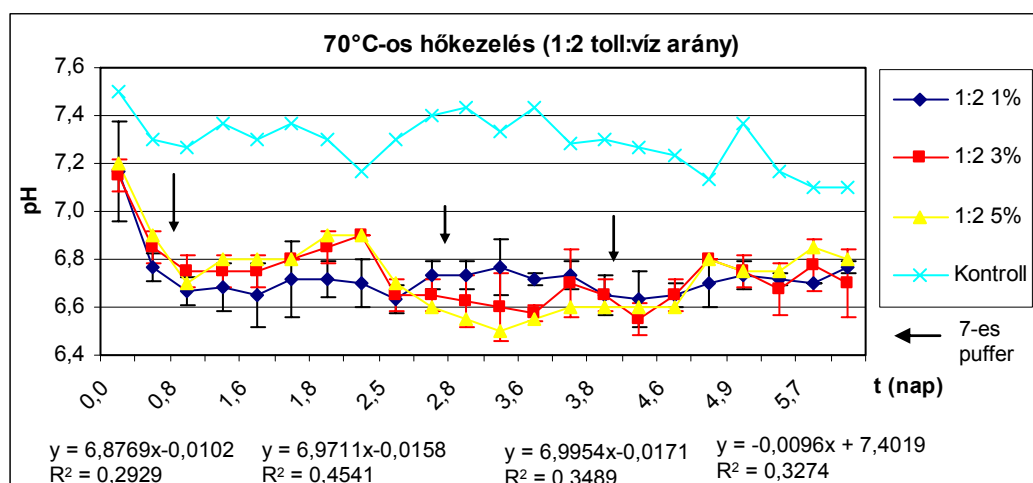
4.1. Laboratóriumi kísérletek eredményei

4.1.1. Baromfi toll hőkezelésének és mikrobiológiai előkezelésének eredményei (DE)

A hőkezelést és toll:víz arány beállítását követően baktériummal oltottam az elegyet, a vízfürdőt 42°C-ra állítottam be. Minden beállításnál külön kontrollmintát alkalmaztam, melyek kezdeti hőmérséklete a vízfürdővel azonos, majd a továbbiakban szobahőmérsékletű volt. A *Bacillus licheniformis* a kísérletek első 3 napjában kizárólagosan volt jelen a mintában, dominanciája a későbbiekben sem csökkent 80%-os szint alá. Az idegen baktériumtörzsek PCR-al történő azonosítása, és azok feltáródásra gyakorolt hatásának pontosabb meghatározása további vizsgálatokat igényel.

A kísérletek pH adatainak értékelése:

A tápoldat pH-ja 7,0-7,2 volt. A kísérletek beállítása során a meghatározott toll:víz arány beállítását követően 5-5 ml foszfát-puffer segítségével állítottam be a kezelések pH-ját. A kontrollminta esetében semleges, enyhén lúgos tartomány figyelhető meg a kísérlet egész időtartama alatt. A pH-t a kísérletek során folyamatosan 6,5 feletti értéken tartottam 7-es puffer-oldat alkalmazásával, melyet a 17. ábrán nyíllal jelöltem. A mechanikus keverés helyett kompresszoros levegőztetést is alkalmaztam, hogy össze tudjam vetni hatásukat. A kompresszoros levegőztetés a pH hirtelen és túlzott emelkedését okozta (7 → 8,5), míg mechanikus keverés mellett, levegőztetés nélkül a pH folyamatosan csökkent (7 → 6,4) és puffer-oldatot igényelt.



17. ábra. A 70°C-on hőkezelt baromfi toll kémhatásának változása

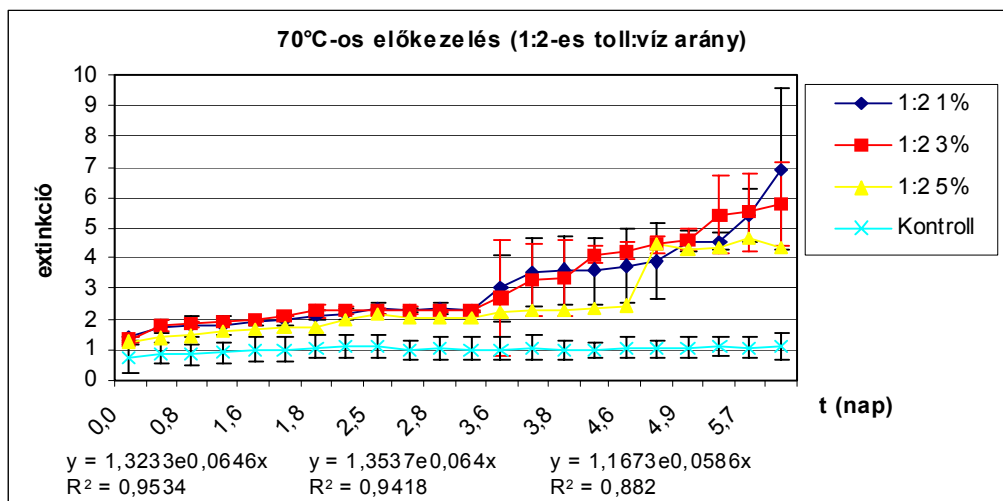
A 70°C-os 1:2-es toll:víz arányú 1%-os kezelésnél közepes összefüggés ($R^2=0,29$), a 3%-osnál közepes-erős ($R^2=0,45$) volt az összefüggés, az 5%-osra közepes valószínűséggel illeszthetünk hatvány függvényt. A kontroll-kezelésre fokozatosan csökkenő lineáris trend jellemző, közepes összefüggéssel ($R^2=0,33$). A 70°C-os 1:3-as toll víz arányú 3%-os kezeléseknél 53%-os, a kontroll mintánál 41%-os valószínűséggel (közepes összefüggés) illeszthető 2. fokú polinom függvény, míg az 1%-osnál 55%-os megbízhatósággal 3. fokú polinom függvény. Az 5%-os kezelés lefutása eltérően alakult, logaritmikus függvény esetében közepes erősségű összefüggés tapasztalható ($R^2=0,52$) (19. ábra). A 100°C-os kezelések esetén 1:2-es toll:víz arányú kezelésekre 2. fokú polinom függvény illeszthető gyenge összefüggéssel ($R^2>0,2$). Az 1:3-as toll:vizes beállítások esetében az 1%-os kezelések kivételével szintén polinom függvénnyel, gyenge-közepes összefüggéssel írhatóak le ($R^2>0,3$), míg az 1%-osak 56%-os valószínűséggel (közepesen erős kapcsolatot) igazolták a logaritmikus függvénykapcsolatot. 130°C-os 1:2-es toll:víz arányú kezelésekre polinom (2. fokú) függvény illeszthető az 1%-os esetében erős, 3%-osnál közepes, 5%-osnál közepes összefüggéssel. A kontroll-kezelést polinom függvény (2. fokú) jellemezte, de csak gyenge-közepes összefüggéssel ($R^2=0,25$) (16. melléklet). A 130°C-os 1:3 toll:víz arányú 1% és 5%-os kezelésekre 40%-os valószínűséggel (közepes összefüggés) illeszthető polinom (2. fokú) függvény, a 3%-os kezelés adatait legjobban logaritmikus függvény írja le. A kontroll-kezelésre pedig szintén polinom (2. fokú) függvényt lehet megbízhatóan ($R^2=0,25$) ráilleszteni, a kapcsolat köztük gyenge-közepes.

Mechanikus keverés esetén a kémhatás stabilizálása maximálisan 5-15 ml foszfát-puffer hozzáadásával volt megoldható. A legkevesebb foszfát-puffer felhasználást állandó 42°C-os hőmérséklet, mechanikus keverés és a baktériumszám egyenletes növekedése mellett lehetett megfigyelni.

A kísérletek extinkció értékeinek értékelése:

70°C-on hőkezelt baromfi toll:

A 70°C-on hőkezelt 1:2-es toll:víz arányú, 1%-os toll: baktériumkult. arányú kezeléseknél az extinkció maximális értéke a 6. napon 6,9, 3%-os beállításnál 5,8, míg 5%-osnál 4,7 volt (18. ábra). Az 1:2-es toll:víz arányú kezelések esetében mindhárom arányú baktérium kultúra használata esetén exponenciális görbét lehetett az adatokra illeszteni, az R^2 értékek minden esetben 88% felett voltak, tehát erős összefüggéssel jellemezhetőek. A 70°C-on hőkezelt 1:3-as toll:víz arányú 1%-os toll:bacillus arányú kezelések végén átlagosan 5,54-es extinkciót mértem (17. melléklet).



18. ábra. A 70°C-on hőkezelt baromfi toll extinkció változása 1:2-es toll:víz arány mellett

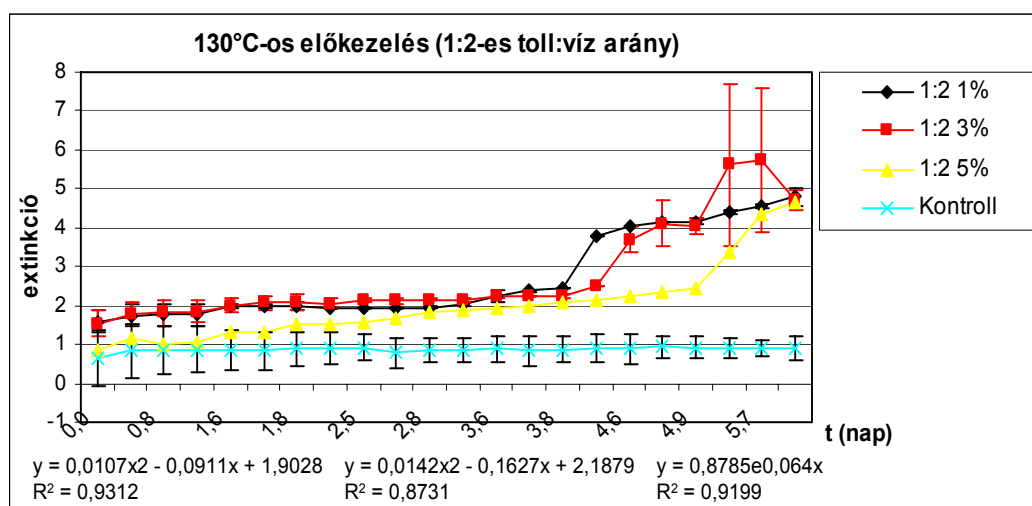
A 3%-os beállítás estén alacsonyabb átlagos értéket (4,74) kaptam, míg az 5%-os kezelés bizonyult a legkevésbé hatékonynak (4,35). Az adatokra 91%-nál nagyobb (erős összefüggés) valószínűséggel lehetett exponenciális görbét illeszteni.

100°C-on hőkezelt baromfi toll:

A 100°C-os hőkezelések közül az első kísérlet rövidebb (3 nap), az ismétlések (6 nap) hosszabb ideig tartottak. Az első kísérletekben a kompresszoros levegőztetés alkalmazása jelentős pH és extinkció csökkenést indukált. Az 1:2-es toll:víz arányú kezelések közül az 1%-os 4,6-os extinkció értékkel zárt, míg a 3%-os (4,4) és az 5%-os (4,1) alacsonyabb értékeket mutattak. A 3 és 5%-os kezelések adatsorára 59 és 89%-os valószínűséggel (erős összefüggés) lehet polinom (2. fokú) függvényt illeszteni, míg az 1%-osat exponenciális függvény jellemzi legjobban ($R^2=0,86$), az összefüggés erős. Az 1:3-as toll:víz arányú kezeléseknél a nem hozott megfelelő eredményeket a 3%-os (3,8) és az 5%-os (2,3), csak az 1%-os kezelés vett fel magasabb extinkció értéket (5,0) az 5. napon. Az 1 és 3%-os kezelésre 70 és 80%-os valószínűséggel illeszthető 2. fokú polinom függvény, mely erős összefüggést, míg az 5%-ra csak 38%-ossal, mely közepes összefüggést igazolt.

130°C-on hőkezelt baromfi toll:

Az 1:2 toll:víz arányú kezelések közül az 1%-osak nem voltak eredményesek (2,2). Az 5%-os baktériumkult.:toll arányú kezelések közepes (4,7) eredményt mutattak. A 3%-os baktériumkult.:toll arányú kezelés hozta a legjobb extinkció eredményeket (7,1), tehát jobb volt a bontás hatékonysága (19. ábra)



19. ábra. A 130°C-on hőkezelt baromfi toll extinkció változása 1:2-es toll:víz arány mellett

Az 1:3 arányú kezelések közül az 1%-os esetében 4,4-as és 5,8-as extinkció értéket mértem, az adatsorra 93%-os valószínűséggel (erős kapcsolat) illeszthető polinom (2. fokú) függvény. A 3%-os kezelések átlagosan 5,74-es maximális extinkció értékkel rendelkeztek, polinom (2. fokú) függvény illeszthető rá, az összefüggés erős ($R^2=0,87$). Az 5%-os baktériumkult.:toll arányú kezelések közepes extinkció értékeket (4,7) vettek fel, 91%-os biztonsággal illeszthető az adatokra az exponenciális függvény, ami az összefüggés erősségét igazolja.

A baromfi toll előkezelése az extinkció értékek lefutása alapján laboratóriumi körülmények között minimum 4 napra tehető. A különböző hőmérsékleten hőkezelt, majd baktériummal kezelt baromfi toll extinkció és pH adatai a 100°C-os kezelés extinkció értékeinek kivételével normál eloszlást mutattak (18. melléklet). A 100°C-os kezelést kivontam a további elemzésből. A baromfi előkezelése kapcsán variancia-analízissel elemeztem a különböző kezelések hatását a kémhatás változására, melynek eredményeit (Duncan-teszt) a 19. mellékletben foglaltam össze.

A kontroll kezelések pH értékeinek középértékeit összehasonlítva a 1.0.0. és 2.0.0.-as kezelések tartoznak egy csoportba, míg a 3.0.0.-as már egy második kategóriába sorolható, tehát szignifikánsan különböznek egymástól. A 1.0.0. és 2.0.0.-as kezelések szignifikánsan különböznek az összes többi kezeléstől, ami igazolja, hogy a kontrollkezelések eltérnek a kezeltéktől. A 70°C-os kezelések, és a 130°C-os kezelések közül a 3.2.2. kezelések kivételével egy csoportba sorolhatók, szignifikánsan különböznek a többi kezeléstől. A 100°C-os kezelések külön kategóriát képeznek, de sok az átfedés, csak a 2.1.1.-es különbözik szignifikánsan a többi kezeléstől, mely a 130°C-os 1:3-as 3%-os kezeléssel tartozik egy csoportba. Variancia-analízissel elemeztem a különböző kezelések hatását extinkció értékek

alapján. A Duncan-teszt eredménye a 23. táblázatban látható. A táblázatokban az egyes betűszámok az összetartozó csoportokat jelölik.

23. táblázat. Különböző hőkezelések extinkció értékeinek összevetése

Kezelések	Átlag±Szórás (σ)	
1.0.0.	0,99 ± 0,31	e
1.1.1.	3,05 ± 1,56	ab
1.1.2.	3,09 ± 1,46	a
1.1.3.	2,49 ± 1,12	abc
1.2.1.	3,08 ± 1,67	a
1.2.2.	2,96 ± 1,36	ab
1.2.3.	2,33 ± 1,07	cd
3.0.0.	0,87 ± 0,36	e
3.1.1.	2,70 ± 1,11	abc
3.1.2.	2,76 ± 1,33	abc
3.1.3.	2,02 ± 0,99	d
3.2.1.	3,24 ± 1,26	a
3.2.2.	2,45 ± 0,84	bc
3.2.3.	1,81 ± 0,70	d
F-érték	23,94 ***	
*** $P < 0,001$ (P =Szingifikancia szint)		

Jelmagyarázat	Beállítások
1.0.0.	70°C, Kontroll
1.1.1.	70°C, 1:2, 1%
1.1.2.	70°C, 1:2, 3%
1.1.3.	70°C, 1:2, 5%
1.2.1.	70°C, 1:3, 1%
1.2.2.	70°C, 1:3, 3%
1.2.3.	70°C, 1:3, 5%
2.0.0.	100°C, Kontroll
2.1.1.	100°C, 1:2, 1%
2.1.2.	100°C, 1:2, 3%
2.1.3.	100°C, 1:2, 5%
2.2.1.	100°C, 1:3, 1%
2.2.2.	100°C, 1:3, 3%
2.2.3.	100°C, 1:3, 5%
3.0.0.	130°C, Kontroll
3.1.1.	130°C, 1:2, 1%
3.1.2.	130°C, 1:2, 3%
3.1.3.	130°C, 1:2, 5%
3.2.1.	130°C, 1:3, 1%
3.2.2.	130°C, 1:3, 3%
3.2.3.	130°C, 1:3, 5%

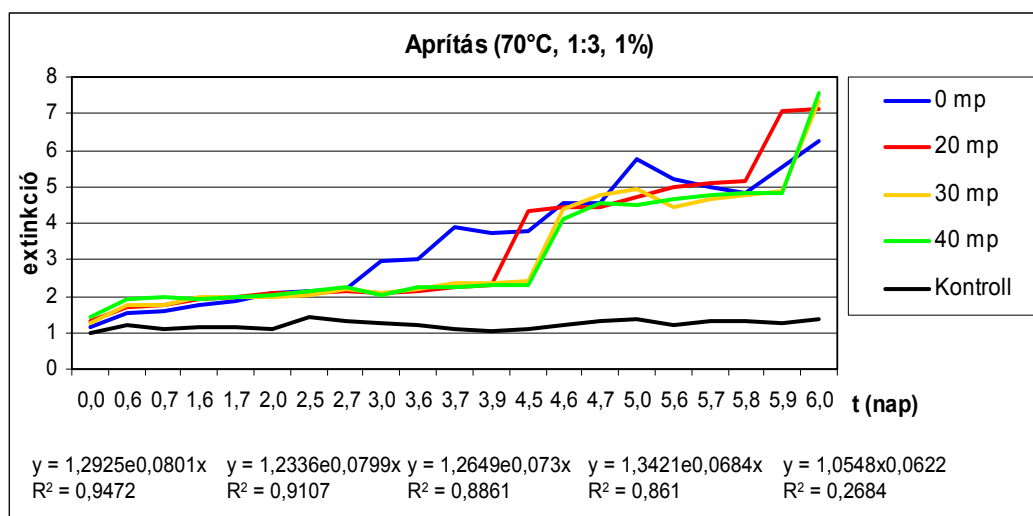
A 1.1.1., 1.1.2., 1.2.1., 3.2.1.-es kezelések átlagos extinkció értékei voltak a legmagasabbak, ami arra utal, hogy hatékonyabb volt a bontás, így ezeket a kezeléseket sikeresnek tekinthetjük. A Duncan-teszt eredménye alapján 1.1.1., 1.1.2., 1.2.1., 1.2.2. és 3.2.1.-es kezelések képeznek egy csoportot, mely kibővíti a sikeres kezelések számát eggyel, de megerősíti az eredeti feltevést is. Az 1.1.3., 3.1.1., 3.1.2.-es kezelések már szignifikánsan különböznek. A harmadik kategóriába az 1.2.3., 3.1.3., 3.2.2., 3.2.3. kezelések sorolhatóak. A kontroll-kezelések (1.0.0., 3.0.0.) esetében mutatkozott a legnagyobb eltérés, az egyik kezeléssel sem mutattak szoros összefüggést. Megállapítható, hogy a baktérium kultúra használata nélküli és használatával beállított kezelések között szignifikáns különbség mutatható ki (SD0,1%) a bomlás hatékonysága szempontjából, melyet a 20. melléklet is jól szemléltet.

A baromfi toll aprítása

A baromfi tollat aprítás nélkül és három különböző időtartamon (20, 30, 40 másodperc) aprítottam, majd az átlagosan 8; 4,6; 4,2 és 2,7 cm-es méretű baromfi tollat 70°C-on

hőkezelt, 1:3-as toll:víz arányt állítottam be, és 1%-os baktérium kultúrával oltottam. Emellett kezeletlen kontroll mintát is beállítottam. A kezelések pH-ja a beállításkor enyhén lúgos (7,4), majd a baktérium felszaporodását követően enyhén savas (6,4-6,6) értékeket mutatott. A kísérlet harmadik napján a pH drasztikus csökkenése volt megfigyelhető, ezért foszfát-puffert adtam a kezelésekhez. A pH-t sikerült stabilizálni 6,6-os értéken. A kontroll minta kémhatása enyhén lúgos (7,0 – 7,5) volt. A kísérlet során összesen 85 ml foszfát-puffert használtam fel, míg aprítás nélküli kísérletekben a maximálisan felhasznált foszfát-puffer mennyiség 15 ml volt. Megállapítható, hogy az aprított toll baktériumos előkezeléséhez szükséges pH fenntartásához már a laboratóriumi feltételek között is irreálisan nagy mennyiségű foszfát-puffert kellett felhasználni.

Az aprítás nélküli és aprított, 70°C-on hőkezelt, 1:3-as toll:víz arányú, 1%-os baktérium kultúrával beoltott baromfi toll extinkció eredményei a 20. ábrán és a 24. táblázatban láthatóak. A homogenizált tollal folytatott kísérletek során az extinkció kezdeti értékei (1,7-2,0) az 5. napon intenzíven megnöttek (7,2), míg a kontrollminta extinkciója 1,0 körüli értéken mozgott.

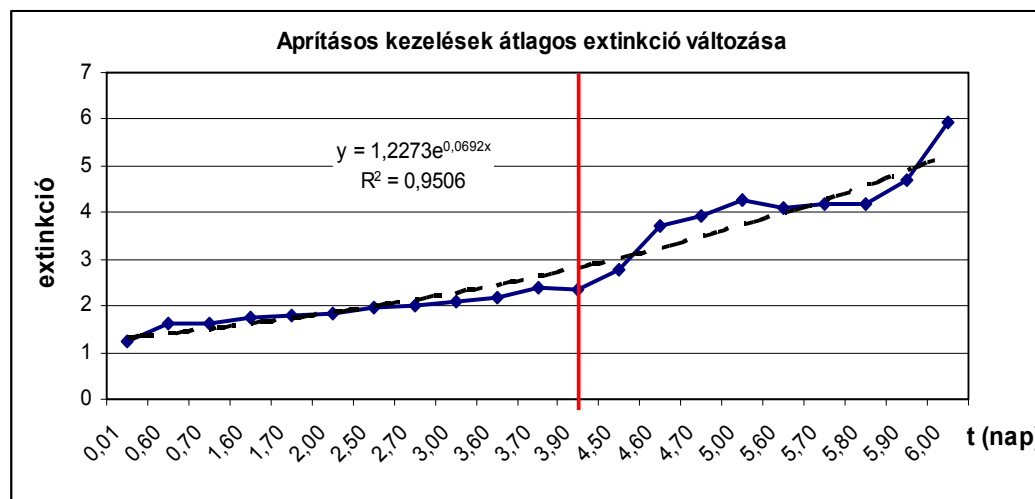


20. ábra. Az aprított baromfi tollal beállított kezelések extinkció értékeinek változása

24. táblázat. Aprított baromfi toll extinkció eredményeinek elemzése (70°C-on hőkezelt, 1:3-as toll:víz arányú, 1%-os baktérium kultúrával kezelt baromfi toll)

Paraméterek	Kontroll (1)	8 cm (0 mp) (2)	4,6 cm (20 mp) (3)	4,2 cm (30 mp) (4)	2,7 cm (40 mp) (5)
Átlag ± σ	1,21±0,12	3,50±1,59	3,38±1,81	3,17±1,61	3,17±1,59
Maximum	1,45	6,24	7,11	7,35	7,58
Minimum	1,01	1,16	1,31	1,27	1,42

A kezelések statisztikai elemzése alapján a 4-es és 5-ös kezelések extinkció és pH adatai nem mutattak normál eloszlást. Így a kezelések és a kontrollminta extinkció adatainak átlagos lefutása alapján, - melyre 95%-os valószínűséggel (erős összefüggés) illeszthető exponenciális görbe (21. ábra) - két szakaszra osztottam fel az adatbázist, a folyamat intenzitását, lefutását és az eltelt időt alapul véve.



21. ábra. Aprítással kiegészített kezelések átlagos extinkció értékeinek szakaszolása

A 3,9. nap előtti adatok az első szakaszba tartoztak, míg a 3,9. nap és azt követő adatok a második szakaszba. Az I. szakasz adataira 95%-os valószínűséggel lehetett hatvány függvényt illeszteni, míg a II. szakaszra 89%-ossal, az összefüggés mindkét esetben erős. Az egyes szakaszba tartozó adatok már normál eloszlást mutattak. A középértékek szimultán összehasonlításának eredményeit 25. táblázatban ábrázoltam 0,1%-os szignifikancia-szint mellett. A 25. és 26. táblázatokban az egyes betűszámok az összetartozó csoportokat jelölik.

25. táblázat. Az aprításos kezelések extinkció értékeinek változása közötti összefüggés

Kezelések	I. szakasz (Games-Howell, Dunett T3)		II. szakasz (Duncan, Tukey)		Jelmagyarázat
	Átlag $\pm$ σ	Csoportok	Átlag $\pm$ σ	Csoportok	
1.	1,18 $\pm$ 0,12	a	1,24 $\pm$ 0,12	a	Kontroll
2.	2,21 $\pm$ 0,8	b	4,92 $\pm$ 0,8	b	8 cm (0 mp)
3.	1,95 $\pm$ 0,27	b	4,96 $\pm$ 1,38	b	4,6 cm (20 mp)
4.	1,96 $\pm$ 0,29	b	4,49 $\pm$ 1,40	b	4,2 cm (30 mp)
5.	2,02 $\pm$ 0,24	b	4,43 $\pm$ 1,47	b	2,7 cm (40 mp)
F-érték	9,76 ***		18,29 ***		

*** $P < 0,001$

Az előkezelt baromfi toll idősoros extinkció adatainak statisztikai elemzése alapján elmondható mind az első, mind a második szakasz esetében, hogy a kontroll-kezelések, - melyeket nem oltottunk baktériummal - szignifikánsan különböznek a többi kezeléstől. Az aprítás mértéke nem befolyásolta jelentősen az extinkció mértékét, így megállapítható, hogy a nincs szignifikáns különbség a különböző tollmérettel beállított kezelések bonthatósága között. A kísérlet eredménye megerősíti *Hegedűs et al.* (1998) megállapításait, melyet az aprítás és a baromfi toll degradációjának összefüggésével kapcsolatban tettek.

26. táblázat. Az aprításos kezelések kémhatásának változása közötti összefüggések

Kezelések	I. szakasz (Duncan, Tukey)		II. szakasz (Games-Howell, Dunnett T3)	
	Átlag $\pm \sigma$	Csoportok	Átlag $\pm \sigma$	Csoportok
1.	7,19 $\pm$ 0,14	a	7,16 $\pm$ 0,19	a
2.	6,84 $\pm$ 0,15	b	6,83 $\pm$ 0,13	b
3.	6,59 $\pm$ 0,28	c	6,48 $\pm$ 0,04	c
4.	6,59 $\pm$ 0,29	c	6,53 $\pm$ 0,06	c
5.	6,59 $\pm$ 0,32	c	6,55 $\pm$ 0,05	c
F-érték	12,58 ***		68,16 ***	

*** $P < 0,001$

A kémhatás tekintetében megfigyelhető, hogy a kontroll beállítások (1.), az aprítás nélküli kezelések (2.) és a különböző méretre aprított tollal beállított kísérletek (3.,4.,5.) külön csoportokba sorolhatóak az I. és a II. szakaszban egyaránt (30. táblázat). A kontroll (oltás nélküli) kezelések pH értéke semleges, enyhén lúgos volt a kísérlet alatt. Az aprítás nélküli, baktériummal oltott tollal beállított kísérletek kémhatása enyhén savas volt (6,8). Az aprítás mértéke nem volt szignifikáns hatással a pH értékre.

4.1.2. Baromfi toll fizikai és kémiai előkezelésének eredményei (BOKU)

A tollfehérjét, az un. keratint több elem alkotja, a legfontosabb a szén, az oxigén, a nitrogén és kén. Ezen paraméterek közül az eredeti baromfi tollban tömegállandóságra való szárítás és megfelelő homogenizálás után a szén- és a nitrogén-tartalmat analizáltuk (27. táblázat).

27. táblázat. Az eredeti baromfi tollban mért minőségi paraméterek

Paraméterek	Szén-tartalom (%)	Nitrogén-tartalom (%)	C/N arány
1.	50,59	14,31	3,54
2.	53,66	14,605	3,67
3.	50,58	14,81	3,42
4.	-	12,63	-
Átlag $\pm \sigma$	51,61 $\pm$ 1,78	14,09 $\pm$ 0,995	3,66 $\pm$ 0,13

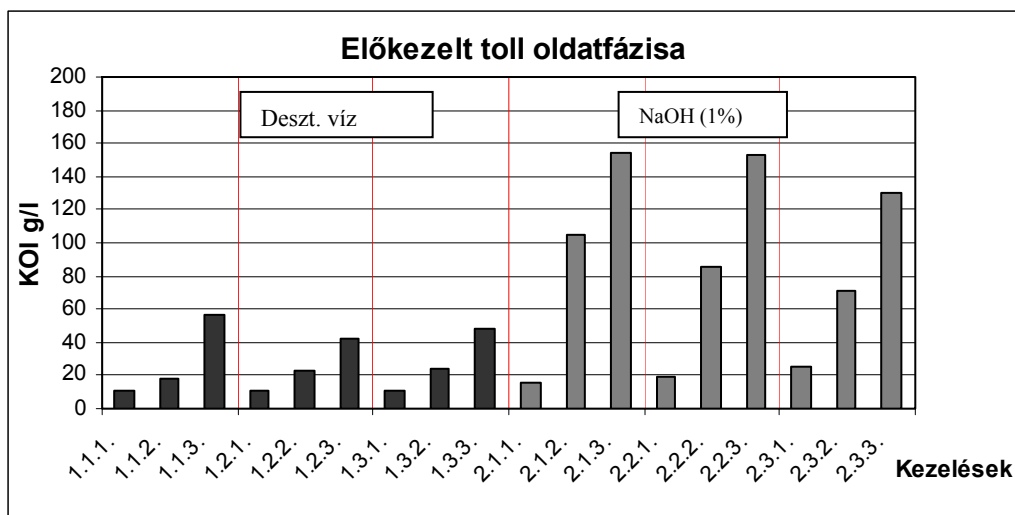
A kísérlet beállítása előtt mind a tollmintákban, mind a toll: desztillált víz elegyekben megmértem a száraz- és szervesanyag-tartalmat. Az eredeti baromfi tollban azért, hogy megtudjam, hogy a vágóhídról mekkora nedvesség-tartalommal kerül ki, a toll:deszt.víz elegyekben a későbbi számítások érdekében. A vágóhídról a baromfi toll átlagosan 67,72%-os nedvesség-tartalommal került ki, míg a 1:2-es toll:deszt.víz elegy átlagosan 10,97%-os szárazanyag-tartalommal rendelkezett. A toll szervesanyag-tartalmának átlaga szárazanyag-tartalomra vonatkoztatva 66,2% volt. Az eredeti és végtermék esetében vizsgáltam az oldat kémhatását (28. táblázat).

28. táblázat. A minták kezdeti pH-ja, száraz- és szervesanyag-tartalma

Beállítások sorszáma	A toll szá.- tartalma (%)	A toll szervesa.- tartalma (%)	A toll:víz elegy szá.-tartalma (%)	A toll:víz elegy szervesa.-tartalma (%)
1.1.1.	31,70	60,1	10,34	1,36
1.1.2.	33,64	61,7	10,14	1,29
1.1.3.	22,95	63,5	11,47	1,04
1.2.1.	33,08	65,0	11,34	1,27
1.2.2.	33,90	67,0	11,25	0,46
1.2.3.	30,44	65,5	11,53	1,67
1.3.1.	34,45	72,1	10,55	1,51
1.3.2.	33,96	71,1	11,06	1,48
1.3.3.	36,36	70,1	10,97	1,46

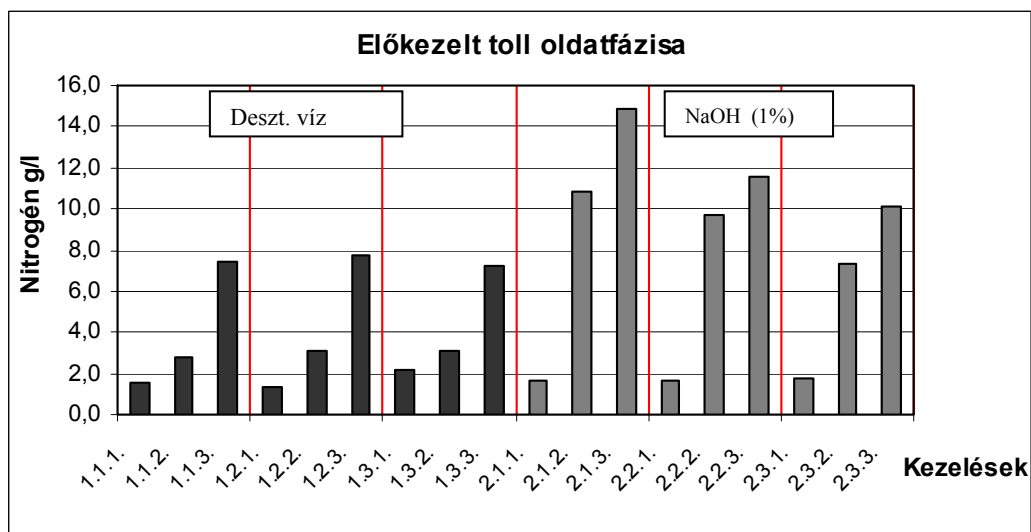
Az eredeti és végtermék esetében is vizsgáltuk az oldat kémhatását, melynek eredménye a 21. mellékletben figyelhető meg. A kezdeti átlagos pH desztillált víz esetében 7,2 volt, ami az előkezelés után minimálisan csökkent. 1%-os NaOH-oldat alkalmazásakor a kezdeti átlagos 7,8-as pH érték egy értékkel nőtt.

A végtermék oldat-fázisának kémiai oxigén-igényét vízanalitikai gyorseszttel, ill. fotométerrel határoztam meg. Megállapítható, hogy a tollból az oldatba oldódott szén mennyisége (g KOI l⁻¹) desztillált víz, 0 mp aprítás alkalmazása esetén a 70°C-on hőkezelt mintákhoz képest 130°C-on kétszeresére, 160°C-on kb. ötszörösére növekedett (22. ábra).



22. ábra. A kezelések után az oldatfázisban mért kémiai oxigénigény

A maximális értéket az 1%-os NaOH-oldattal beállított 160°C-on hőkezelt, nem aprított baromfi tollnál tapasztaltam. A hőkezelés hatására tehát szignifikánsan nőtt az oldat szervesanyag-tartalma (g KOI l^{-1}) míg a homogenizálás nem befolyásolta szignifikánsan. A 23. ábra a végtermék oldatfázisába beoldódott nitrogén-mennyiségét szemlélteti.



23. ábra. A kezelések után az oldatfázisban mért teljes nitrogén mennyisége

Megállapítható, hogy a hőkezelés mértéke jelentősen befolyásolta az oldatba beoldódott nitrogén mennyiségét. Desztillált víz használata esetén a 70°C-os, aprítás nélküli mintához képest 130°C-on 1,5-szeres, 160°C-nál 3,5-szeres, míg 1%-os NaOH-oldatnál 130°C-os hőkezelést követően négyszeres, 160°C-osnál ötszörös N-mennyiségnövekedést eredményezett. A homogenizálás hatására ez az érték kismértékben, fordított arányosan

változott. Az oldatfázis N-tartalma aprítás nélküli, 160°C-on hőkezelt, 1%-os NaOH-oldattal elegyített tollminta esetén volt maximális. A baromfi tollból az oldatba beoldódott nitrogén mennyisége aprítás alkalmazása nélkül, vegyszer-használat és 160°C-os hőkezelés esetében érte el a maximális értéket. Desztillált víz esetében ez 40 mp-es homogenizálás és 160°C alkalmazása mellett volt realizálható. A végtermék átlagos C/N arányai desztillált víz esetén 6,9:1, NaOH-oldat alkalmazásánál 11,4:1 voltak. Az összefüggés-vizsgálatok során adalékanyagokként lineáris regresszió-analízissel vizsgáltam az aprítás és a hőmérséklet eredménybefolyásoló hatását (29. táblázat).

29. táblázat. A homogenizálás és a hőmérséklet hatása a toll-bontás hatékonyságára

Homogenizálás	Desztillált víz					Hőmérséklet (°C)	Desztillált víz				
		<i>R</i>	<i>R</i> ²	<i>F-érték</i>	<i>P</i>			<i>R</i>	<i>R</i> ²	<i>F-érték</i>	<i>P</i>
	<i>N</i>	0,0003	1*10 ⁻⁷	1*10 ⁻⁶ n	0,999		<i>N</i>	0,855	0,73	43,328 *	0
	<i>C</i>	0,063	0,004	0,088 n	0,77		<i>C</i>	0,449	0,201	5,549 *	0,028
	<i>pH</i>	0,183	0,033	0,692 n	0,415		<i>pH</i>	0,865	0,748	59,41 *	0
	1% NaOH						1% NaOH				
		<i>R</i>	<i>R</i> ²	<i>F-érték</i>	<i>P</i>			<i>R</i>	<i>R</i> ²	<i>F-érték</i>	<i>P</i>
	<i>N</i>	0,238	0,057	0,964 n	0,341		<i>N</i>	0,949	0,902	146,475 *	0
	<i>C</i>	0,151	0,023	0,374 n	0,549		<i>C</i>	0,946	0,895	136,148 *	0
	<i>pH</i>	0,388	0,151	2,843 n	0,111		<i>pH</i>	0,67	0,449	13,02 *	0,002

n = nem szignifikáns, * = P < 0,05

A kapott korrelációs koefficiensek (R) és a hozzájuk tartozó szignifikancia-érték (Sig.) alapján megállapítottam, hogy az aprítás egyik adalékanyag esetében sem, míg a hőmérséklet mindhárom vizsgált tényezőt befolyásolta.

A kezelt toll:víz elegy szűkítheti a többi alapanyag C/N arányát (deszt.víz esetén:~7:1). Az eredeti toll pH értéke semleges, mely az előkezelés hatására, desztillált víz esetében minimálisan csökkent, míg az 1%-os NaOH-oldat alkalmazásakor a kezdeti enyhén lúgos elegy kémhatása átlagosan egy értékkel nőtt (7,8 -> 9,3). A tollból az oldatba oldódott szervesanyag mennyisége (g KOI l⁻¹) az 1%-os NaOH-oldattal beállított 160°C hőkezelt, nem aprított baromfi tollnál volt maximális. Lúgos kémhatása és erős bázikus tulajdonsága miatt mégsem javasolható biogáz-előállítás alapanyagként, mert kedvezőtlenül befolyásolhatja a mikroorganizmusok élettevékenységét. A deszt.vízzel beállított kezelések közül a 160°C-on hőkezelt baromfi toll feltáródása mind N-, mind C-tartalom tekintetében szignifikáns különbségeket mutatott. A kapott korrelációs koefficiensek (R) és a hozzájuk tartozó szignifikancia-érték (P) alapján megállapítottam, hogy a desztillált víz alkalmazása mellett a hőmérséklet erős összefüggést mutatott a N-tartalommal (R = 0,92), közepes összefüggést a

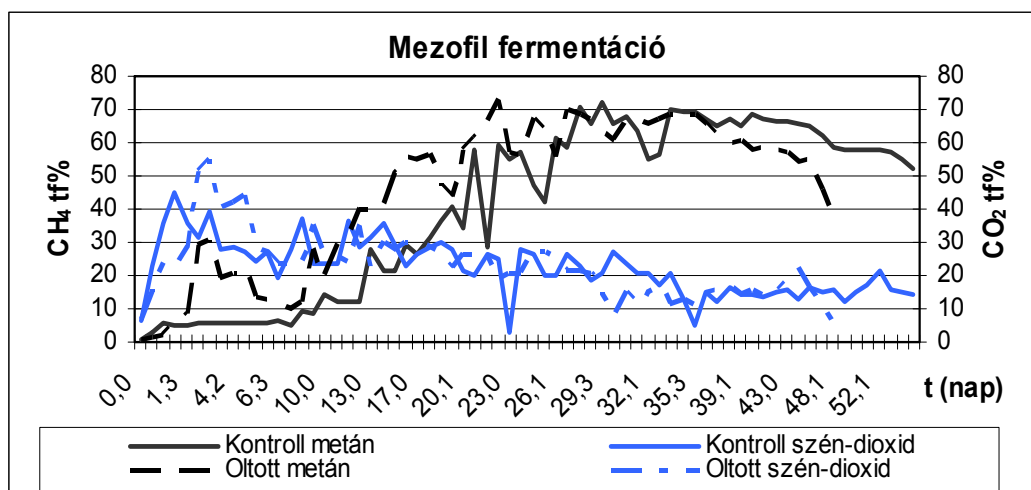
pH-val ($R = 0,67$) és gyenge-közepes összefüggést a szén-tartalommal ($R = 0,45$). NaOH-os kezelés mellett a hőmérséklet erős összefüggést adott a C- és N-tartalommal ($R = 0,95$), valamint közepes összefüggést a pH-val.

4.1.3. Sertés hígtrágya biogáz kihozatalának eredményei (DE)

A sertéstelepek hulladékként kezelt, legtöbbször hasznosítatlan hígtrágyáinak monoreceptúrás biogáz célú felhasználását vizsgáltam az egy-összetevős rendszerek előtesztelése miatt.

A mezofil (35°C) és a termofil (52°C) Batch fermentációs eljárások összehasonlítása:

A kísérletek a korábban ismertetett (3.2.1 fejezet) kismodell berendezésekben zajlottak. A mezofil kontroll-kezelés (4. fermentor) hatására a metán-koncentráció (tf%) a harmadik nap 6% volt, a 14. napra 21%-ra emelkedett. Ezt követően fokozatos növekedés volt tapasztalható, a maximális 72,5%-os koncentrációt a 29. napon érte el (24. ábra).



24. ábra. A mezofil fermentáció során mért metán- és szén-dioxid koncentrációk

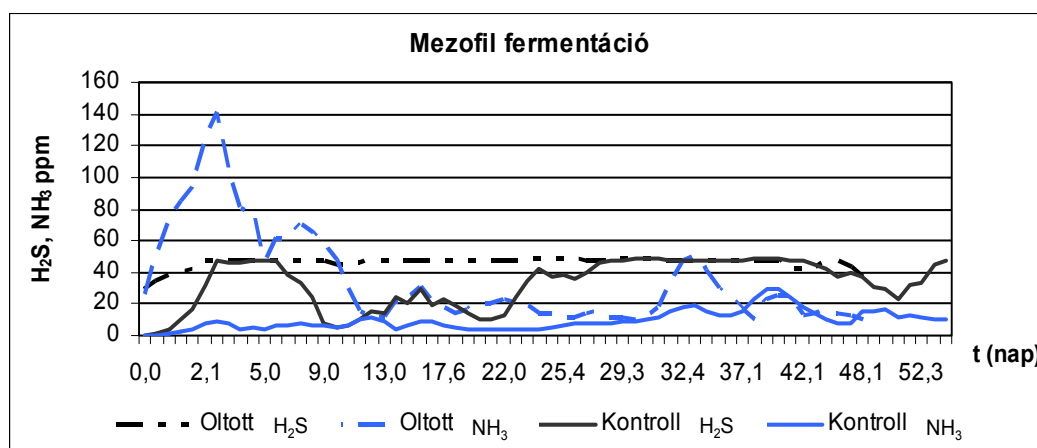
A szén-dioxid koncentráció már az első napon 35% fölé emelkedett, majd a 8. nap (37 tf%) után folyamatosan csökkent. Az oltott mezofil beállítás esetében (2. fermentor) a metán koncentráció már a 3. napon 20% fölé emelkedett, a második hét végére 41%-ra nőtt, a 22. napra 72,7%-os értéken maximalizálódott. A CO_2 -koncentráció (tf%) az első nap 23% volt, majd folyamatos növekedett a 3. napig (55%), majd 25-30% között mozgott a 22. napig, amit követően csökkent.

A termofil kezelés esetében hasonló megállapításokat tehetünk az előző kísérleteknél leírtakhoz (22. melléklet). A termofil kontroll beállítás (3. fermentor) CH_4 -koncentrációja a 3. nap 6% volt, mely két hét alatt érte el a 40%-os értéket, majd hirtelen emelkedett, a maximális

72,5%-os koncentrációt a 28. napon érte el. A CO₂ koncentráció az első napon 35,5%-os, míg a maximális koncentráció (8. nap) mellett 36,1%-os értéket vett fel.

Az oltóanyaggal kezelt beállításnál a metántermelődés néhány óra alatt látványosan nőtt, majd a hidrolízis fokozódásával mérséklődött. A termofil oltott kezelés (1. fermentor) során a 3. napi metán koncentrációja 8% volt, majd a 14. napra 40%-ra nőtt, a 22. napra már elérte a 72,4%-os maximális értéket, mely kisebb ingadozásokkal két hétig stagnált. A szén-dioxid esetében az első nap 23,6%-os, a 9. napon a legnagyobb 9%-os koncentrációt mértem. A termofil hőmérsékleti tartományban fermentált sertés hígtrágya CH₄-tartalma már a kísérlet kezdeti szakaszában intenzívebb növekedést mutatott, mint a mezofil, és ezt rövidebb tartózkodási idővel érte el. A metán-tartalom egyenletesen emelkedett a fermentáció időtartama alatt. Az oltás hatására csökkent a hidraulikus tartózkodási idő. A kezeletlen beállítások esetében ez az időtartam 31. nap, a beoltott kezelések esetében 25. nap volt. A laboratóriumi vizsgálatok során termelődő biogáz összetétele kedvező volt, átlagos metántartalma elegendő a gazdaságos felhasználásához. A gázkoncentráció maximális értéke mindkét esetben 70% körül alakult. A biogáz-hozam adatok egy hetes összegei alapján elmondható, hogy a maximális értékek (5,46 dm³/nap) a termofil oltott kezelések esetében termelődtek. A gázhozam adatok a második héttől a negyedik hétig mutattak tartósságot.

A kénhidrogén és az ammónium mennyiségének (ppm) mérése különösen fontos az erjesztési folyamat során, hiszen túlzott mennyiségük toxikus lehet, illetve versengés alakulhat ki az energiaforrásért a denitrifikáló, szulfátredukáló és a metanogén baktériumok között. A 25. ábrán a 35°C-on kezelt sertés hígtrágya fermentálása során termelődött H₂S és NH₃ mennyisége látható ppm-ben.



25. ábra. A mezofil kezelés során termelődő kénhidrogén, ammónia mennyisége (ppm)

Az oltott kezelés esetében a legmagasabb 180 ppm-es NH_3 mennyiség a kezdeti időszakban termelődött, ezt követően mennyisége 60 ppm alatt maradt. A H_2S mennyisége kismértékű ingadozásoktól eltekintve 48 ppm volt. Az oltóanyagot nem tartalmazó fermentorban az NH_3 termelés ehhez képest alacsonyabb volt, míg a H_2S adatok között nincs számottevő különbség.

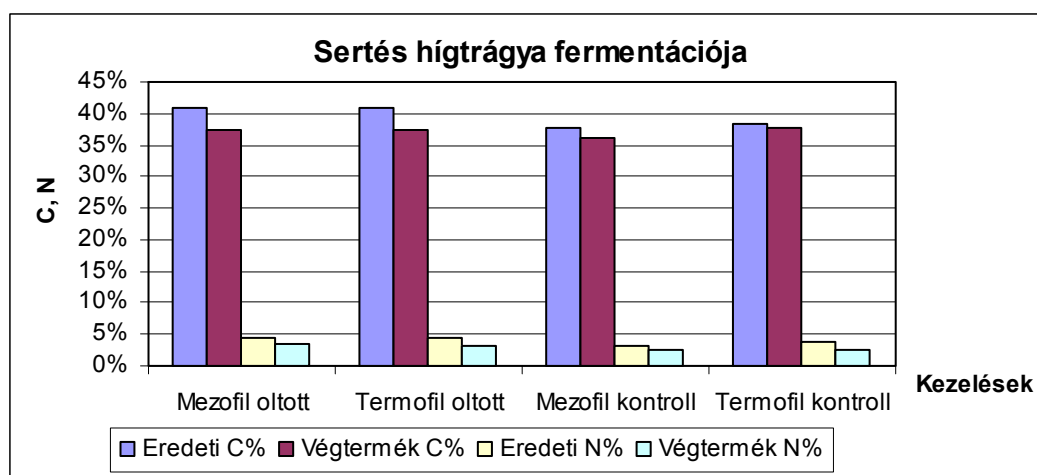
Az oltóanyag nélküli beállításnál (3. fermentor) a CH_4 koncentráció az első nap 0,45% volt, az 50%-os értéket a 21. napon, míg a maximális 72,2%-os koncentrációt a 29. napon érte el. A CO_2 koncentráció az első napon 7%-os, míg a maximális koncentráció (8. nap) mellett 36,8%-os értéket vett fel. Termofil erjesztés során mind az NH_3 mind a SH_2 koncentrációk kezdeti fokozódását illetve tartózkodásának idejét vizsgálva, elmondható, hogy a SH_2 48 ppm-es átlagértékkel rendelkezett, ezzel szemben az NH_3 a kezdeti kiugró értékhez képest folyamatos csökkenést mutatott.

A H_2S mennyisége a kezelt fermentációban az első három órában 0-ról 28 ppm-re, egy nap elteltével 49 ppm-re emelkedett, a harmadik napon átmenetileg csökkent az értéke 24 ppm-re, majd a kísérlet ötödik napjától ismét 48 ppm értékeket vett fel. A NH_3 tartalom a 2. nap végére érte el a maximális 184 ppm-es értéket, majd a kísérlet végéig folyamatosan csökkent (16 ppm). A kísérlet beállítása előtt és a fermentáció után vizsgáltam az alapanyagok száraz- és szervesanyag-tartalmát, melynek eredményeit a 30. táblázatban szemléltetem. A termofil és mezofil kísérletek esetében a kezelt (1. és 2.) fermentáció szárazanyag-tartalma a hozzáadott oltóanyag miatt nagyobb volt. A végtermékek száraz- és szervesanyag-tartalma tehát nagyobb mértékben csökkent az oltott, mint a kontroll kísérletekben.

30. táblázat. Az eredeti hígtrágya és a végtermék száraz- és szervesanyag-tartalma

Beltartalmi értékek	Mezofil oltott	Termofil oltott	Mezofil kontroll	Termofil kontroll	Mezofil oltott	Termofil oltott	Mezofil kontroll	Termofil kontroll
Eredeti Sz.a.%	6,50%	6,40%	4,13%	3,53%	Különbségek (%)			
Végtermék Sz.a.%	2,21%	3,34%	2,69%	3,40%	-4,29	-3,06	-1,44	-0,13
Eredeti Szerv.a.%	4,87%	4,77%	3,08%	2,55%	-3,26	-2,21	-1,06	-0,09
Végtermék Szerv.a.%	1,61%	2,56%	2,02%	2,46%				

A 26. ábrán a különböző kísérleti beállítások és az eredetileg beállított nyersanyagok C%, N% és C/N arányát vetettük össze a végtermékek ugyanezen adataival.



26 ábra. Az eredeti hígtrágya és a végtermék C%, N%-tartalma

Az oltott, rövidebb, 49 napos tartózkodási idővel lefutó fermentáció esetében szűkebb volt a C/N arány, mint a kontrollban, ami 56 napos tartózkodási idővel rendelkezett (31. táblázat).

31. táblázat. C/N arány változása a kísérlet alatt

Beltartalmi értékek	Mezofil oltott	Termofil oltott	Mezofil kontroll	Termofil kontroll
Eredeti C/N	9,11	9,34	11,83	10,3
Végtermék C/N	11,14	11,95	15,1	15,75

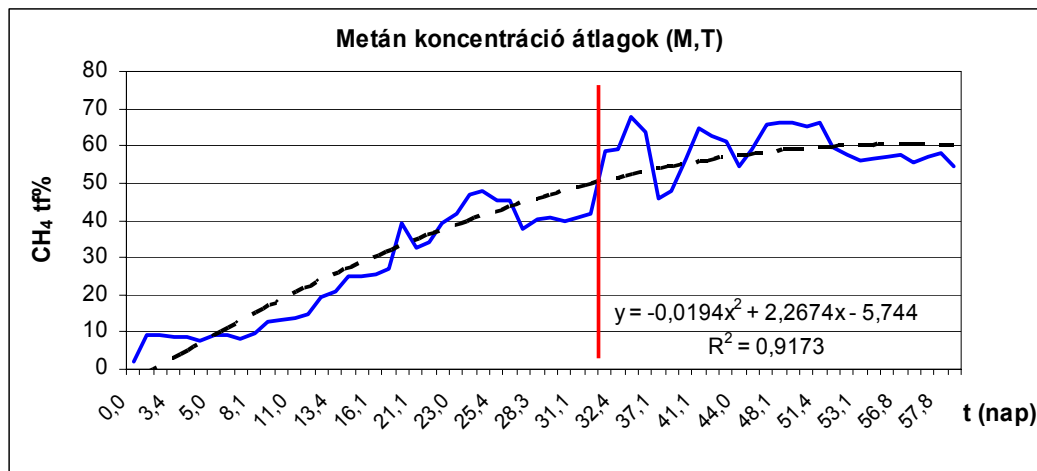
A fermentáció hatására az eredetileg szűk C/N arányok tágultak. A C-tartalom nagyobb mértékben, míg a nitrogén-tartalom arányaiban kisebb mértékben csökkent a kezelés hatására. Az alapanyagok könnyen feltárható szén-tartalma metánná és szén-dioxiddá alakult át, míg a nitrogén kigázosodott, illetve egy részét a baktériumok használták fel sejteik felépítéséhez.

4.1.4. Sertés hígtrágya és előkezelt baromfi toll együttes fermentálásának eredményei (DE)

A sertés hígtrágyához (kontroll) különböző arányokban (5, 10, 20, 40 %) előkezelt (termikus, mikrobiális kezelés) baromfi tollat adagoltam, majd vizsgáltam a termelt biogáz metán-, szén-dioxid, kénhidrogén és ammónia-tartalmának (ppm) változásait.

Az adatok statisztikai elemzése kapcsán először elvégeztem a normalitás tesztet. Az adatok nem mutattak normál eloszlást, így növekvő és csökkenő tendencia alapján két szakaszra bontottam az adatsort. Az I. szakasz a metanogén fázis kezdete és a függvény alapján 45%-os metán-koncentrációig terjed ($28,3.\text{nap} \geq$), a II. az intenzív metántermelési szakasz ($28,3.\text{nap} <$). A kapott adatsorokkal újra elvégeztem a normalitás tesztet. Az adatsor felosztásához először átlagoltam az összes kezelés adatait, majd az így kapott vonaldiagramra másodfokú

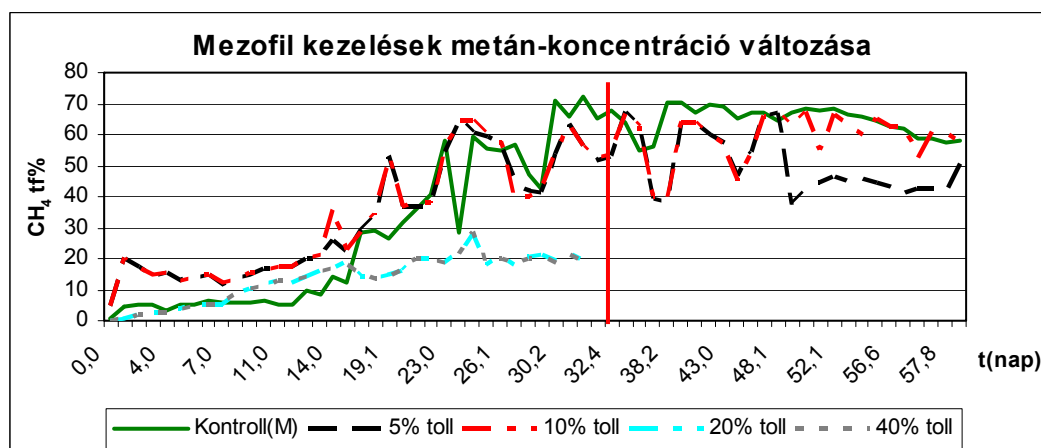
polinom függvényt illesztettem, mely erős összefüggést ($R^2=0,92$) mutatott az adatokkal (27. ábra).



27. ábra. Átlagos metánkoncentráció adatok szakaszolása

Az I. szakaszra erős összefüggéssel ($R^2=0,92$), míg a II. szakaszra közepes-erőssel ($R^2=0,52$) lehetett másodfokú polinom függvényt illeszteni.

Az 5 és 10%-os keverési arány esetében a metánkoncentrációk kedvezőbben alakultak (28. ábra). A 60% körül ingadozó értékek tartósnak bizonyultak. Trendjét illetően a metántermelés mindkét beállítás esetében a hígtrágya referenciatermeléséhez hasonlóan alakult. A 20, illetve 40%-os keverési arány esetében már a fermentáció kezdeti szakaszában alacsony metán koncentrációk voltak megfigyelhetőek. A maximális metánkoncentráció nem haladta meg a 30%-ot.



28. ábra. Hígtrágya és előkezelt baromfi toll mezofil fermentációjának metán-koncentráció változása

Az adatok eloszlása az egyes szakaszokban nem tért el szignifikánsan a normál eloszlástól, így alkalmazhatók a paraméteres próbák a középértékek összehasonlítására (32. táblázat).

32. táblázat. A mezofil kezelések metán koncentráció változásának elemzése

Metán koncentráció (tf%)				
Kezelések	I. szakasz		II. szakasz	
	Átlag $\pm$ σ		Átlag $\pm$ σ	
1. (Kontroll)	21,5 $\pm$ 20,1	a	64,4 $\pm$ 6,1	a
2. (5%-os bekeverés)	29,5 $\pm$ 17,3	a	58,0 $\pm$ 9,5	b
3. (10%-os bekeverés)	29,1 $\pm$ 17,5	a	50,7 $\pm$ 8,0	a
4. (20%-os bekeverés)	12,7 $\pm$ 7,3	b	20,3 $\pm$ 1,2	c
5. (40%-os bekeverés)	12,6 $\pm$ 7,3	b	20,0 $\pm$ 1,0	c
F-érték	10,6 ***		51,6 ***	

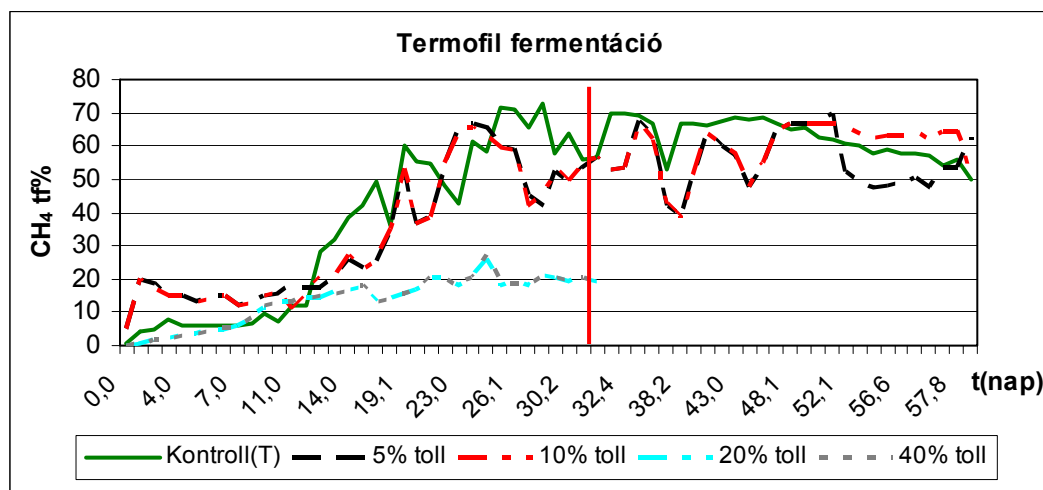
*** $P < 0,001$

A mezofil kezelések esetében az I. szakaszban az 1, 2 és 3-as kezelések és a 4 és 5-ös kezelések tartoznak egy csoportba, különböznek egymástól szignifikánsan, 10,6-os F-érték mellett. A II. szakasz elemeinek F-értéke 52,6, melyek közül a kontroll és a 3-as kezelés, illetve a 4-es és 5-ös kezelések sorolhatóak azonos csoportba, míg a 2-es kezelés szignifikánsan különbözik az összes többi kezeléstől.

A mezofil kezelések esetében a felfutási szakaszban az 5, 10%-os keverési arány esetében a metánkoncentrációk trendjüket illetően a referenciaértékhez hasonlóan alakultak, míg szignifikánsan eltértek a 20 és 40%-kal bekevert kezelésektől. Az ábrából is jól látható, hogy az 5 és 10%-os tollarány esetében a metán koncentráció jóval meghaladta (50%-kal) a 20 és 40%-os keverési arányból származó értékeket. A csökkenő szakaszban a kontroll és 10%-os kezelések már szignifikánsan különböznek az 5%-os kezeléstől, míg a 20 és 40% előkezelt tollal koferementált hígrágya metán koncentráció változása egymástól nem tért el, míg a többi kezeléstől szignifikánsan különbözött. A mezofil fermentáció során termelődött biogáz összesített mennyiségét dm³-ben a 23. mellékletben ábrázoltam.

Az 5- és 10%-os bekeverési arányok kedvező eredményeket hoztak, a termelt biogáz mennyisége jóval meghaladta (50%) a 20 és 40%-os keverési arányból származó értékeket. A 20 és 40%-os kezeléseket összehasonlítva látható, hogy az utóbbi fermentációs folyamat gyorsabban indult be, de alacsony volt a termelt biogáz mennyisége, melyben magas volt a kénhidrogén részaránya, illetve rövidebb idő alatt állt le a folyamat. A magas keratin-tartalom miatt termelődött kénhidrogén toxikus mértéket érhetett el a folyamat szempontjából.

A termofil erjesztés során keletkezett, a fermentációs folyamatokat jól indikáló metán koncentráció változását szemlélteti a 29. ábra az egyes toll:hígtrágya keverési arányok vonatkozásában.



29. ábra. Hígtrágya és előkezelt baromfi toll kofermentációja termofil körülmények között

Az eredmények a mezofil kezelésekhez hasonlóan alakultak, az 5, 10%-os beállítások metán koncentrációi meghaladták a 60%-ot. A 20, illetve 40%-os keverési arányok már a fermentáció kezdeti szakaszában kedvezőtlen folyamatokat indítottak el és a folyamat leállt a 32. napra, a maximális metánkoncentráció nem haladta meg a 30%-ot.

Az adatok eloszlása az egyes szakaszokban nem tért el szignifikánsan a normál eloszlástól, így alkalmazhatók a paraméteres próbák a középértékek összehasonlítására (33. táblázat). A termofil kezelések esetében a kontroll-kezelés nem különbözik szignifikánsan egyik kezeléstől sem az I. szakaszban, míg szignifikánsan különbözik a II. szakaszban.

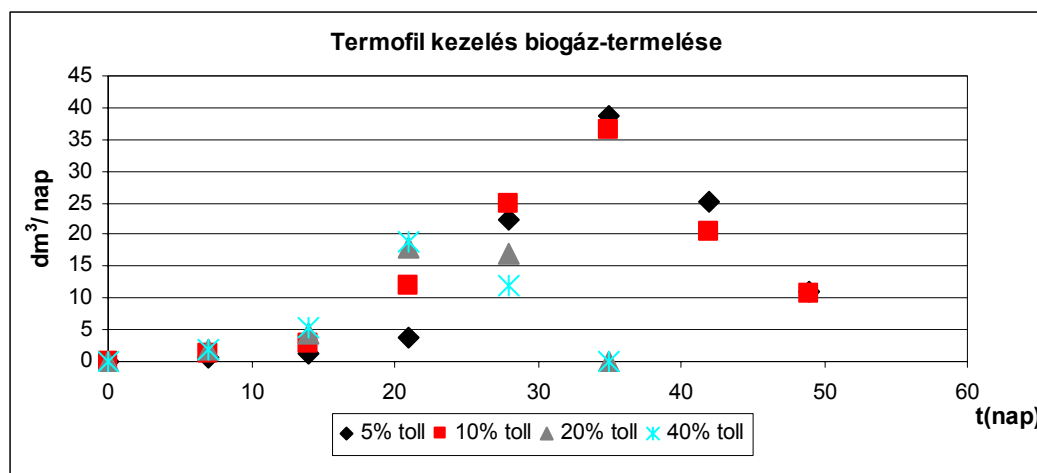
33. táblázat. Termofil kezelések metán koncentráció változásának elemzése

Metán koncentráció (tf%)				
Kezelések	I. szakasz		II. szakasz	
	Átlag $\pm \sigma$		Átlag $\pm \sigma$	
1. (Kontroll)	31,7 $\pm$ 25,3	a	62,1 $\pm$ 5,6	a
2. (5%-os bekeverés)	30,4 $\pm$ 19,0	b	55,2 $\pm$ 8,0	b
3. (10%-os bekeverés)	30,0 $\pm$ 19,0	b	58,7 $\pm$ 7,7	b
4. (20%-os bekeverés)	12,7 $\pm$ 7,1	c	19,7 $\pm$ 0,7	c
5. (40%-os bekeverés)	12,7 $\pm$ 7,2	c	19,8 $\pm$ 0,9	c
F-érték	9,6 ***		64,2 ***	

*** $P < 000,1$

Az I. szakasz 2-es és 3-as kezelései és a 4 és 5-ös kezelések tartoznak egy csoportba, különböznek egymástól szignifikánsan 9,6-os F-érték mellett. A II. szakasz elemeinek F-értéke 64,2, melyek közül az 2-es és a 3-as kezelés, illetve a 4-es és 5-ös kezelések sorolhatóak azonos csoportba.

A termofil kezelések esetében az 5, 10%-os bekeverési aránynál a metánkoncentrációk trendjüket illetően mindkét szakaszban szignifikáns különbséget mutattak a kontrollmintához képest. A 20 és 40% előkezelt tollal kofermentált hígtrágya metán koncentráció változása egymástól nem tér el, míg a többi kezeléstől szignifikánsan különbözött. A termofil fermentáció során termelődött biogáz mennyiségét (dm^3/nap) szemlélteti a 30. ábra.

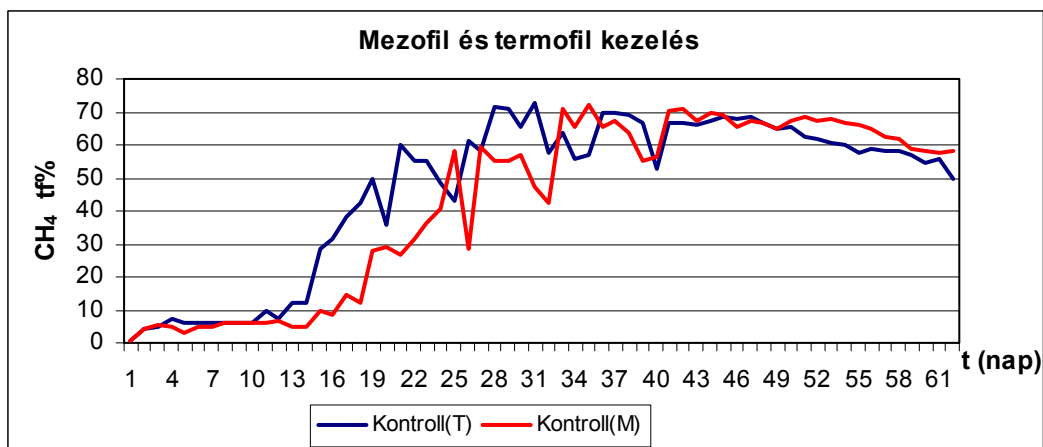


30. ábra. Baromfi toll kofermentációjának biogáz-termelése termofil körülmények között

Ha összehasonlítjuk a mezofil és termofil kezelések esetében a különböző előkezelt tollarányal beállított kezelésekben bekövetkezett változásokat jól látható, hogy az 5 és 10%-os tollarány esetében a termelt biogáz mennyisége jóval meghaladta (50%) a 20 és 40%-os keverési arányból származó értékeket, míg a termofil fermentáció esetében rövidebb idő alatt lezajlott a folyamat és 1-2%-os metán-termelésbeli növekedést is tapasztalható volt.

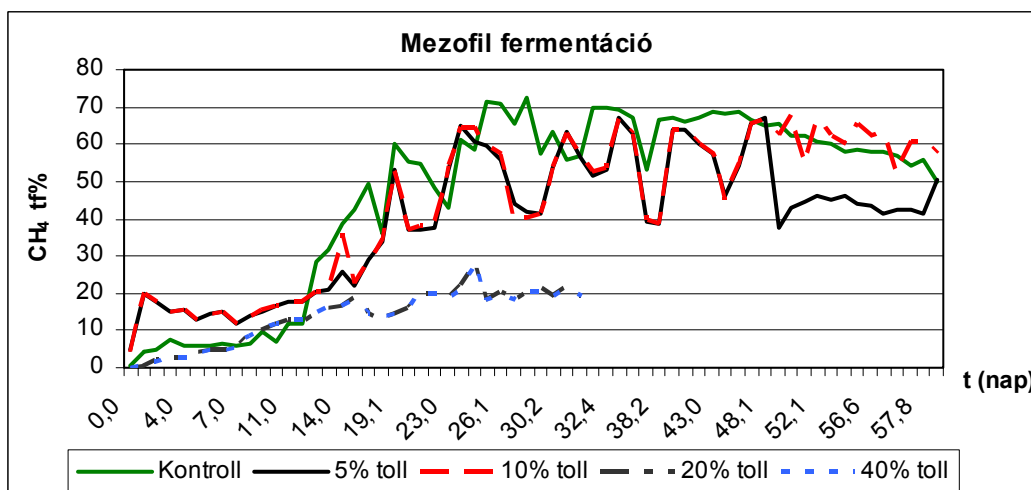
A mezofil és termofil kezelések eredményeinek összehasonlítása:

A mezofil és termofil hőmérsékleten kezelt sertés hígtrágya monoreceptúrás (kontroll) fermentálását és az előkezelt baromfi tollal bekevert egyes kezeléseket külön-külön (pl.: mezofil és termofil 5%-os bekeverési arány) hasonlítottam össze, hogy meghatározzuk az alkalmazott hőmérséklet hatását a biogáz-előállítás folyamatára. A 31. ábrán a kontroll kezelések lefutása látható.



31. ábra. A kontroll kezelések metán-koncentrációjának időbeni lefutása

A mezofil és termofil sertéshígrágyával beállított kezelések metán-koncentrációinak időbeni lefutásai nem különböznek egymástól szignifikánsan ($SD_{0,1\%}$), de a termofil kezelés 4 nappal korábban érte le a maximális 72,5%-os értéket. A mezofil kezelés esetében a 35. napon mértük a maximális 72,2%-os értéket (32. ábra).



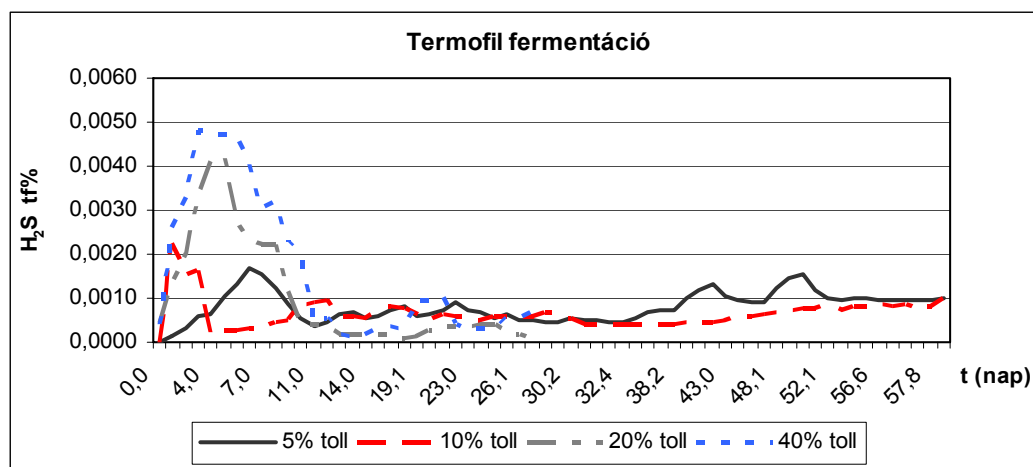
32. ábra. Az előkezelt baromfi tollal beállított mezofil kezelések metán koncentrációjának változása

A metán koncentrációk (tf%) az egyes kezelés párok (mezofil és termofil: 5%, 10%, 20%, 40%) esetében nem mutattak normál eloszlást, így növekvő és csökkenő tendencia alapján két szakaszra bontottam az adatsort, majd újra elvégeztem a normalitás tesztet. Az egyes szakaszok adatai már normál eloszlást mutattak, így már alkalmazható volt a független mintás T-próba a varianciák vizsgálatára, illetve a középértékek szimultán összehasonlítására (24. melléklet). A mezofil és a termofil fermentációt összevetve elmondható, hogy magasabb

hőmérséklet hatására gyorsabban indult be a folyamat és tartósabbnak bizonyult a metán koncentráció szempontjából.

A baromfi toll keratin-tartalma miatt, - mely magas kéntartalmú állati fehérje – megemelkedhet a biogáz kénhidrogén-tartalma, ezért volt fontos folyamatos mérése. Az előkezelt toll recepturába bekeverhető legnagyobb mennyiségét a folyamatra gyakorolt toxikus hatásából állapítottuk meg. A különböző arányban bekevert toll mezofil és termofil kofermentációja során termelődő kénhidrogén mennyiségét (tf%) a tartózkodási idő függvényében a 33. ábrán láthatjuk.

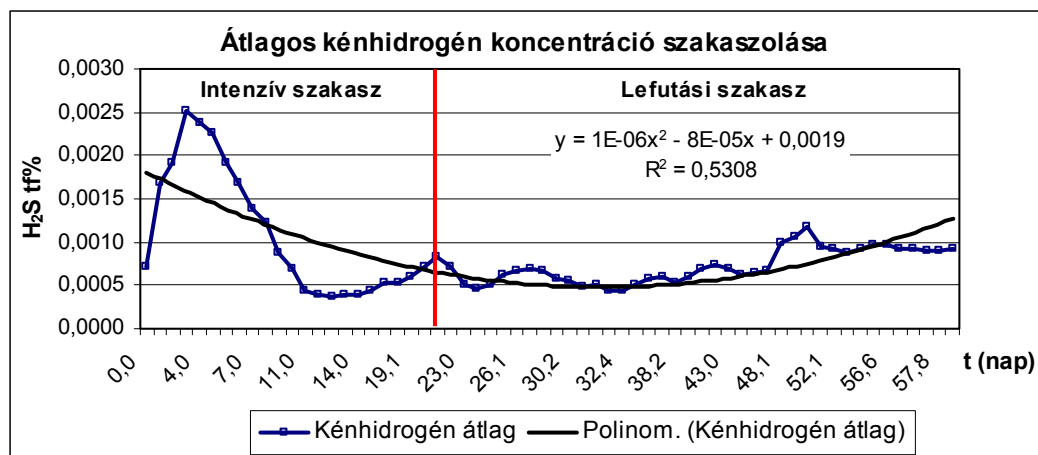
A H₂S-koncentrációk a nagyobb tollarányoknál (20, 40%), a fermentáció kezdeti szakaszában magas, kiugró értékeket, majd csökkenő tendenciát mutattak. Az 5 és 10%-os arányoknál a termelt biogáz kénhidrogén-koncentrációi - összevetve a nagyobb keverési arányokkal - kedvezőbben alakultak. Az 5%-os kezelésnél a 22. napon, a 10%-osnál a 27. napon volt megfigyelhető a gáztermelés maximális értéke. A tartózkodási idő végén a kisebb keverési arányok esetében egy második csúcs jelentkezett, ismételten megnőtt a kibocsátott kénhidrogén mennyisége, mivel a toll gerincének bontása a fermentáció utolsó szakaszában indult meg.



33. ábra. Termofil kezelések kén-hidrogén tartalmának változása

Ugyanez a tendencia volt megfigyelhető a termofil fermentációnál is, de a H₂S-termelés mértéke minimális növekedést (1%) mutatott a mezofil beállításokhoz képest, illetve a kénhidrogén termelés maximális értékét az 5%-os kezelés esetében már a 9. napon, a 10%-osnál pedig a 11. napon elérte. A termelődött kénhidrogén mennyiségek a 10 és 20%-os előkezelt baromfi tollal beállított kísérletek esetében nagy eltéréseket mutattak. A jelenséget részben magyarázhatja a keverési határérték átlépése is, de a kérdés pontos megválaszolása további kutatómunkát igényel.

Az egyes kezelés-párok (mezofil és termofil: 5%, 10%, 20%, 40%) statisztikai elemzése során megvizsgáltam a termelődött kénhidrogén mennyiségek normalitását és megállapítottam, hogy nem mutatnak normál eloszlást. Az összes lehetséges kezelés kénhidrogén adatait átlagoltam. Az átlagos kénhidrogén koncentrációkra 73%-os valószínűséggel illeszthető másodfokú polinom függvény, mely közepes-erős összefüggést jelent (34. ábra).



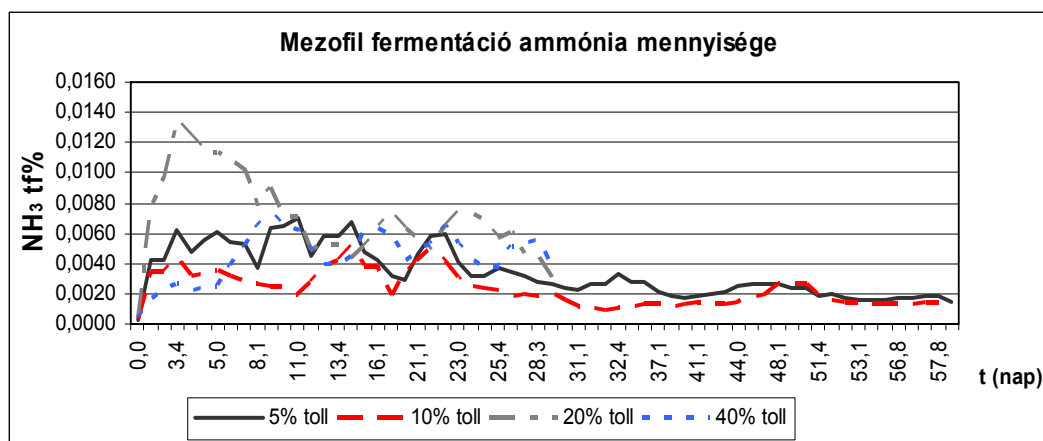
34. ábra. Kezelések átlagos kénhidrogén koncentrációinak szakaszolása

A normál eloszlás vizsgálatának eredménye miatt két szakaszra bontottam az adatsort. Az I. szakaszt (13,4 nap $\leq$) maximális kénhidrogén-termelődés jellemzi erős ingadozással. A II. szakaszban (13,4 nap $<$) kiegyenlített szakaszra. A másodfokú polinom függvényt az I. szakaszra (64%-os) és a II. szakaszra közepes-erős (78%) összefüggéssel lehetett illeszteni. Az egyes szakaszok adataira újra elvégeztem a normalitás tesztet, mely az adatsorok normalitását igazolta, így már alkalmazható volt a varianciaanalízis a középértékek szimultán összehasonlítására, melynek eredményei a 25. *mellékletben* láthatóak. A Levene-teszt eredményei a varianciák különbözőségét igazolták.

A varianciaanalízis alapján 5 főcsoportba sorolhatjuk az adatokat (a-e), de az egyes csoportok között jelentős mértékű az átfedés. A toll bekeverési arányát figyelembe véve megállapítható, hogy az I. szakasz adatainál az 5 és 10%-os kezelések tartoznak egy csoportba, a 20 és 40%-os kezelésektől szignifikánsan különböznek. A mezofil 20%-os és termofil 40%-os beállítások egy csoportot képeznek (a), ugyanúgy, mint a termofil 20%-os mezofil 40%-os kezelések (b). A II. szakaszba tartozó adatok esetében a hőmérsékleti beállítás az 5%-os (c), illetve a 10%-os kezelések (cde) nem befolyásolta szignifikánsan az eredményt, míg a bekevert toll mennyisége alapján eltérő csoportba sorolhatóak. A 20 és 40%-os kezelések az I. szakasz megállapításait követik, azzal a különbséggel, hogy a mezofil 20%-os és termofil 40%-os kezelések igaz szignifikánsan különböznek a termofil 20%-os és mezofil 40%-os

kezelésektől, de a 10%-os bekeverési arányokkal beállított recepturával hasonló eredményeket mutatnak.

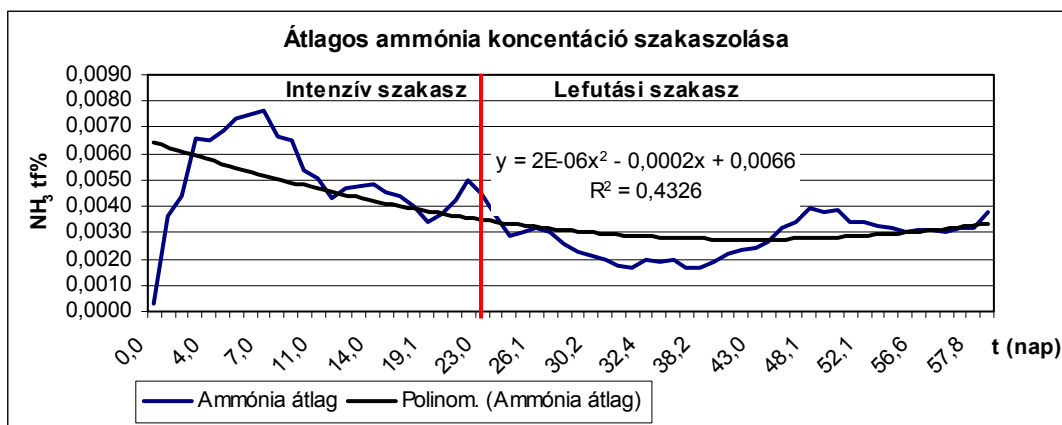
A kénhidrogén elemzése mellett fontos a biogáz ammónia-tartalmának folyamatos kontrollálása is, hiszen túlsúlya a biogázban a folyamatok káros irányba történő eltolódására utal, illetve rontja annak kereskedelmi értékét. A mezofil fermentáció közben termelődött ammónia mennyisége a 35. ábrán figyelhető meg.



35. ábra. Mezofil kezelések ammónia-tartalmának változása

A mezofil és a termofil fermentáció során a kezdeti szakaszban a 20% tollal beállított recepturánál az ammónia mennyisége maximális értéket (0,0134 tf%) vett fel, majd 0,004 és 0,007% között ingadozott, ugyanúgy, mint a 40%-os beállítás, mely a kezdeti kiugró értéket leszámítva követte a 20%-os beállítás lefutását. Az 5%-os és 10%-os kezelés lefutása is hasonlóan alakult, de az 5% tollal beállított kísérletek 0,0015%-kal magasabb ammónia-termelést produkáltak a 10%-oshoz képest, egészen a 38. napig, amikor az értékek kiegyenlítődtek.

Az egyes kezelés párok (mezofil és termofil: 5%, 10%, 20%, 40%) esetében megvizsgáltam a termelődött ammónia mennyiségek normalitását és megállapítottam, hogy nem mutatnak normál eloszlást. Az összes kezelés adatait átlagoltam, majd az ammónia koncentráció adatokra másodfokú polinom függvényt illesztettem, mely közepes-erős összefüggést adott ($R^2=0,54$) (36. ábra).



36. ábra. Kezelések átlagos ammónia koncentrációjának szakaszolása

Az adatsort két szakaszra bontottam az adatsor lefutása alapján, - a második ammónia-termelési csúcsnál - a 22,3. nap előtti és az azt követő szakaszra. Az első szakaszban a könnyen feltáródó nitrogén nagy része lebomlik, majd a nehezebben feltáródó fehérje-forrás táródik fel, melynek folyamata már kiegyenlítettebb. Másodfokú polinom függvényt az I. szakaszra ($R=0,58$), illetve a II. szakaszra ($R=0,61$) közepes-erős összefüggéssel lehetett illeszteni. Az egyes szakaszok adataira újra elvégeztem a normalitás tesztet, mely az adatsorok normalitását igazolta, így már alkalmazható volt a varianciaanalízis a középértékek szimultán összehasonlítására, melynek eredményei a 26. mellékletben láthatóak. A Levene-teszt eredményei a varianciák különbözőségét igazolták. A varianciaanalízis alapján 6 főcsoportba sorolhatjuk az adatokat (a-h), de az egyes csoportok között jelentős mértékű az átfedés, így az 1. csoportba a 1.3.1, 2.1.1-es, tehát a mezofil 20%-os és termofil 5%-os beállítások I. szakaszai sorolhatóak. A 2. csoportba a 1.1.1, 1.3.2, 2.2.1-es, így a mezofil 5%-os I. szakasz, a mezofil 20%-os beállítások II. szakasza, és a termofil 10%-os kezelés I. szakasza tartoznak. A 3. csoport a (1.1.2, 2.2.2) mezofil 5%-os kezelés II. szakaszát és a termofil 10%-os kezelés II. szakaszát tartalmazza. A 4. csoportba 1.4.1, 1.4.2, 2.1.2, 2.3.1-es (mezofil 40% II. szakasz, termofil 5% II. szakasz, termofil 20%, I. szakasz), az 5. csoportba a 2.3.2, 2.4.2, 1.2.2-es (termofil, 20%-os, 40%-os II. szakasz, mezofil, 10%, II. szakasz), míg a 6. csoportba a 2.4.1, 1.2.1-es kezelések (mezofil 10%, I. szakasz, termofil 40% I. szakasz) sorolhatóak.

4.2. Üzemi kísérletek eredményei

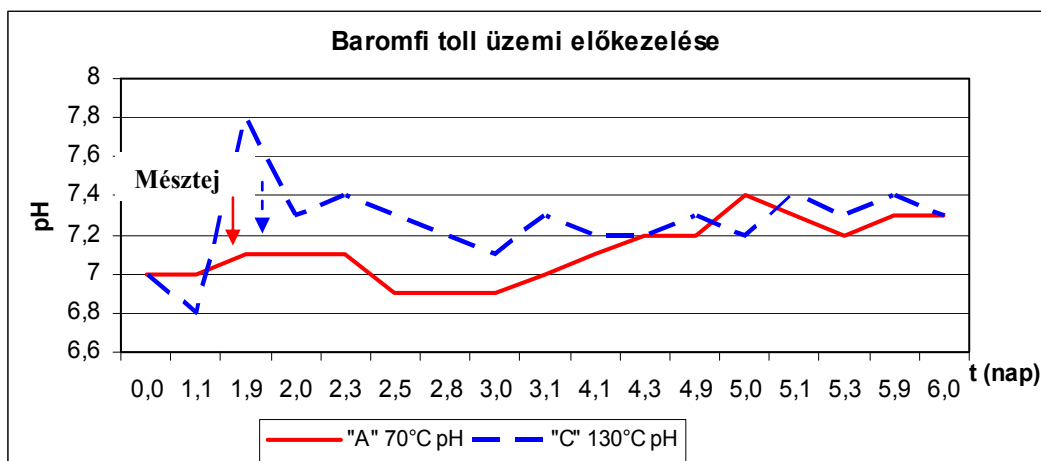
4.2.1. Baromfi toll fizikai és mikrobiológiai előkezelésének értékelése (KT)

Üzemi körülmények között a toll-víz keveréket 1 órán keresztül tartottam 70, illetve 130°C-on. A 70°C-os hőkezelés után a rendszer hőmérséklete 12 óra elteltével csökkent 42°C-ra, amely optimális volt az alapanyag baktériummal történő oltásához. Az oltás időpontjától számított kezelési időt 5 napban határoztam meg. A rendszer hőmérséklete a 130°C-os hőkezelést követően 24 óra elteltével csökkent 50°C alá. Az oltástól számított tartózkodási idő 6 nap volt. A *Bacillus licheniformis* a kísérletek első 3 napjában 80%-ban volt jelen a mintában, majd nőtt az egyéb mikroorganizmusok mennyisége a vizsgált mintában, de az eredeti törzs aránya ekkor sem csökkent 60% alá.

A kémhatás változásának elemzése:

A speciális keratinbontó baktérium számára a semleges pH-érték az optimális. A bontás-aktivitás ellenőrzése miatt fontos volt az indikatív pH nyomon követése. A 70°C-on hőkezelt toll:víz elegy kémhatása 6,5 volt a beállításnál. A semleges kémhatású baktériumkultúrával történő oltás következtében a pH érték kismértékű növekedést mutatott, de nem érte el az optimális 6,9-7,2-es tartományt. A rendszer kémhatásának fenntartásához mésztejre volt szükség. Hatására semleges kémhatást értünk el, amely a folyamat végéig fennállt. A fermentáció végstádiumában a csökkenő aktivitás következtében, a pH érték kis mértékben növekedett. A mésztej adagolásának időpontját a 37. ábrán nyíllal jelöltem.

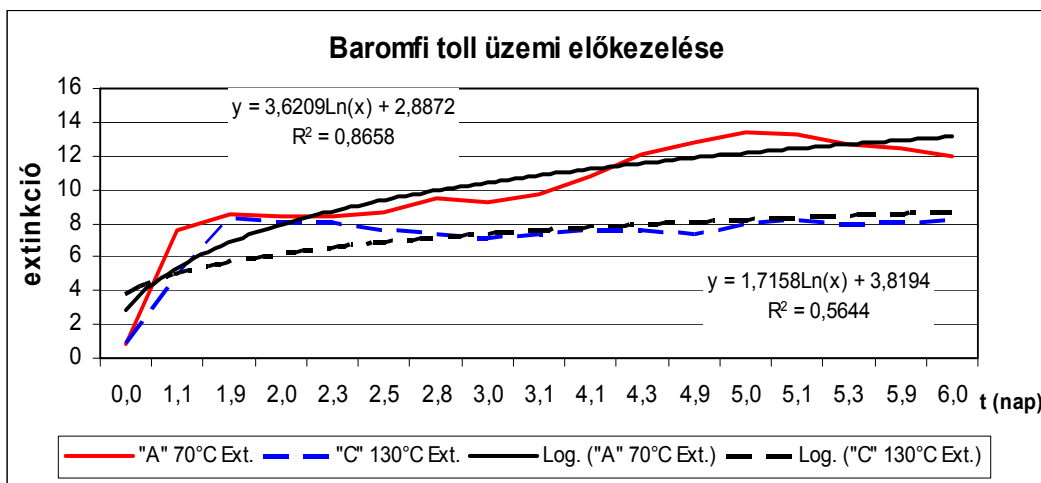
Az oltáshoz felhasznált baktérium tenyészet kémhatása semleges volt. A 130°C-os hőkezelést követően a toll:víz elegy pH-ja 6,5 volt. Az oltást követő 0,5 nap múlva az elegyben ez az érték hirtelen lecsökkent, ami a bontási hatékonyságot jelentősen visszavetheti, ezért puffert adagoltunk a rendszerhez (2,4 kg mésztejet), melynek következtében a pH 7,8-ra emelkedett. A túlzottan lúgos pH szintén lassíthatja a folyamatot, de a levegőztetési hatásfok növelésével (10 sec/h) sikerült 7,3-as értéken stabilizálni.



37. ábra. A 70°C és 130°C-os hőkezelt toll elő kísérletek kémhatásának változása

Az extinkció értékek elemzése:

A 70°C-on hőkezelt „A” kísérleti beállítás extinkció értékeinek változását figyelhetjük meg a 38. ábrán. Az oltóanyag extinkció értéke 0,8 volt. A baktériummal még nem kezelt, toll-víz keverék extinkciója 3,5-ös értéken zárt. Az oltást követően a fermentáció kezdeti szakaszában a fénytörési mutató intenzíven növekedett (2,0-7,8). A folyamat előrehaladtával az extinkció-növekedés mértéke mérséklődött. A maximális 13,4-es extinkció értéket a 4. napon érte el. Az extinkció-növekedés alapján megállapítható, hogy a baktériumok keratin-bontó tevékenysége a folyamat egészére jellemző volt.



38. ábra. A 70°C és 130°C-os hőkezelt toll elő kísérletek extinkció értékének változása

A 70°C hőkezelt, 3% baktériummal beállított kísérlet (B) ehhez hasonlóan alakult. A baktérium mennyiségének növelése nem eredményezte a bontás hatékonyságának a többlet

mennyiséggel arányos fokozódását, ezért nem javasoljuk üzemi körülmények közötti alkalmazását.

A 130°C-on 1%-os oltóanyaggal kezelt kísérlet (C) extinkció értékei az első napokban hirtelen megnöttek (4,5 -> 8,2), majd stagnáltak. A pH eközben jelentősen ingadozott. Az 5. napig lassú, majd gyors ütemű növekedés volt megfigyelhető az extinkció érték tekintetében, a maximum 12,2 volt (7. nap). A 130°C-on hőkezelt, 3% oltóanyaggal beoltott kezelés (D) extinkció-növekedése a C jelű kísérlethöz eltérően töretlen volt, amit a pH (6,2–7,5) és a hőmérséklet (38-50°C) kisebb mértékű ingadozása indokol. Mindkét (C, D) kísérlet extinkció értéke a 7. napon érte el maximális értéket, ami a C kísérletnél 12,2, a D kísérletnél 12,4 volt. A tollbontás intenzitásában tehát nincs jelentős eltérés a D jelű kísérlethez képest, mindazonáltal a minimális hatékonyság-növekedés nem indokolja a nagyobb mennyiségű oltóanyag használatát. A kezelés optimális időtartama 5,5 nap.

Az üzemi kísérletek esetében megvizsgáltam, hogy az adott baktérium koncentrációval beoltott baromfi tollra milyen hatása van a különböző hőkezeléseknek. A 130°C-os kezelés esetében nem voltak az adatok normál eloszlásúak, csak abban az esetben, ha a kezdeti értéket (1-2. adat) nem vettem figyelembe, így mindkét kezelés esetében kivontam a kezdeti adatokat az elemzésből. A normál eloszlás igazolása után már használhattam a független mintás T-próbát a varianciák vizsgálatára, illetve a középértékek szimultán összehasonlítására (34. táblázat).

34. táblázat. A független mintás T-próba eredménye

Mért paraméterek	Hőmérséklet (°C)	Átlag $\pm \sigma$	df	t
Extinkció	70	10,6 $\pm$ 2,1	30	5,430***
	130	7,6 $\pm$ 0,8		
pH	70	7,1 $\pm$ 0,2	30	2,452***
	130	7,3 $\pm$ 0,2		

*** $P > 0,001$

A kezelés magasabb extinkció érték és semlegeshez közeli pH érték esetében mondható optimálisnak. Ez alapján a 70°C-os kezelés sikerebb volt a 130°C-oshoz képest.

Regresszió analízist használtam az egyes hőmérsékleteken végzett kísérletek alatt mért pH és extinkció adatok közötti kapcsolat megállapítására. A kvadratikus összefüggés esetében mutatkozott a legnagyobb összefüggés a 70 és 130°C-os kezelések esetében is, melyek mértéke és hozzá tartozó szignifikancia-szintek a 35. táblázatban figyelhetők meg.

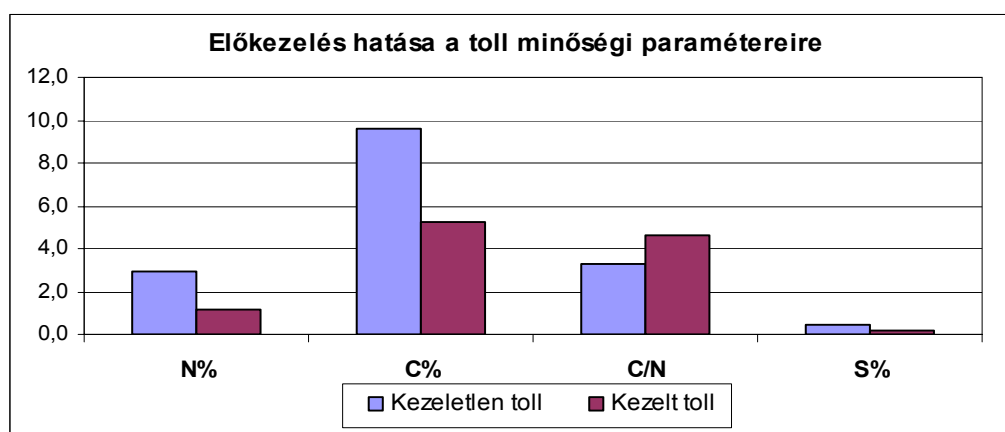
35. táblázat. A különböző hőkezelések hatása a baromfi toll degradációjára

Hőmérséklet (°C)	R ²	F-érték	Regressziós egyenlet
70	0,687	14,2***	$y = 17,0x^2 - 232,2x + 799,9$
130	0,895	55,4***	$y = -5,3x^2 + 80,3x - 297,1$

*** $P > 0,001$

A kezeletlen és az előkezelt baromfi toll beltartalmi értékei:

A 39. ábrán láthatóak a 70°C-on hőkezelt toll C, N, S %-os értékei és C/N arányai. A kutatás során csak a sikeresebb, 70°C-os hőkezelés esetében elemeztettük ezeket a paramétereket.

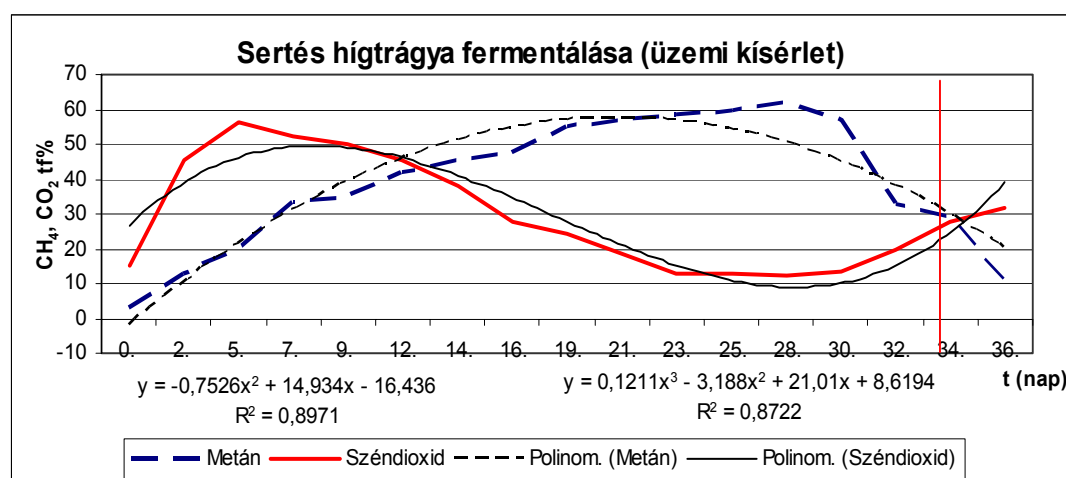


39. ábra. A kezeletlen és az előkezelt baromfi toll beltartalmi értékei 70°C-os hőkezelés esetén

A vágóhídról kikerült baromfi toll és a hővel, majd mikrobiológiai úton kezelt toll paramétereit között jelentős elérést figyelhetünk meg. A toll N-tartalma 54,5%, a C-tartalma 38,7%, a S-tartalma 31,28%-ára csökkent a kezelések hatására. Az anaerob fermentáció során a nyersanyagok feltárható C-tartalma többek között szén-dioxiddá alakul át, ezzel magyarázható a szén-tartalom jelentős, kb. 40%-os csökkenése. A nitrogént a baktériumok hasznosítják sejtjeik felépítéséhez, emellett ammónia, nitrogén-oxidok is keletkezhetnek. A kén-tartalom csökkenése bizonyítja a diszulfid-hidak és a keratin felbomlását, ami az előkezelt baromfi toll könnyebb hidrolizálhatóságát jelenti. Üzemi körülmények között problémát okozhat az állati fehérje túlzott bevitele, a kén-tartalmának kénhidrogén formájában történő kigázosodása, ugyanis rontja a biogáz minőségét, illetve korrozív, így jelentős károsodást okozhat a fermentor szerelvényeiben és a gázmotorokban.

4.2.2. Sertés hígtrágya monoreceptúrás vizsgálatának eredményei

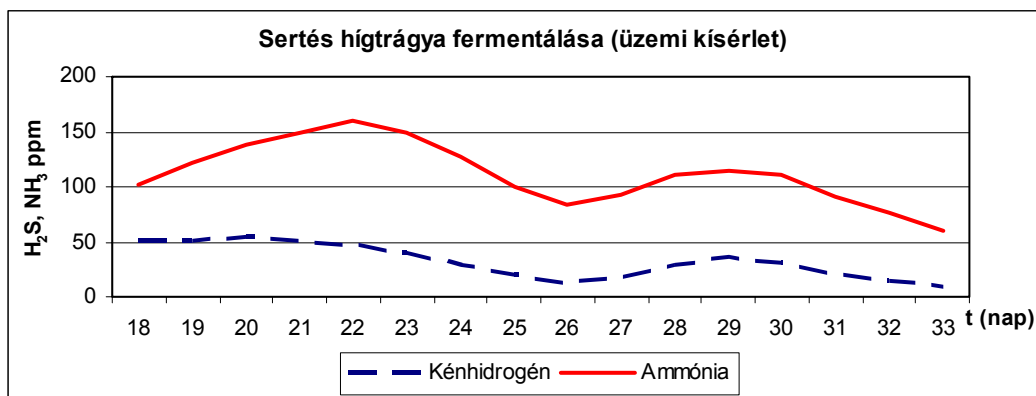
A nyomás alatt (3 bar, 52°C) beállított kísérlet során keletkező metán mennyisége és koncentrációja kedvezőtlennek bizonyult. Ennek oka az lehet, hogy a termelő metán a fentartott nyomás miatt nem távozhatott szabadon, ezért gátolta a metanogén törzsek felszaporodását. A továbbiakban nyomás nélkül, 52°C-on folytak a kísérletek. A metántartalom 33%-os csúcsot ért el, a gázmennyiség ekkor sem haladta meg a napi 4 m³-t. A 37°C-os nyomás nélküli beállítás gáztermelés szempontjából optimális volt. A metán-koncentráció 62%-ig emelkedett, a napi termelés elérte a 11 m³-t, mely csúcsközelben 10 napos tartósságot mutatott (40. ábra).



40. ábra. A termelő biogáz metán- és szén-dioxid-tartalma (tf%)

A metán-koncentráció változására 2. fokú polinom illeszthető 90%-os valószínűséggel, míg a szén-dioxid koncentráció időbeni lefutására 3. fokú polinom ($R^2=0,87\%$), minkét összefüggés erős. A függvények értelmezési tartománya 31 nap, melyet piros vonallal jelöltem.

A káros gázok kibocsátása a folyamat előrehaladtával fokozatosan csökkent, mivel a nitrogént és kén-tartalmazó fehérjevegyületek jórészt csak a fermentáció kezdeti szakaszában fordultak elő nagyobb mennyiségben (41. ábra).



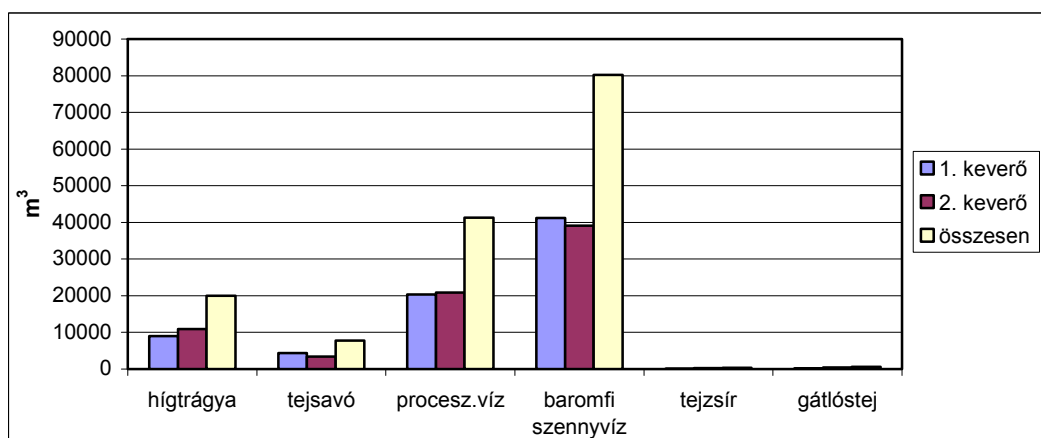
41. ábra. A fermentáció során termelődött kén-hidrogén és ammónia mennyisége (ppm)

A félüzemi berendezésben 28 napos ciklus tekinthető optimális fermentációs időtartamnak. Hatékony fermentáció esetén az egy ciklus alatt keletkező biogáz mennyisége szakaszos üzemmódban kb. 200 m³. Folyamatos üzemmódban (napi adagolás a 28 napos tartózkodás biztosításával) kb. 290 m³. A fermentáció során keletkező biogáz fűtőértéke átlagosan 19,3 MJ/kg volt.

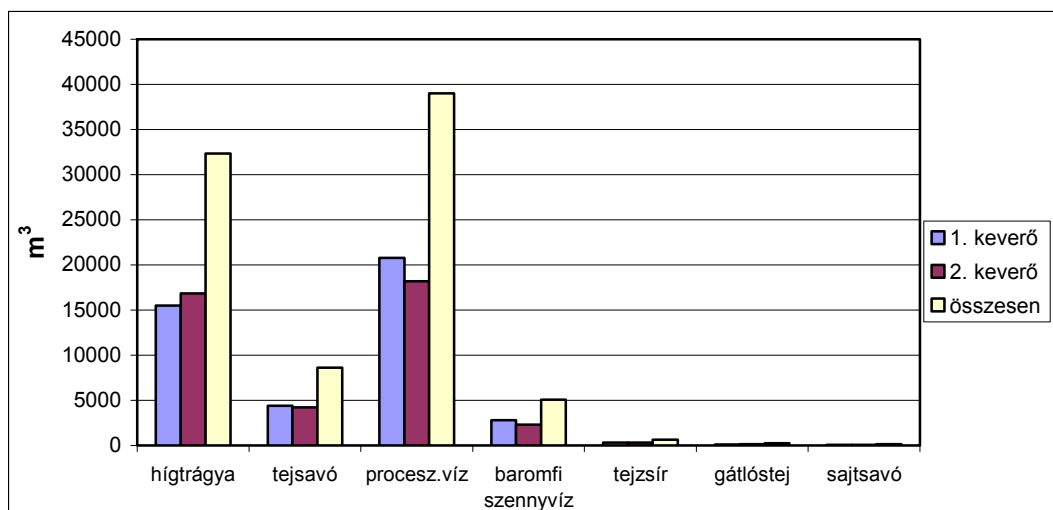
4.2.3. A Nyírbátori Regionális Biogáz Üzem alapanyagbázisának és biogáz-termelésének vizsgálata (BÜ)

1. Receptura alapanyagok feltérképezése, információbázis létrehozása

A biogáz üzem folyamatos rendszerű, az alapanyagoknak folyamatosan kell rendelkezésre állniuk és fontos, hogy azonos minőségben. A receptúra vizsgálata során a naponta háromszori feladás adatait dolgoztam fel, mind a keverőkbe, mind a fermentorok esetében. A 42. és a 43. ábrán a 2006-2007 és 2008. 01-12. között az egyes keverőkbe feladott alapanyagok mennyiségi arányát szemléltetem m³-ben és tonnában kifejezve.

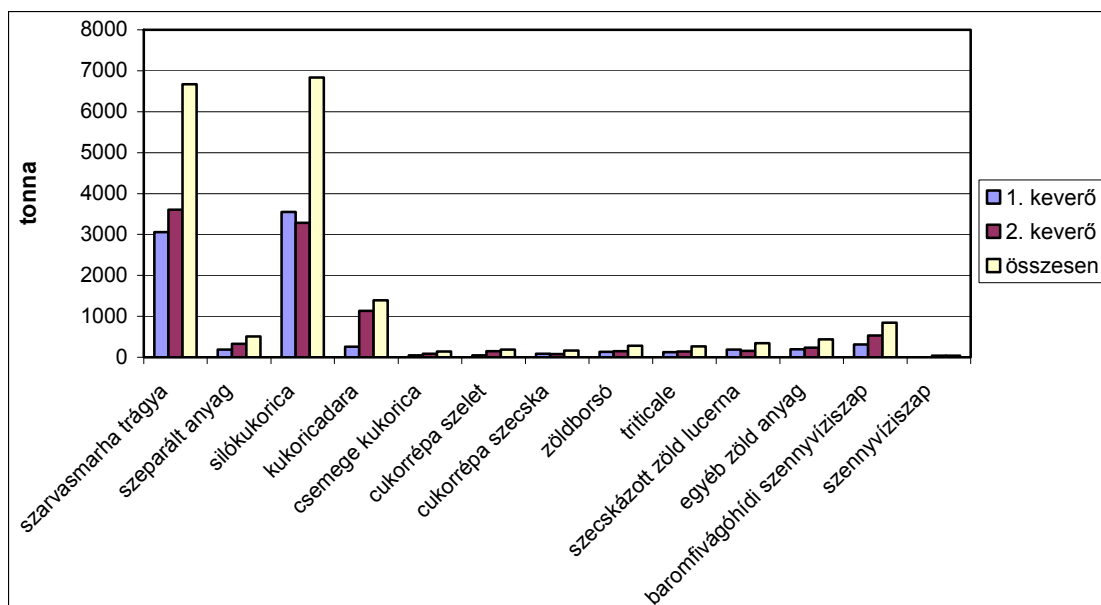


42. ábra. Keverőkbe feladott főbb alapanyagok mennyisége (m³) (2006.10 - 2007.12.)



43. ábra. Keverőkbe feladott főbb alapanyagok mennyisége (m³) (2008.01 - 12.)

A 2008. január és december közötti időszakban bevitt alapanyagok aránya és mennyisége jelentősen eltér a 2006. október - 2007. december közötti időszakban vizsgálttól. A szarvasmarha hígtrágya mennyisége a technológiaváltás következtében (a hígtrágya mennyiségi elemzésénél bővebben kifejtve) növekedett meg 20.000-ről 32.000 m³-re. A baromfi szennyvíz esetében a két vizsgált időszakban szignifikáns a különbség. 2007 júliusától fokozatosan csökkent a felhasznált mennyisége 80.000-ről 5000 m³-re. A baromfi szennyvíz fertőtlenítéséhez használt vegyszerek a mikrobiális életet károsan befolyásolták, a biodegradáció folyamatát lassították, ami a gáz-hozamok csökkenését eredményezte, emellett a jogszabályok is szigorúbb kezelési eljárást írtak elő. A baromfi szennyvíz kezelésére aerob biológiai tisztítót helyeztek üzembe, mely 2008-ban már teljes kapacitással üzemelt, így a fermentorokba feladott alapanyagok köréből fokozatosan kivonták. A technológiai szennyvíz, az u.n. procesz.víz mennyisége csak kis mértékben változott, míg tejsavóból 800 m³-rel többet adtak fel. Az egyes keverőkbe juttatott folyékony alapanyagok megoszlása egyenletes volt a két keverő között. A 44. ábrán és a 27. mellékletben a 2006-2007 és 2008. 01-12. között a keverőkbe feladott alapanyagok mennyiségi arányát szemléltetem tonnában kifejezve.



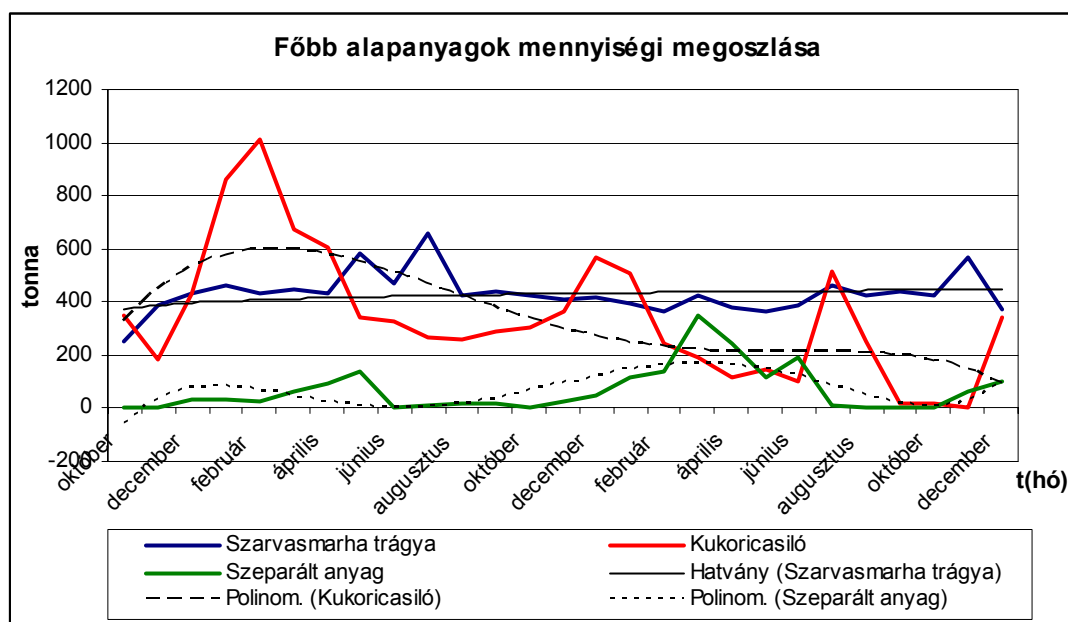
44. ábra. Keverőkbe feladott anyagok mennyisége (tonna) (2006.10 - 2007.12.)

A szarvasmarha trágya mennyisége 1700 tonnával csökkent (6700 -> 5000 t), míg silókukorica esetén jelentősebb visszaesés (6800 -> 2450 t) volt megfigyelhető. A silókukorica hiányzó mennyiségét más növényi alapanyagokkal pótolták, így az előző évhez képest bővült a felhasználásra kerülő alapanyagok köre: zöldborsó, E. triticale, cukorrépaszelet, sajtsavó, zöldbab, szecskázott zöld fű, ill. lucerna, cukorrépa szecska és szemes kukorica. A szilárd alapanyagok keverők közötti megoszlása 2007-ben egyenetlen volt a 2. keverő javára, melyet 2008-ra már sikerült kiküszöbölni, ekkor már nem figyelhető meg szignifikáns különbség a két keverőbe betáplált anyagok megoszlása között.

Kiszámoltam a keverőkbe bejuttatott egyes alapanyagok mennyiségét, majd a tervezett receptúrák összeállítása érdekében elemeztem a havi megoszlásukat, szezonális ingadozásukat. A keverőkbe juttatott *szarvasmarha hígtrágya* mennyiségének (m^3) havi változását a 28. melléklet szemlélteti. A hígtrágya felhasználása az előző évtől eltérően 2007-ben, - 2006. december-2007. február között folyamatosan nőtt –, a téli időszakban átmenetileg csökkent, majd a tavaszi időszakban megemelkedett, olyannyira, hogy 2008-ban az éves felhasználás másfélszeresére növekedett. Ez a szarvasmarha telepen történt tartástechnológiai modernizálás következménye, mely a biogáz telep hatékonyságának javítása érdekében történt. A tejtermelésre szakosodott üzemben a tartásmód kötetlen, homokkal felszórt pihenőboxos, illetve trágyacsatornás, zárt pihenőboxos, gumiszőnyeggel borított, alomanyagként szalmával, időnként napraforgóhéjjal felszórt (Varga, 2008). A gumiszőnyegborítás következtében jelentősen lecsökkent a szarvasmarha trágya-, míg ezzel párhuzamosan

növekedett a hígtrágya mennyisége. A 2007-es évben a feladott mennyisége átlagosan 1400 tonnát tett ki. Lineáris függvénnyel közepesen erős ($R^2=0,49$) összefüggéssel volt leírható, az adatok szórása ± 300 tonna volt. 2008-ban 2690 tonna hígtrágyát használt fel az üzem átlagosan, melynek szórása magas, ± 760 tonna volt. A mennyiségi adatokra másodfokú polinom függvényt lehetett illeszteni a legnagyobb valószínűséggel ($R^2=0,38$), az összefüggés közepes.

A *szarvasmarha trágyát* naponta távolítják el az istállókból az állattartó telepeken, összegyűjtik, majd jogszabályoknak megfelelő kialakítással (szigetelt) és tároló kapacitással rendelkező - 6 havi trágyamennyiség számára elegendő – trágya-tárolóba szállítják. A trágya mennyisége a telepeken a felhasznált technológiától (mélyalmos, bokszos tartás, felhasznált öblítővíz-, csurgalékvíz-, mosóvíz mennyisége), állatállománytól, hasznosítás módjától (tejelő-, húshasznú marha) és a klimatikus tényezőktől (csapadék mennyisége, hőmérsékleti viszonyok) nagymértékben függ (45. ábra, 29. melléklet). Az egy hónap alatt felhasznált mennyiségek kiegyenlítettek, ami annak köszönhető, hogy a szilárd fázisú trágya a hígtrágyával ellentétben az állattartó-, ill. a biogáz telepen tárolható, így egész évben állandó mennyiségben adagolható a rendszerbe. Megoszlása csak 2007. június-július között mutatott kiugró értékeket, felhasználása 2008-ban a tartástechnológia-váltás következtében fokozatosan csökkent.



45. ábra. Keverőkbe feladott szarvasmarha trágya, silókukorica és szeparált anyag mennyisége (tonna) (2007, 2008)

A 2007 május-júniusi, illetve a 2008 novemberi kiugró értékeket kivéve kiegyenlített volt a szarvasmarha trágya felhasználása, így stabil alapanyagbázisnak tekinthető, míg a növényi alapanyagok mennyisége szezonálisan változó. A C-tartalmat, így közvetetten a gázhozamot hirtelen megnövelő frissen vágott növényi anyagok csak a vegetációs időszakban állnak rendelkezésre, míg a *silókukorica* a betárolást követően folyamatosan (30. melléklet). Magas cellulóz-tartalma miatt nehezebben feltárható, mint a frissen vágott növényi anyagok. A silókukorica beadagolása azokban a hónapokban volt jelentősebb, amikor más növényi eredetű alapanyagra már nem lehetett számítani. A 49. ábrán látható, hogy a novembertől januárig terjedő időszakban használták fel nagyobb tömegben. A 2007-ben hasznosított silókukorica mennyisége másodfokú polinom függvényvel 94%-os erős, míg a 2008-ban felhasznált 46%-os, közepes összefüggéssel volt leírható, de a teljes időszakra már csak 4. fokú polinom függvény illeszthető közepes összefüggéssel, melyet a silókukorica szezonális rendelkezésre állása okoz. A két adatsor lefutása hasonló volt, a téli felhasználási csúcsok megfigyelhetők voltak, igaz a felhasznált mennyiség 2008-ra csökkent.

A *szeparált anyag* 2008-ban felhasznált mennyisége (t) fokozatosan növekedett (31. melléklet). Mindkét évben november és május között intenzívebbé vált a felhasznált mennyisége, mely 2008-ban egészen június végéig kitolódott. A többi hónapban (július-október) a feladott mennyiség minimális (0-20 tonna) volt. A mindkét év adatait harmadfokú polinom függvényvel lehetett leírni, de az összefüggés közepes ($R^2=0,45$) volt a 2007-es, míg erős ($R^2=0,76$) a 2008-as év folyamán. A 49. ábrán jól látható, hogy a silókukorica mennyiségének csökkenése indikálja a szeparált anyag fokozottabb recirkuláltatási arányát.

A *procesz.víz*, vagy más néven *technológiai szennyvíz* keverőkbe adagolt mennyisége (m^3) a vizsgált időszakban folyamatosan ingadozott (32. melléklet). 2006-2007-ben, a téli hónapokban több ($5070 m^3$), míg a tavaszi hónapokban kevesebb ($2300-2550 m^3$) procesz.vizet juttattak a tárolókba. Ennek oka, hogy térfogatát - a nedves eljárás során alkalmazott 1-15% közötti érték biztosításának érdekében - a bekevert szubsztrátumok szerves- és szárazanyag-tartalmához igazítják. Emellett a megnövekedett hígtrágya mennyisége indokolhatja a csökkenő tendenciát. Mindkét függvényre másodfokú polinom függvényt lehetett illeszteni erős ($R^2=0,80$) és közepes ($R^2=0,33$) összefüggéssel. A nyári hónapokban csökkent a bekevert mennyisége.

A *baromfiszenyvíz* felhasználása szintén térfogatnövelő hatású és a szárazanyag-tartalom beállítása, illetve a szennyvíz felhasználása, szervesanyag-tartalmának csökkentése miatt lényeges. A feladott szennyvíz mennyiségének havi ingadozása (33. melléklet) is jelentős. A vizsgált időszakokban a baromfi szennyvíz maximális mennyisége 2007 júliusában $5100 m^3$,

míg 2008 júniusában csak 1280 m³ volt. Az összes felhasznált mennyiség 2007-ben 36.000 m³, az átlag 2800 m³ volt, míg 2008-ban az átlag 460 m³-re, a teljes mennyiség 43.000 m³-re esett vissza. A harmadfokú polinom függvény 2007-es évet erős ($R^2=0,52$), míg a 2008-as év adatait gyenge 32%-os összefüggéssel jellemezte. A felhasználását 2008-ban fokozatosan megszüntették, tisztítását a továbbiakban aerob szennyvíztisztítási rendszerrel oldják meg.

A keverőkbe beadagolt *tejsavó* mennyisége nem volt számottevő (Max. (2007)=700 m³; Max.(2008)= 1430 m³) a vizsgált időszakban, az ingadozás 2007-ben kismértékű volt, míg 2008-ban a nyári időszakban intenzív növekedést mutatott, mely júliustól fokozatosan csökkent. Felhasználása technológiai okokból, a kémhatás beállítása miatt történik (34. melléklet). Mindkét évre másodfokú polinom függvényt lehetett illeszteni 47%-os közepes (2007) és 68%-os, közepes-erős (2008) összefüggéssel.

A C/N-arány, illetve a szárazanyag-tartalom hatékony beállításának érdekében a vizsgált időszakban új alapanyagok felhasználására került sor. A bejuttatott mennyisége ezeknek a növényi termékeknek nem meghatározó, összehasonlítva a fentebb említettekével, stabilizáló szerepük azonban jelentős. A keverőkbe 2007. októbertől kezdődően adagoltak darabolt *cukorrépát*, legnagyobb mennyiségben novemberben és decemberben (103 és 83 m³). A tavaszi hónapokban ez az érték csökkent. *Cukorrépa szecskát* 2007-ben július és december között 165 tonna mennyiségben adtak fel a fermentorba, 51%-át júliusban (35. melléklet). A cukorrépához hasonlóan *kukorica csóvéget* is a téli, illetve tavaszi hónapokban juttattak be nagyobb mennyiségben (36. melléklet). A kukorica-feldolgozás egyik mellékterméke a feldolgozást követően került betárolásra. Kedvező tárolhatósága miatt felhasználása 2008-ban januártól-májusig terjedő időszakban valósult meg. Magas szárazanyag-tartalma miatt szerepe meghatározó lehet a továbbiakban kialakított receptúrákban. A keverőkbe beadagolt *zöldborsó* mennyiségi adatait a 37. melléklet szemlélteti. A szezonális alapanyagként minősülő zöldborsót főleg a betakarítást követően juttatták be nagyobb mennyiségben, 2007. június-júliusában (kb. 140 t), illetve 2008. május-szeptember között is használták alapanyagként, de elenyésző mennyiségben (6-10 t). *Zöldbabot* 2008-ban május és október között 189 t mennyiségben alkalmaztak. A keverőkbe 2007. augusztus és szeptember között kísérletképpen *E. triticalét* is adagoltak 4-5 tonna/nap mennyiségben (38. melléklet). Összmennyisége 270 tonna volt. A Triticale magas cellulóz-tartalma révén nehezen bontható, de puffer anyagként alkalmazható a fermentálás során. 2008. szeptember és december között *brokkolit* (76 t) és *konzervgyári melléktermékeket* (357 t) is felhasznált a biogáz üzem (39. melléklet), ezzel is növelve a növényi alapanyagok mennyiségi megoszlását és tágítva a C/N arányt.

Keverőkbe beadagolt alapanyagok minőségi paramétereinek értékelése:

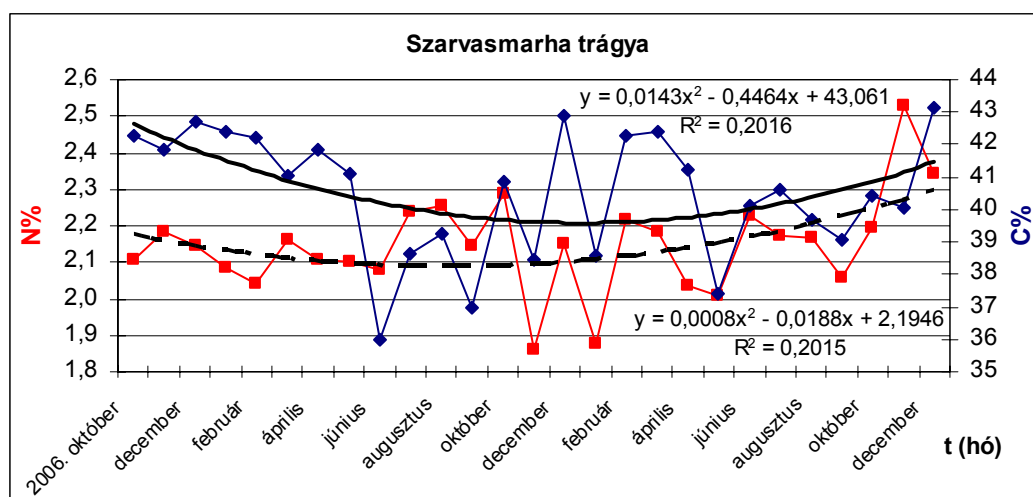
A biogáz üzemi technológia kialakításánál nagy gondot kell fordítani a felhasznált alapanyagok összetételére. A sertés hígtrágya tág C/N aránya miatt a biogáz gyártásnak kevésbé alkalmas nyersanyaga, mint a marhatrágya (*I₁₄*). A nyírbátori üzemben szarvasmarha trágyát és hígtrágyát, illetve hőkezelt húslevet hasznosítanak. A növényi alapanyagok közül a szalma, pelyva, fűfélék hozzáadása szűkíti a C/N arányt, és ezért növeli a gázkihozatait (*I₁₃*), viszont ezek rendelkezésre állása csak időszakos és mennyiségük változó. Épp ezért a növényi alapanyagok közül a receptura fő összetevője a silókukorica volt, mely folyamatosan, azonos mennyiségben áll rendelkezésre. A tavaszi és nyári időszakban – amikor a silókukorica mennyisége lecsökkent - kiegészítették az alapreceptúrát gyorsan feltáródó zöld növényi anyagokkal, így például fűfélékkel, lucernával, konzervgyári hulladékkal, stb.

A szarvasmarha hígtrágya N%-tartalma a vizsgált időszakban kiegyenlített (3,1%) volt, a C%-tartalma átlagosan 40,3±2,4%, így a C/N arány 12-16 között változott (*36. táblázat, 40. melléklet*).

36. táblázat. Szarvasmarha hígtrágya átlagos minőségi paraméterei

Hígtrágya (m ³)	N%	C%	C/N	Sza.%	Szerv.a.%	pH
Átlag ± σ	3,13±0,21	40,28±2,40	13,1±1,03	3,55±0,49	1,09±0,41	7,07±0,54
Maximum	3,48	43,6	16,23	4,22	1,76	7,92
Minimum	2,63	34,75	12,18	2,05	0,47	6,34

A hígtrágya szárazanyag-tartalma 4%-os, míg szervesanyag-tartalma 1%-os átlagos értékeket vett fel, kémhatása közel semleges volt. A szarvasmarha trágya szén-tartalmának napi ingadozása a 2007. év nyári periódusában jelentős volt, majd 2008-ban az állattartó telep átalakítását követően kiegyenlítettebbé vált (*46. ábra*).



46. ábra. A keverőkbe 2006-2008 között beadagolt szarvasmarha trágya C-, N-tartalma

A beadagolt szarvasmarha trágya C/N arányával kapcsolatban elmondható, hogy a vizsgált időszakban néhány kiugró érték kivételével kismértékű ingadozást mutatott (37. táblázat, 41. melléklet).

37. táblázat. A szarvasmarha trágya átlagos minőségi paraméterei

Szarvasmarha trágya (t)	N%	C%	C/N	Sza.%	Szerv.a.%	pH
Átlag ± σ	2,15±0,13	40,43±1,93	19,2±1,28	21,18±2,81	2,86±0,46	7,64±0,40
Maximum	2,53	43,12	21,28	27,17	3,8	8,25
Minimum	1,86	36	16,07	16,3	2,14	6,85

A szarvasmarha trágya szárazanyag-tartalma jelentősen ingadozott (±2,81). A silókukorica minőségi paramétereit vizsgálva elmondható, hogy nagyobb volt az eltérés, így pl.: a C/N arány szórása ±3,96; a szárazanyag-tartalomé ±2,74 volt. Az átlagos C-tartalom 45,8%-os értéket vett fel (38. táblázat, 42. melléklet).

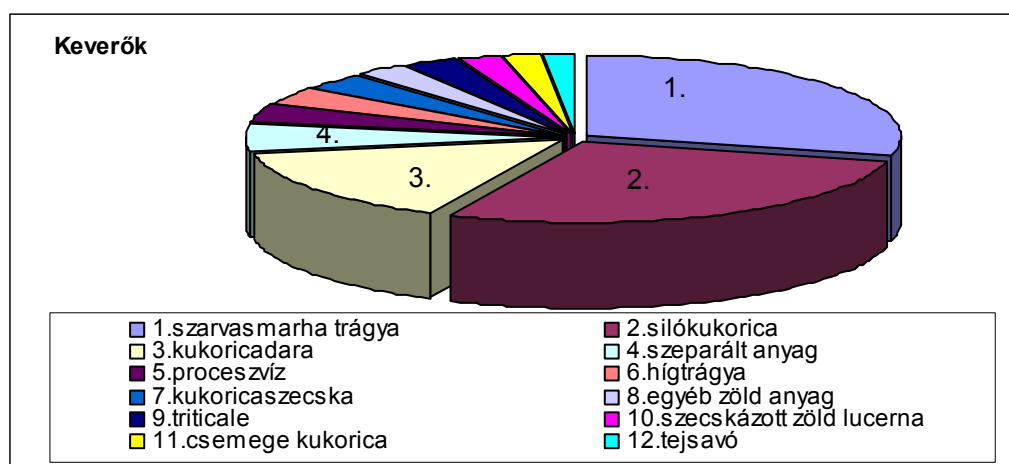
38. táblázat. A silókukorica átlagos minőségi paraméterei

Silókukorica (t)	N%	C%	C/N	Sza.%	Szerv.a.%	pH
Átlag ± σ	1,73±0,30	45,77±0,88	27,6±3,96	26,09±2,74	2,8±0,44	3,98±0,25
Maximum	2,52	47,76	32,73	34,68	3,96	4,53
Minimum	1,4	43,5	20,16	21,72	2,29	3,41

A baromfiszenyvíz mennyiségével kapcsolatban megállapításra került, hogy felhasználását fokozatosan csökkentették, a két időszakban a minőségi paraméterek közül a C/N arány szűkült, a szárazanyag-tartalom jelentősen (84%-kal), a szervesanyag-tartalom kisebb mértékben (30%-kal) csökkent (43. melléklet). A kémhatás nem változott szignifikánsan. A

procesz.víz (technológiai szennyvíz) beltartalmi értékeit vizsgálva megállapíthatjuk, hogy egyik paraméter sem mutatott számottevő szórást és a két vizsgált évben sem volt kimutatható szignifikáns különbség az adatok között (44. melléklet). Összességében alacsony volt a száraz- és szervesanyag-tartalma és enyhén lúgos a pH értéke. Felhasználása a nedves eljárásnál alkalmazott szárazanyag-tartalom beállítása miatt lehet fontos. A tejsavó esetében a két évet összevetve elmondható, hogy a C/N arány és a szárazanyag-tartalom szórása magas volt. A C/N arány a téli időszakban megnőtt. A tejsavó minőségi paramétereinek részletes elemzése a 45. mellékletben található.

A mennyiségi paraméterek és a szárazanyag-tartalom ismeretében a vizsgált időszakra felállítottam egy fontossági rangsort a felhasznált alapanyagok között (47. ábra).



47. ábra. A fontosabb felhasznált alapanyagok a szárazanyag-tartalom függvényében

A keverő terhelését elsősorban a szarvasmarha trágya, silókukorica és kukoricadara határozta meg, így a fermentorba feladott nyersanyag minőségét is.

A fermentorba feladott alapanyagok mennyiségi megoszlása

A keverőkből feladott alapanyagokon felül hígtrágyát, baromfi szennyvizet, tejsavót, szeparált anyagot, sterilizált folyékony vágóhídi hulladékot (2-3. osztály), továbbiakban húslevet és glicerint (bioetanol gyártás mellékterméke) juttattak közvetlenül a fermentorokba. A vizsgált időszakokat összevetve megfigyelhető, hogy a 2007-es évben a két keverőből összesen 101150 m³-t, míg 2008-ban 112339 m³-t adtak fel, mely 1,1%-os éves növekedést jelentett (39., 40. táblázat, 46., 47. melléklet).

39. táblázat. Fermentorok átlagos alapanyagbázisa (m³/hónap) (2006-2007)

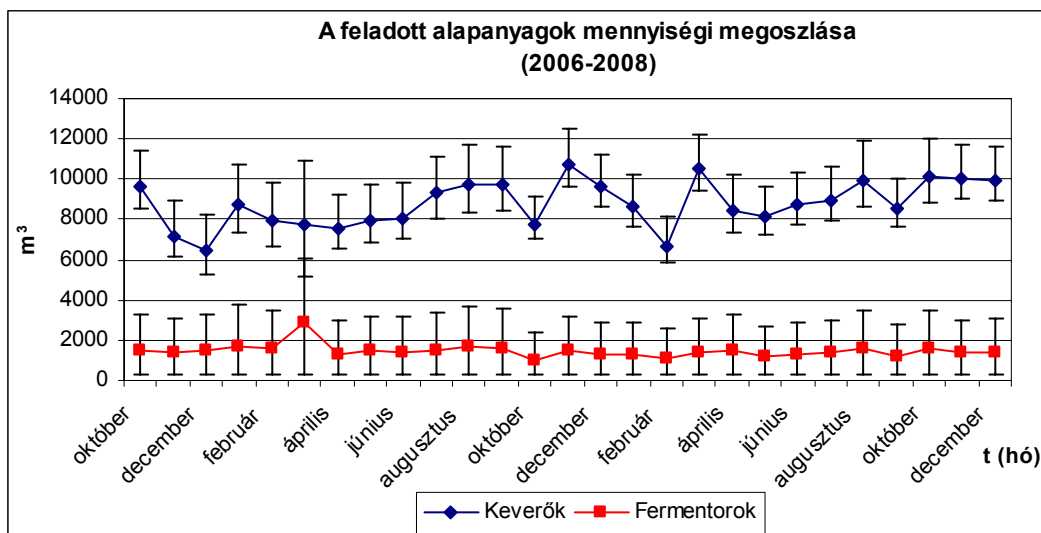
Fermentorokba beadagolt mennyiségek (m ³) (2006-2007)									
Dátum	1. keverő	2. keverő	húslé	glicerín	hígtrágya	baromfi szennyvíz	tejsavó	fermentlé	Összesen
Átlag	3945	4595	1142	60	124	186	14	17	10083
Szórás	±1644	±2049	±150	±53	±194	±326	±39	±67	±1243
Minimum	300	650	894	0	0	0	0	0	7895
Maximum	7260	10460	1417	146	650	1262	150	260	12204

Emellett a húslé és glicerín mennyiségét is növelték, melyek könnyen feltáródó nitrogén- és szénforrások. A fermentorba közvetlenül bejuttatott hígtrágya és baromfi szennyvíz mennyiségét a 2008-ra fokozatosan minimalizálták.

40. táblázat. Fermentorok átlagos alapanyagbázisa (m³/hónap) (2008)

Fermentorokba beadagolt mennyiségek (m ³) (2008)									
Dátum	1. keverő	2. keverő	húslé	glicerín	hígtrágya	baromfi szennyvíz	tejsavó	szeparált anyag	Összesen
Átlag	4490	4567	1151	115	8	11	42	20	10359
Szórás	±630	±534	±116	±45	±29	±19	±88	±24	±1174
Minimum	3235	3432	897	60	0	0	0	0	7797
Maximum	5290	5400	1331	209	100	48	282	60	11860

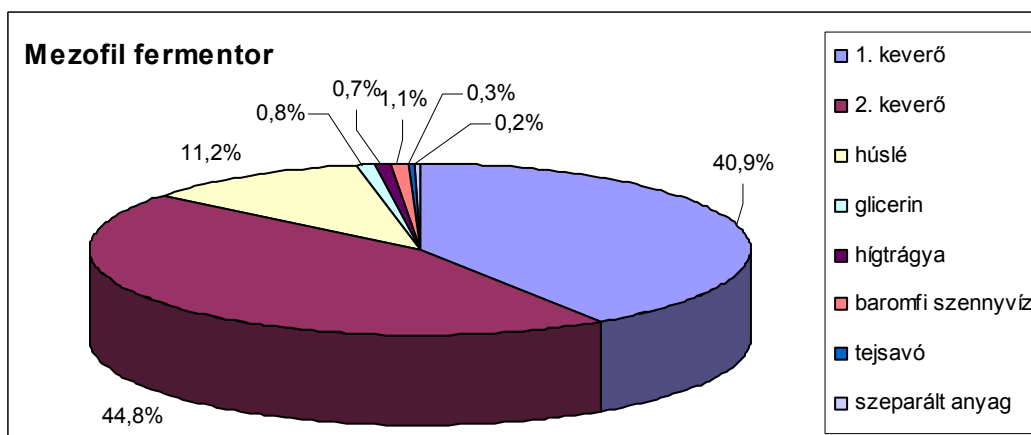
A tejsavó mennyiségének növelése a húslé megnövekedett felhasználásával magyarázható. 2007-ben a fermentált végterméket (fermentlé) kísérleti jelleggel visszavezették a rendszerbe, 2008-ban a már szeparált szilárd végterméket (szeparált anyag) hasznosították újra célzottan az őszi és téli hónapokban, amikor is csökkent a rendelkezésre álló friss növényi alapanyag. A 48. ábrán. a keverőkbe és fermentorokba felhasznált összes alapanyag mennyiségi megoszlása látható.



48. ábra. A keverőkbe és a fermentorokba feladott alapanyagok havi mennyisége és szórása

A keverők átlagos alapanyagbázisa 8770 m^3 , míg a fermentoré 1456 m^3 volt havonta. A keverőbe jutott alapanyagok mennyisége jelentős ingadozást mutatott, (Szórás= $\pm 1165 \text{ m}^3$), míg a fermentorok esetén ez kisebb (Szórás= $\pm 325 \text{ m}^3$) volt.

A fermentorba az 1. és 2. keverőn kívül feladott könnyen bomló nyersanyagbázis és a folyamat biztonságát (pH-javítás) elősegítő adalékanyagok átlagos megoszlását szemlélteti az 49. ábra.



49. ábra. A mezofil fermentor átlagos alapanyagbázisa

A keverők után a húslé aránya volt a legjelentősebb (11,2%), emellett közel 1,5 %-os volt az átlagosan beadagolt baromfi szennyvíznek és a szeparált anyagnak a mennyisége, ha mindezt lebontjuk évekre, akkor elmondható, hogy 2006-2007-ben főleg a baromfi szennyvizet, míg 2008-ban már inkább szeparált anyagot és higrágyát használtak fel.

2. A fermentált végtermék minőségi paraméterei

A kutatási időszakban a fermentált anyag szervesanyag-tartalma nem változott számottevően, míg a szárazanyag-tartalom növekedett. Az output anyag minőségi paramétereinek szórása az inputanyagokénál jóval kisebb (41. táblázat).

41. táblázat. Az output fermentált anyagok minőségi paramétereinek elemzése

Output	N%	C%	Száraz.a.t %	Szerv.a.t.%	C/N
Átlag $\pm \sigma$	3,80 $\pm$ 0,31	41,97 $\pm$ 0,72	3,33 $\pm$ 0,60	0,74 $\pm$ 0,09	11,13 $\pm$ 0,86
Minimum	3,33	40,59	2,27	0,58	9,84
Maximum	4,30	43,55	4,55	0,92	12,88

A fermentációs végtermék szárazanyag-tartalma kevesebb, mint fele volt a kiindulási anyagénak. A fermentorokba betáplált és az erjesztett szubsztrátumok szárazanyag-tartalomra vonatkoztatott N%-a, illetve N-tartalma (t) között nem volt tapasztalható számottevő különbség, ami a nitrogén kismértékű kigázosodásának köszönhető. Ez arra utal, hogy NH₃ nem képződik túlzott mennyiségben a rendszerben. A szárazanyagra vonatkoztatott széntartalom (C%) magasabb volt az output anyagban mivel a szárazanyag-tartalom csökkenésével arányaiban megnőtt a végtermék C%-a. A szén tonnában kifejezett mennyiségeit összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy a fermentáció kb. 30%-kal csökkentette az inputanyagokkal bejuttatott szén mennyiségét.

A fermentált végterméket szeparáltják. A szeparált anyag (száraz fermentált végtermék) C/N aránya a 2008-ban a 2007-es adatokhoz képest minimálisan szűkült, de nem tapasztaltam szignifikáns különbséget (42. táblázat).

42. táblázat. Szeparált anyag minőségi paraméterei

2006-2007	C/N	Sza.t.%	Szerv.a.t.%	pH
Átlag $\pm \sigma$	30,44 $\pm$ 2,93	26,64 $\pm$ 4,09	2,56 $\pm$ 0,17	8,82 $\pm$ 0,15
Maximum	37,38	37,56	2,75	9,08
Minimum	21,29	19,51	2,13	8,06
2008				
Átlag $\pm \sigma$	28,22 $\pm$ 3,13	25,39 $\pm$ 3,48	2,51 $\pm$ 0,23	8,87 $\pm$ 0,39
Maximum	32,34	32,55	3,05	9,17
Minimum	17,55	17,67	1,75	6,22

A C/N arány szórása a szén- és nitrogén-tartalom tavaszi és nyári periódusban történt ingadozására vezethető vissza, amit az áprilisi nagyobb mennyiségben bejuttatott, magas nitrogén-tartalmú állati hulladék okozott. A szeparált anyag szárazanyag-tartalma a szeparálást követően 25,4-37,6% között változott a vizsgált időszakokban. A végtermék

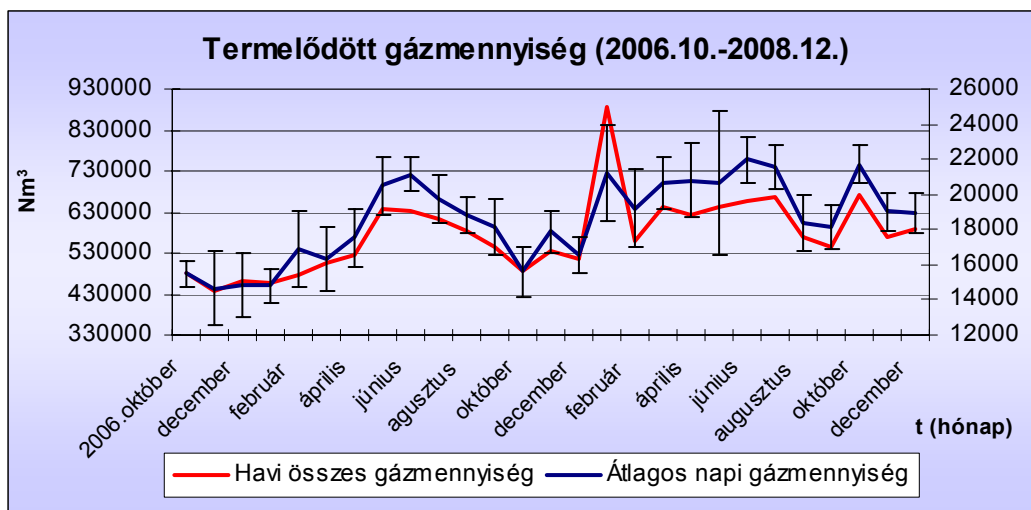
kémhatása 2006-2007 között végig optimális intervallumban 6,5-8,0 (*Bai, 2007*) maradt, míg 2008-ban kiugró, enyhén savas (6,22) pH is megfigyelhető volt.

3. Termelt biogáz mennyiségének és minőségének elemzése

A termelt gáz esetében nemcsak a képződött gáz mennyisége a mérvadó, hanem hogy mennyi ideig termelődik hasonló minőségű gáz. A vizsgált időszakot több részre osztottam. A napi gáztermeléseket ($\text{Nm}^3 = \text{normál m}^3$) figyelembe véve a 2006. október havi egyenletesebb eloszlást mutatott, mint a novemberi és december havi együttvéve, melyek a gázhozam maximumát a 21-22. napon érték el.

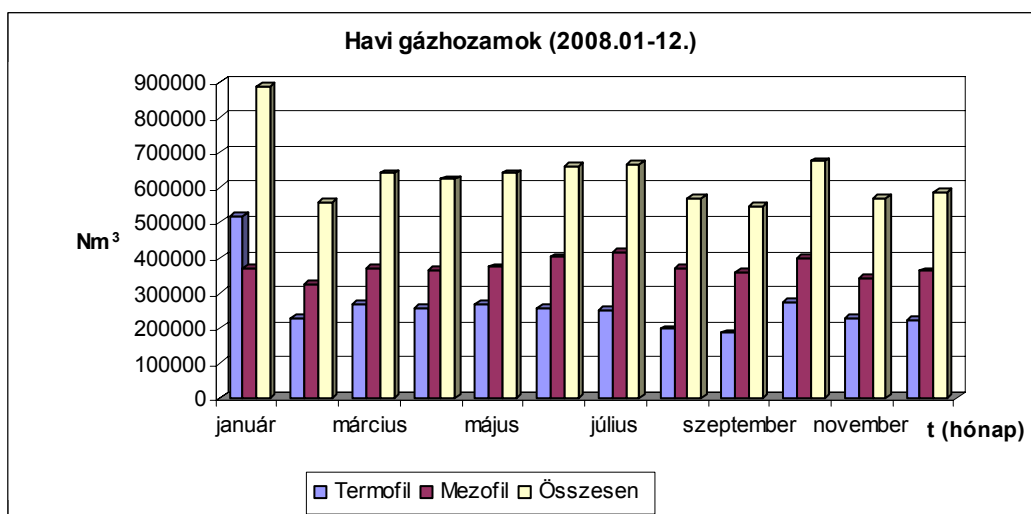
A 2007. májusi gáztermelés kiemelkedő értékeket mutatott a többi hónaphoz képest (a maximális értéket a 11. napon érte el). Szezonálisan megnőtt a szecskázott zöldfű, zöldlucerna, glicerín bevitt mennyisége melynek következtében gyorsan feltáródó szén-forrás került a rendszerbe, ezzel magyarázhatóak a májusi adatok. A termelt biogáz mennyisége alapján megfigyelhető, hogy az összes és a havi átlag mennyisége hasonló módon változott hónapról hónapra. Mind az összes, mind a havi átlagban május közepén érte el a maximális értéket. A 2007. június-december közötti időszakot megfigyelve elmondható (*48. melléklet*), hogy a nyári hónapokban több, míg a téli hónapokban kevesebb gáz termelődött. A legnagyobb gázkihozatalt június végén és július elején produkálta a rendszer, amely a könnyen feltáródó friss zöld növényi anyagok nagyobb arányának volt köszönhető. A termelés júniusban kiegyenlítettebb volt, mint a többi hónapban.

A 2008. májusi gáztermelés kiemelkedő értékeket mutatott a többi hónaphoz képest (a maximális értéket a 24. napon érte el). Januárban és összességében májusban is fokozatosan nőttek a gázhozamok, míg márciusban és áprilisban kiegyenlítően mozogtak. A nyári hónapokban ez az érték 24000 Nm^3 körül mozgott, majd a téli hónapokra 22000 Nm^3 alá csökkent (*49. melléklet*). Az *50. ábrán* a termelődött havi ($430000\text{--}920000 \text{ Nm}^3$) és átlagos napi gázhozam adatok (18570 Nm^3) és szórásuk látható. A 2008. februárban 830000 Nm^3 feletti havi kiugró érték is megfigyelhető, ekkor a napi termelődött biogáz szórása is magas volt.



50. ábra. A termelődött biogáz havi és átlagos napi mennyisége (2006-2008)

Az 51. ábra alapján megállapítható, hogy 2008-ban – január kivételével – hasonló volt a termelt gáz (Nm³) mennyisége.



51. ábra. A mezofil és termofil fermentorok havi gázmennyiség adatainak megoszlása 2008-ban

A két fermentortípust összehasonlítva a mezofil fermentorokban átlagosan 43%-kal nagyobb mennyiségű gáz képződött. Januárban ez a tendencia nem jelentkezett, fordítottan változott az arányuk. Az összes gáztermelés mennyisége is jelentősen megnövekedett a többi hónaphoz képest, ekkor - a tartózkodási idő figyelembevételével - a technológiai szennyvíz (procesz.víz), silókukorica és cukorrépaszelet arányát növelték meg a recepturában.

A biogáz minőségének változása

A 2007-ben termelt biogáz CO₂- és CH₄-koncentrációinak (tf%) vizsgálata során megfigyelhető volt, hogy a metán- (60-70%) átlagosan 61%-os a széndioxid-tartalom (tf%) (30-40%) átlagosan 30%-os értékeket vett fel (50. melléklet). A kén-tartalom átlagosan 375 ppm volt, melynek csökkentése érdekében fejlesztették ki az adott biogáz üzemre a kéntelenítési technológiát. 2008-ban a fejlesztés következtében csökkent a biogáz kén-tartalma február és október között, de novemberben elejére hirtelen 300 ppm felé emelkedett rövid időszakokra. Decemberben már végig 200 ppm alatt maradt. A biogáz kénhidrogén-tartalma átlagosan 201 ppm, míg az ammónia 39 ppm volt. A biogáz ammónia-tartalma a vizsgált időszakban nem mutatott jelentős ingadozást. Az átlagos metán-tartalom 57%-os, míg a széndioxid 29% volt (51. melléklet). Az üzemben termelt biogáz CO₂ és CH₄ koncentrációinak vizsgálata mind a metán-, mind a széndioxid-tartalom jelentősen ingadozott, de a kénhidrogén szórása volt a legnagyobb (± 152 ppm) (43. táblázat).

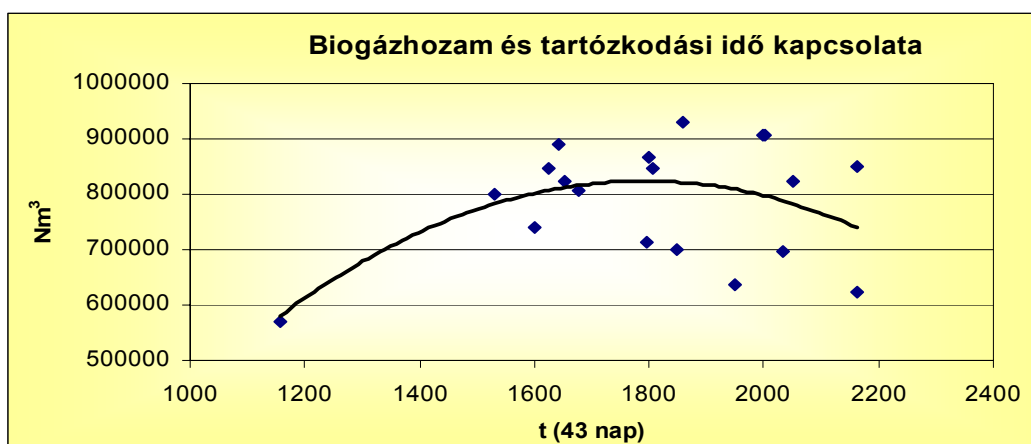
43. táblázat. A biogáz minőségi paraméterei

Biogáz minősége	CH ₄ %	CO ₂ %	H ₂ S ppm	NH ₃ ppm	pH
Átlag $\pm \sigma$	58,7 $\pm$ 8,1	29,2 $\pm$ 7,6	275,6 $\pm$ 152,0	39,2 $\pm$ 16,8	7,0 $\pm$ 0,1
Minimum	36,0	11,8	7,2	29,0	6,9
Maximum	73,9	46,5	480,0	72,0	7,2

A metán-tartalom átlagos értéke megfelelő volt, de a 74%-os maximális érték arra hívja fel a figyelmet, hogy jelentős potenciál áll rendelkezésre, melyet az alapanyagok és azok minőségének kiegyensúlyozottabb, kevésbé változatos receptúra összetételével lehetne kiegyenlíteni, melyeknek elsősorban az évszakokhoz adaptálhatónak kell lenniük.

4. A termelődött gázmennyiség és a tartózkodási idő kapcsolata

A mezofil fermentorok esetén ez átlagosan 19 napra, míg a termofil fermentoroknál 23 napra tehető. A teljes hidraulikus tartózkodási idő (HTI) átlagosan 43 nap volt. A teljes hidraulikus tartózkodási idő (HTI) (43 nap) esetében vizsgáltam a biogáz-hozam (Nm³) adatokkal való kapcsolatát. Az összefüggéseket regresszió analízissel végeztem, a napi adatok esetén mindhárom tartózkodási idővel alacsony kapcsolatot mutatott ($R^2=0,07>$). A HTI adatsor és a biogáz-hozamok 43 napos összegét vizsgálva 2. fokú polinom függvény ($y=-0,6067x^2 + 2173,5x - 1E+06$) illeszthető közepes ($R=0,53$) megbízhatósággal az adatokra (52. ábra).



52. ábra. A tartózkodási idő és a biogáz-hozam kapcsolata 43 napos összegek esetén

A közepes megbízhatóság bizonyítja azt a hipotézist, miszerint a tartózkodási idő és a biogáz-hozam összefüggnek egymással.

5. A felhasznált alapanyagok és a fermentált végtermék minőségének összevetése

Az alapanyagbázis és a fermentált végtermék minőségi paramétereit csak a hidraulikus tartózkodási idő (HTI=43 nap) pontos ismeretében lehet összevetni. Az input alapanyagok kumulált, súlyozott minőségi adatai (C-, N-, szá.- szerv.a.-tartalom, C/N arány) és a 2007-es évben ellenőrzésként a mezofil fermentorból vett minták mennyiséggel súlyozott minőségének tonnában meghatározott összegeit (HTI=43 nap) vetettem össze, hogy igazoljam a számításaimat.

44. táblázat. Nyersanyagok kumulált és mért adatai közötti különbség vizsgálata

Tényezők	N (elemszám)	Korreláció	P*
N-tart. (t)	34	0,295	0,090
C-tart. (t)	34	0,209	0,236
Szárazanyag-tart. (t)	34	0,255	0,145
Szervesanyag-tart. (t)	34	0,170	0,336

* szignifikancia szint

A páros t-próba eredményi alapján elmondható, hogy az eredeti hipotézist, miszerint szignifikáns különbség van a tényezők között, el kell vetni, ugyanis a szignifikanciaszint 0,05 fölött volt (44. táblázat). A következő lépésben megállapítottam az összefüggések erősségeit (45. táblázat).

45. táblázat. Input és output anyagok beltartalmi értékeinek összefüggés-vizsgálata

Beltartalmi érték (t)	R ²	R	Összefüggés	Függvény
N	0,78	0,88	erős	$y = 1,8336x0,6158$
C	0,67	0,82	erős	$y = 6,2693x0,564$
C/N átlag	0,17	0,41	gyenge-közepes	$y = -0,1695x^2 + 3,8552x - 10,641$
Szárazanyag	0,76	0,87	erős	$y = 3,3944x0,6941$
Szervesanyag	0,65	0,81	erős	$y = 5,0435x0,5319$

A C/N arány kivételével erős összefüggéseket kaptam hatvány függvény illesztésével. A nyersanyagok és a fermentált végtermék nitrogén- és szárazanyag-tartalom összefüggései bizonyultak a legerősebbnek, melyek közül a N-tartalom az 52. *mellékletben*, a szárazanyag-tartalom az 53. *mellékletben* figyelhetők meg. Az összefüggés-vizsgálat tehát igazolta azt a feltevést, hogy az alapanyagok minősége erősen összefügg a végtermék minőségi paramétereivel, mely a későbbi mezőgazdasági felhasználást határozza meg.

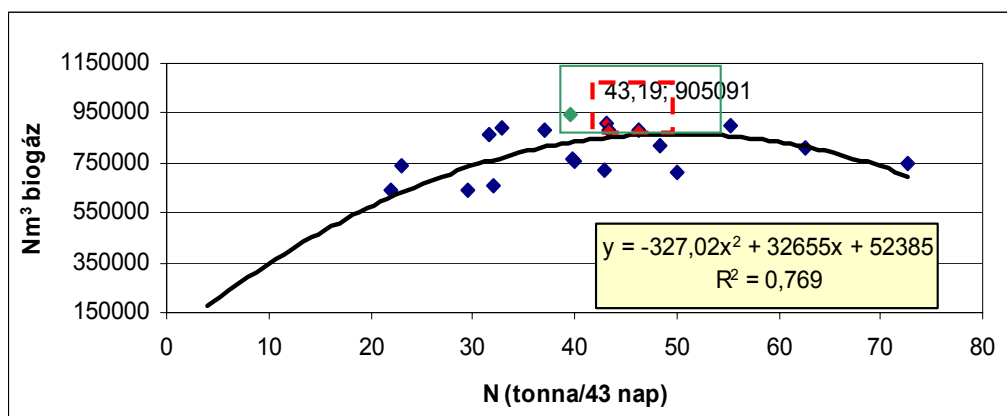
6. A termelődött gázmennyiség és az input anyagok minőségi paramétereinek összefüggései

Az alapanyagok beltartalmi értékei és a biogáz-termelés között a tartózkodási idők (HTI=43 nap) alapján összegzett értékekkel – kivétel a C/N arány átlaga- végeztem el a regresszió analízist, mellyel az egyes tagok és biogáz-hozam közötti összefüggést és annak erősségét tudtam megállapítani. A 46. *táblázatban* foglaltam össze az eredményeket. A hipotézisem az volt, hogy az alapanyagok minősége hatással van a biogáz-termelésre. A determinációs együttható másodfokú polinom függvények esetén 0,7-0,8 között változott, tehát erős összefüggést mutatott. A C/N arány és a biogáz-hozamok esetén hatvány trend illeszthető az adatokra közepes megbízhatósággal (R=0,62).

46. táblázat. A biogáz-hozam és az input nyersanyagok beltartalma közötti összefüggés

Beltartalmi érték	R ²	R	Összefüggés
N-tart. (t)	0,77	0,88	Erős
C-tart. (t)	0,74	0,86	Erős
C/N átlag	0,38	0,62	Közepes
Szárazanyag-tart. (t)	0,79	0,89	Erős
Szervesanyag-tart. (t)	0,71	0,84	Erős

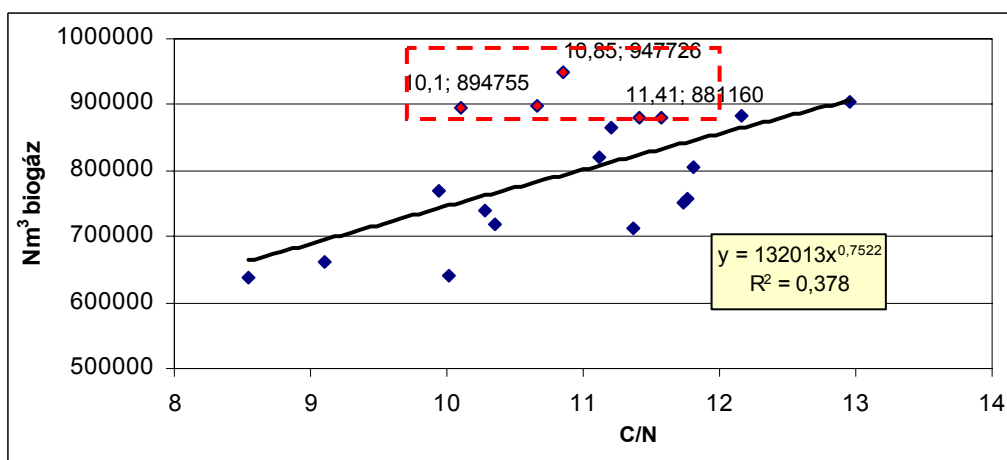
A felhasznált alapanyagok N-tartalmának (t) a biogáz-hozam (Nm^3 =normál m^3) összefüggését 43 napos összegek esetén vizsgálva megállapítható, hogy 43,2-46,3 t/43 nap, tehát 1-1,1 t napi N-bevitel az optimális, mely esetén átlagosan napi 20770,4 Nm^3 gáztermelés tapasztalható, mely 12192 m^3 /nap metán-termelést jelent (53. *ábra*).



53. ábra. Input nitrogén-tartalom (t) és a biogáz-hozam (Nm³) összefüggése

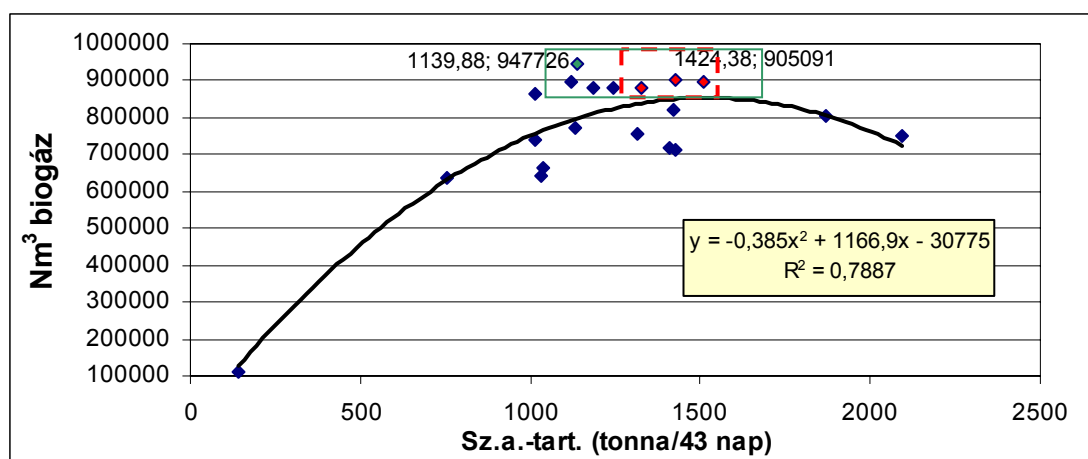
A C-tartalom esetében a 2. fokú polinom függvény alapján az 560,6 t/43 napos (11,8 t/ nap) érték volt az optimális, melyhez napi 20492 Nm³-es gázhozam rendelhető. 1 tonna C-bevitel esetén 1019 m³/nap a termelődött metán mennyisége (54. melléklet).

A C/N arány átlagos értékei összevetve a biogáz-kihozatal összegeivel, kisebb pontossággal lehet meghatározni az optimális értéket (54. ábra). A 10:1-11,4:1 C/N arányhoz tartoztak a legmagasabb gázhozam adatok (20492-22040 Nm³/nap).



54. ábra. Input C/N arány és a biogáz-hozam (Nm³) összefüggése

A szárazanyag-tartalom a 2. fokú polinom függvény alapján a 33,1 t/nap érték és a hozzá tartozó 21048,6 Nm³/napos gázhozam az optimális, de a maximális gázhozamhoz (22040,1) 26,5 t/napi érték tartozik (55. ábra). A naponta bevitt alapanyagok sz.a.-tartalmát a két érték között érdemes meghatározni. A megállapítások alapján kb. 373-488 m³/nap metánhozam rendelhető 1 tonna szárazanyag-tartalomhoz.

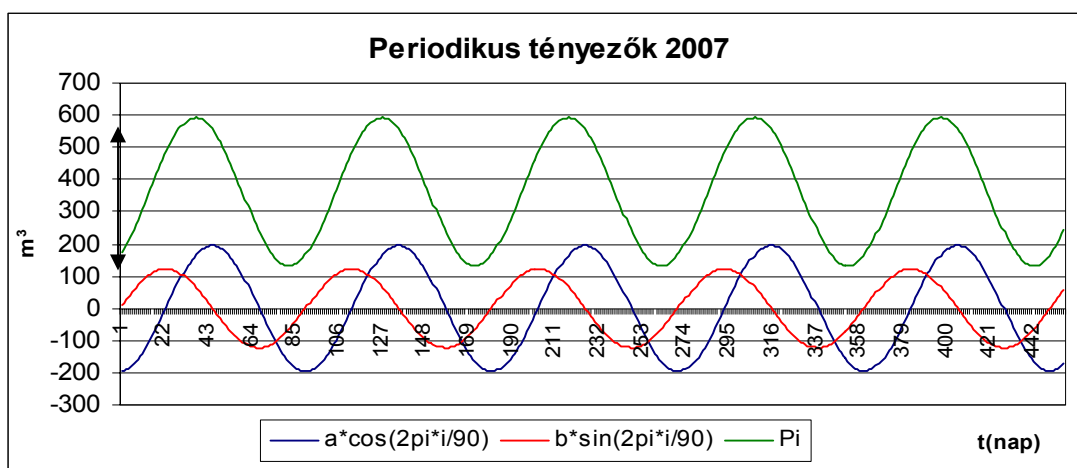


55. ábra. Input szárazanyag-tartalom (t) és a biogáz-hozam (Nm^3) összefüggése

Az 55. melléklet alapján az összes napi alapanyag szervesanyag-tartalma optimálisan 7,3 t/nap, melyhez 20809 Nm^3 biogáz-termelés tartozik. 1 tonna szervesanyag-bevitel így $1673 \text{ m}^3/\text{nap}$ metántermelést eredményez. A 2. fokú polinom függvény trendvonalára a maximális gázhozam kevésbé illeszkedik (22040 Nm^3), melyhez alacsonyabb 6,2 t/nap szervesanyag-tartalom tartozik, mely 1 t/nap szervesanyag-bevitelre vetítve $2086 \text{ m}^3/\text{nap}$ metán-hozamot jelent. A napi bevitel szervesanyag-tartalmát a két érték között, tehát 6,2-7,3 t/napban határoztam meg.

7. Alapanyagok előfordulásához kötött variánsok összeállítása a nagyobb biogáz-termelés érdekében

Az idősor modellalkotóit egymás után határoztam meg és választottam le a maradék adatállományból. Az idősorok felbontásának első lépéseként az eredeti, biogáz-hozam idősorról (823 nap) leválasztásra került a lineáris trend komponens (56. melléklet). A vizsgált időszakban termelődött gázmennyiség adatokra lineáris trend közepes összefüggéssel ($R=0,51$) illeszthető, melynek determinációs együtthatója 0,26. Ezzel a hosszú távú hatást szűrtem ki az adatbázisból, azaz a biogáz-termelés fokozatos növekedését. A függvény $157068,5 \text{ Nm}^3$ gáztermelésről indult, majd a vizsgált 823 napos időszakra vonatkoztatva napi $6,08 \text{ Nm}^3$ -t emelkedett (56. ábra). Az egyenlet numerikus megoldása a fentiek alapján a következő: $T_i = 15706,51 + 6,077i$.



56. ábra. Biogázhozam periodikus tényezőjének meghatározása (2007)

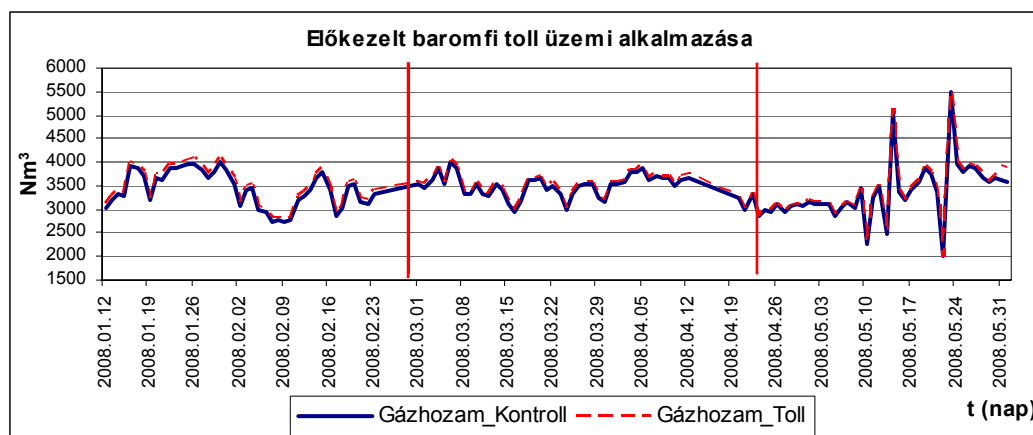
A következő lépés a periodikus összetevő leválasztása volt a modellben. Feltételeztem, hogy a biogáz üzem alapanyagbázisában évszakos periodicitás van. Az $a \cdot \cos(2\pi \cdot i/90)$ periodikus összetevő értéke -195,35, míg a $b \cdot \sin(2\pi \cdot i/90)$ periodikus összetevő értéke 122,36 volt a vizsgált időszakban, melyet két részre osztottam fel (2006.október-2007. december, 2008. január-december) a könnyebb ábrázolhatóság érdekében (57. melléklet).

A P_i értéke 200-600 m³ között változott, így átlagosan 400 m³-re tehető a változás mértéke, mely a periodicitásnak köszönhető. A periodikus hatás 2007-es évben 2,31%-kal, 2008-ban 1,98%-kal, míg a teljes vizsgált időszakban 2,15%-kal befolyásolta a biogáz-hozamot. Amennyiben a periodikus összetevőt is izoláltam az adatforrásból az autoregresszív és a véletlen komponensek maradtak vissza. Az autoregresszív elemzés az egymást követő ciklusok függőségéből adódó statisztikai törvényszerűséget számszerűsíti, míg a véletlen tényező a modell bizonytalanságát reprezentálta. A modell interpretációja során az autoregresszív komponenst technológiai fegyelemként értelmeztem, míg a véletlen összetevő a modell bizonytalanságát határozza meg. A vizsgálatot ezek után a p_i maradék tag meghatározásával folytattam, amelyről feltételeztem, hogy már sem trend, sem periodikus összetevő nem befolyásolja, csupán az egymást követő értékek közötti autokorreláció. A c_1 állandó értéke: 0,719, míg a V_i átlag értéke: 554,98, minimuma: -2158,16, maximuma: 3715,6. Ez azt jelenti, hogy az összes szabályszerűséget figyelembe véve ilyen pontossággal határozható meg technológiai fegyelem mértéke. A számítások alapján átlagosan 3%-ban befolyásolja a biogáz-hozamot, de a maximális érték esetén már 20%-ban. A teljes eltérést figyelembe véve pedig 31,6%-ot is elérhet a random hiba hatása a gázhozam adatokra. A random hiba jelen esetben az előre nem jelezhető technológiai hiba, emberi tényező, esetleges

toxikus hatás miatt bekövetkező gázhozam csökkenés, vagy a nem magyarázható gázhozam növekedés is lehet, melyet technológiai tartalékként lehet meghatározni.

4.2.4. Az előkezelt baromfi toll alkalmazása a Nyírbátori Regionális Biogáz Üzemben

Az előzetes laboratóriumi eredmények alapján 5% előkezelt baromfi toll került feladásra a kijelölt mezofil fermentorba. Később a bekevert toll arányát 2, majd 1%-ra csökkentettem.



57. ábra. Az előkezelt baromfi toll bekeverésének hatása a biogáz-hozamra

A gázhozam adatok nem változtak meg szignifikánsan a toll alkalmazását követően (57. ábra).

47. táblázat. Az előkezelt baromfi toll alkalmazása esetén tapasztalt biogáz minőségi változás

Eredeti receptúra	CH ₄ %	CO ₂ %	NH ₃ ppm	H ₂ S ppm
Átlag	63,7	33,7	42	329
Minimum	62,2	30,0	29	198
Maximum	65,0	36,7	55	460
5% baromfi toll	CH ₄ %	CO ₂ %	NH ₃ ppm	H ₂ S ppm
Átlag	60,5	34,5	39,7	380
Minimum	56,0	31,0	29	205
Maximum	65,0	38,0	76	555

A beadagolt toll arány csökkentés oka az volt, hogy a tollfehérje magas kén-tartalma miatt túlzottan megnövekedett a biogáz amúgy is magas kénhidrogén-tartalma (47. táblázat). Az eredeti alapanyagbázis esetén megvizsgáltam a mezőgazdasági területre kijuttatható fermentált végtermék mennyiségét a Nitrát-direktíva (170 kg/ha N) betartása mellett, majd az előkezelt toll alkalmazása esetén is.

A magas fehérje-tartalmú baromfi toll bekeverési arányának növelésével fokozatosan csökken a kijuttatható mennyiség, melynek különözete a 48. táblázatban látható.

48. táblázat. Az előkezelt baromfi tollal kiegészített biogáz receptúra kijuttatható mennyisége

Kijuttatható mennyiség	Eredeti fermentált végtermék	+1% toll	+2% toll	+5% toll
N-tartalom/1kg	0,038	0,039	0,0404	0,0445
Kijuttatható ferm.végtermék kg/ha	4473,68	4358,97	4212,09	3822,80
Különözet kg/ha	0,00	-114,71	-261,59	-650,88

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Kutatásom célja volt olyan biogáz receptura variánsok kidolgozása a vizsgált biogáz üzemben, melyek nagyobb metán-kihozatalt eredményeznek. Elkészítettem a Nyírbátori Regionális Biogáz Üzemben az alkalmazott alapanyagok és a fermentált végtermék összetételére, minőségi paramétereire vonatkozó adatbázist. A vizsgálati helyen nagy mennyiségben keletkező hígtrágya, vágóhídi hulladék, illetve az előkezelt állati tetem újrahasznosítását értékeltem, majd hosszú idejű üzemi adatok alapján elemeztem a biogáz hasznosítás gyakorlatát, és fejlesztési megoldásokat határoztam meg. Kidolgoztam a baromfi vágóhidakon nagy mennyiségben keletkező, nehezen hidrolizálható broiler toll feltárásának módszertani hátterét. Előzetes laboratóriumi kísérletek, majd üzemi kísérletek alapján meghatároztam az előkezelt toll maximális bekeverési arányát a vizsgált biogáz üzembe.

5.1. Laboratóriumi kísérletek

A baromfi toll fizikai-biológiai előkezelése (DE) során az 1:1 baromfi toll:víz arány mechanikus keverésre alkalmatlan volt. Az 1:2-es és 1:3-as toll:víz arányú kezelések keverhetősége megfelelő volt. Üzemi körülmények között ajánlott kompresszoros oxigénellátást is biztosítani a zárt technológia miatt. Az 5%-os toll:baktérium kultúra arány esetén a pH jelentős csökkenést mutatott. A pH beállításához felhasznált foszfát-puffer mennyisége így megnőtt, ami költségtakarékosság szempontjából nem előnyös. Az 1 és 3%-os toll:baktérium arányú kezelések feltáródása között nem mutatkozott szignifikáns különbség, üzemi körülmények között való alkalmazásra így az anyag-takarékosság szempontjából kedvezőbb 1%-os bacillus:toll arányt javaslom. Üzemi körülmények között ez a probléma hatványozottan jelentkezik, ezért biogázüzemi alkalmazás esetén a mésztej felhasználása javasolt, mely természetes anyag, így környezetbarát és olcsóbb megoldás az optimális kémhatás fenntartásához. A 70°C-os hőkezelés 1:2 toll:víz arány 1 és 3% baktériumkult., 1:3 toll:víz arány 1 és 3%, és a 130°C-os 1:3 toll:víz arányú 1%-os kezelések szignifikánsan különböztek a többitől, átlagos extinkció értékei magasabbak voltak. A baromfi toll lebontása tehát hatékonyabb volt, így ezeket a kezeléseket sikeresnek tekinthetjük. Megállapítható, hogy a baktérium kultúra használata nélküli és használatával beállított kezelések között szignifikáns különbség mutatható ki (SD0,1%) a bomlás hatékonysága szempontjából. A kísérleti eredmények alapján az összes hőkezelés (70, 100, 130°C) alkalmazható a gyakorlatban, de a 70°C-os előkezelés javasolható, mert gazdaságosabb és magasabb extinkció eredményeket produkált. Összességében a

minimális hőkezelést és baktériumszámot igénylő kombináció javasolható üzemi körülmények közötti alkalmazásra. Az aprított toll baktériumos előkezeléséhez szükséges kémhatás fenntartásához irreálisan nagy mennyiségű foszfát-puffert kellett felhasználni. Az aprítás mértéke nem befolyásolta jelentősen az extinkció mértékét, így nem javaslom alkalmazását.

A baromfi toll fizikai-kémiai előkezelése (BOKU) kapcsán a baromfi toll feltárhatóságának mértékét többféle módszer alkalmazásával követtük nyomon. A vágóhídról a baromfi toll átlagosan 67,72%-os nedvességtartalommal került ki, míg a 1:2-es toll:deszt.vízzel beállított elegy átlagosan 10,97%-os szárazanyag-tartalommal rendelkezett. A száraz toll szervesanyag-tartalmának átlaga 66,2% volt. Ezen paraméterek lehetővé teszik a kezelt toll biogáz célú hasznosítását. A kezelt toll:víz elegy szűkítheti a többi alapanyag C/N arányát (deszt.víz esetén:~7:1). A kezdeti átlagos pH a desztillált vízzel beállított kezelések esetében 7,2 volt, ami az előkezelés után minimálisan csökkent. 1%-os NaOH-oldat alkalmazásakor a kezdeti átlagos 7,8-as pH érték egy értékkel nőtt. Az oldatba oldódott szervesanyag mennyisége (g KOI l-1) az 1%-os NaOH-oldattal beállított 160°C hőkezelt, nem aprított baromfi tollnál volt maximális. Lúgos kémhatása és erős bázikus tulajdonsága miatt mégsem javasolható biogáz-előállítás alapanyagként, csak ha savas a nyersanyagbázis. A homogenizálást alkalmazását nem javaslom, míg a 160°C-os hőkezelés hatására szignifikánsan nőtt az oldat szervesanyag-tartalma (KOI), de energiatakarékossági okokból mégsem javaslom.

A sertés hígtrágya fermentálásánál (DE) az oltóanyag nélküli beállítások és az oltóanyaggal beoltott kezelések összehasonlítása után arra a következtetésre jutottam, hogy az oltóanyag csak kismértékben fokozza a metánkoncentrációt. A jelentős különbség a maximális koncentráció elérésének időtartamában jelentkezett, hiszen míg a kezeletlen beállítások esetében a hidraulikus tartózkodási idő 31 nap, addig a beoltott kezelések esetében 23-25 nap volt. Az inhibitor tulajdonságú NH₃ és H₂S képződése mérsékelt volt a kísérletek során.

Sertés hígtrágya és előkezelt baromfi toll kofermentációja (DE) esetében a kísérletek alapján megállapítható, hogy a sertés hígtrágyát és baromfi tollat tartalmazó alapanyag biogáz-termelését a keverési arány jelentős mértékben meghatározza. Mezofil körülmények között az 5- és 10%-os bekeverési arányok javasolhatók a termelt biogáz mennyisége (dm³/nap) és minősége alapján. A termofil fermentáció esetében rövidebb idő alatt lezajlott a folyamat (5-6 nap) és 1-2%-os metán-termelésbeli növekedést is tapasztalható volt. A mezofil és a termofil fermentációt összevetve elmondható, hogy magasabb hőmérséklet hatására gyorsabban indult be a folyamat és tartósabbnak bizonyult a metán koncentráció szempontjából. A szaghatást és korróziót előidéző H₂S mennyisége 10%-nál nagyobb tollarány (20, 40%) esetén jelentősen

megnőtt a fermentáció kezdetén, ami visszahatott a metán-termelésre, rontotta a biogáz minőségét. Ugyanez a tendencia volt megfigyelhető a termofil fermentációnál is. A kísérleti tapasztalatok alapján 5% tollarányban célszerű maximalizálni a bekevert előkezelt toll mennyiségét a biomasszában, mellyel a fokozott inhibitor anyag képződése elkerülhető. A biogáz-termelés fermentált melléktermékének számos kedvező tulajdonsága van a szerves trágyákkal és műtrágyákkal szemben. Az így keletkező „biotrágyának” jelentős a N-, P-, S-, és mikroelem-tartalma, mellyel környezetkímélő tápanyag-visszapótlás biztosítható. A nagyobb kén-tartalom miatt a keratinhulladékokat is feldolgozó biogázüzem fermentleve kénhiányos talajokon még kifejezettebb termésnövekedést eredményezhet. A hígtrágyára és a baromfi toll együttes fermentálása nemcsak a Nitrát-direktíva és az IPPC előírásai miatt fellépő hígtrágya elhelyezési problémákra ad egy hasznosítási alternatívát, hanem a takarmányként már nem hasznosítható baromfi toll elhelyezési gondjaira is megoldást nyújthat.

5.2. Üzemi kísérletek

A baromfi toll üzemi méretű előkezelhetőségének (KT) elemzése során a független mintás T-próba alapján megállapítható, hogy a kezelés a magasabb extinkció érték és semlegeshez közeli pH érték esetében mondható optimálisnak. Ez alapján a 70°C-os kezelés sikeresebb volt a 130°C-oshoz képest. A baktérium mennyiségének növelése (1-> 3%) nem eredményezte a bontás hatékonyságának a többlet mennyiséggel arányos fokozódását, ezért nem javasolom üzemi körülmények közötti alkalmazását. Az eredmények nem indokolják a nagyobb koncentrációjú oltóanyag és költségesebb 130°C-os hőkezelés alkalmazását üzemi körülmények között. A kezelés optimális időtartama 5,5 napban határozható meg. Üzemi kísérlet esetén a baromfi toll kén-tartalmának jelentős csökkenése bizonyítja a diszulfid-hidak, vagyis a keratin felbomlását, ami az előkezelt baromfi toll könnyebb hidrolizálhatóságát jelenti. Üzemi körülmények között problémát okozhat az állati fehérje túlzott bevitele. Kénhidrogén formájában történő kigázosodása rontja a biogáz minőségét, illetve korrozív, így jelentős károsodást okozhat a fermentor szerelvényeiben és a gázmotorokban. Ezért fontos az alapanyagbázis ismeretében megállapítani az adott biogázüzemre adaptált alkalmazható bekeverési arányt, mely a vizsgált biogáz üzemben 5%-ban maximalizálható.

A sertés hígtrágya üzemi méretű fermentálásánál a nyomás alatt tartott beton fermentorban (10 m³) a kísérletek sikertelennek bizonyultak, a tartály, nyomás alatt nem javasolható üzemi alkalmazásra. A biogáz-termelés szempontjából a 37°C-os nyomás nélküli beállítás optimálisnak bizonyult. A gáztermelési adatok (11 m³/nap) alapján javasolható a speciális

tartály sertés hígtrágya monoreceptúrás fermentációjára. A hígtrágya hulladéknak minősül, elhelyezése és hasznosítása jelenleg csak költségtényező a telepek számára, a Nitrát-direktívában előírt hígtrágya-tároló építése helyett így vonzó alternatíva lehet egy biogáz erőmű létesítése. A bevételi forrás a biogáz felhasználással „megspórolt” földgáz ára. A 10 m³-es tartály az optimálisnak tekinthető 28 napi ciklusban hatékony fermentáció esetén a keletkező biogáz mennyisége szakaszos üzemmódban kb. 200 m³, míg folyamatos üzemmódban (napi adagolás a 28 napos tartózkodás biztosításával) kb. 290 m³. Ez éves szinten 3780 m³ biogázt jelent, melyből a tartály fűtésére kb. 750 m³ szükséges. A fennmaradó 3030 m³ 1720 m³ földgáznak felel meg, mely akár egy tartály esetében is jelentős bevételt jelent a sertéstelepek számára a jelenlegi árviszonyok mellett. A fermentáció során keletkező biogáz fűtőértéke átlagosan 19,3 MJ/kg volt.

A mezőgazdasági alapanyag-bázisú biogáz üzem vizsgálata (BÜ) során először az információbázis kiépítését, majd az input-output anyagok jellemzését végeztem el. A vizsgált időszakban a szarvasmarha hígtrágya mennyisége a technológiaváltás következtében megnövekedett 20.000-ről 32.000 m³-re. A baromfi szennyvíz felhasznált mennyisége fokozatosan csökkent 80.000-ről 5000 m³-re. A növényi alapanyagok mennyisége szezonálisan változott. A C-tartalmat, így közvetetten a gázhozamot hirtelen megnövelő frissen vágott növényi anyagok csak a vegetációs időszakban álltak rendelkezésre, míg a silókukorica a betárolást követően folyamatosan. A silókukorica hiányzó mennyiségét 2008-tól más növényi alapanyagokkal pótolták, így az előző évhez képest bővült a felhasználásra kerülő alapanyagok köre: zöldborsó, E. triticales, cukorrépaszelet, sajtsavó, zöldbab, szecskázott zöld fű, ill. lucerna, cukorrépa szecska és szemes kukorica. Emellett a fermentált végtermék, főleg a szilárd szeparált anyag recirkuláltatása 2006-2007-ben november és május közötti időszakban, majd 2008-ban folyamatosan növekedett. A keverő terhelését elsősorban a szarvasmarha trágya, hígtrágya, silókukorica és kukoricadara határozta meg, így a fermentorba feladott nyersanyagok minőségét is, ezért kiemelten fontos minőségük folyamatos ellenőrzése. A keverők átlagos alapanyagbázisa 8770 m³, míg a fermentoré 1456 m³ volt havonta, a keverőbe jutott alapanyagok mennyisége jelentős ingadozást mutatott, (Szórás=±1165 m³), míg a fermentorok esetén ez kisebb (Szórás=±325 m³) volt. Az input és output anyagok minőségi paramétereit vizsgálva javaslom nyári időszakban a könnyebben feltárádó, C-bázisú növényi alapanyagok, míg téli időszakban glicerint és silókukorica felhasználásának növelését az optimális C/N arány elérése érdekében. Alternatív megoldás a szeparált anyag újbóli felhasználása, mely nemcsak az esetlegesen bekövetkező alapanyag-hiányra, vagy a fermentált anyag tárolásának problémájára adhat egy lehetséges megoldást,

hanem a pH, C/N arány eltolódás mérséklésének viszonylag gyors, egyszerű és költségtakarékos módja lehet. Mindemellett a kéntelenítésen átesett végtermék a fermentorokban lévő H₂S-mennyiségét már nem növeli. Ezen gyakorlati érvek és a tározókapacitás felszabadítása miatt tapasztalható - 2007-hez képest - 2008-ban a szeparált anyag mennyiségének (t) fokozatos növekedése.

A termelt biogáz mennyiségének és minőségének elemzése kapcsán a két fermentor típust összehasonlítva a mezofil fermentorokban átlagosan 43%-kal nagyobb mennyiségű gáz képződött. A metán-tartalom átlagos értéke 58,7% volt, de a 74%-os maximális érték arra hívja fel a figyelmet, hogy jelentős potenciál áll rendelkezésre, melyet az alapanyagok és azok minőségének kiegyensúlyozottabb, kevésbé változatos receptúra összetételével lehetne kiegyenlíteni, melyeknek elsősorban az évszakokhoz adaptálhatónak kell lenniük. A biogáz kénhidrogén-tartalma a kéntelenítést követően átlagosan 201 ppm, míg az ammónia 39 ppm volt, ami igazolja a jelenleg alkalmazott kéntelenítési eljárás hatékonyságát. Azonban a kiugró értékek miatt javasolt az adott biogáz üzemre adaptált új kéntelenítési eljárás bevezetése, mert a jelenlegi technológia hatékonysága nem fokozható.

A termelődött gázmennyiség, tehát a 43 napos biogáz-hozam adatok összegét és a hidrológiai tartózkodási idő (HTI) adatsorának kapcsolatát vizsgálva 2. fokú polinom függvény ($y = -0,6067x^2 + 2173,5x - 1E+06$) illeszthető közepes ($R=0,53$) megbízhatósággal az adatokra. A közepes megbízhatóság bizonyítja azt a hipotézist, miszerint a tartózkodási idő és a biogáz-hozam összefüggnek egymással. A biogáz üzemben a rövidebb HTI eléréséhez több könnyebben feltáródó, C-bázisú nyersanyag felhasználása javasolt.

A felhasznált alapanyagok és a fermentált végtermék minőségének összevetése kapcsán az összefüggés-vizsgálatok a C/N arány kivételével (közepes) erős összefüggéseket adtak. A nyersanyagok és a fermentált végtermék nitrogén- és szárazanyag-tartalom összefüggései bizonyultak a legerősebbnek, tehát a fermentált végtermék minőségére elsősorban az eredeti alapanyag nitrogén- és szárazanyag-tartalma van hatással.

A termelődött gázmennyiség és az input anyagok minőségi paramétereinek összefüggéseinek vizsgálatánál a hipotézisem az volt, hogy az alapanyagok minősége (C, N, C/N, szá., szerva.) hatással van a biogáz-termelésre, melyet a másodfokú polinom függvény ($R^2=0,7-0,8$) igazolt. Az egyes minőségi paraméterekre optimális fajlagos (1 tonna) értékeket állapítottam meg. Ezek alapján 1 t N-tartalom esetén 12192 Nm³/nap, C-tartalomnál 1019 Nm³/nap metán-termelés várható. A C/N aránynál az optimális érték 10:1-11,4:1 között volt, melyhez 20492-22040 Nm³/nap biogáz- és 12029-12937 Nm³/nap metán-hozam adatok tartoztak. 373-488

Nm³/nap metánhozam rendelhető 1 tonna szárazanyag-tartalomhoz. 1 tonna szervesanyag-bevitel kb.1673-2086 Nm³/nap közötti metán-termelést eredményezett.

Az alapanyagok előfordulásához kötött variánsok összeállítása a nagyobb biogáz-termelés érdekében az idősor modellalkotóit egymás után határoztam meg és választottam le a maradék adatállományból. A lineáris függvény alapján a vizsgált 823 napos időszakra vonatkoztatva napi 6,08 Nm³-t emelkedett a gázhozam, ami azt jelenti, hogy a várható éves hozamnövekedés 2218 Nm³. Feltételeztem, hogy a biogáz üzem alapanyag-bázisában évszakos periodicitás van. A Pi értéke 200-600 m³ között változott, így átlagosan 400 m³-re tehető a változás mértéke, mely a periodicitásnak köszönhető. A periodikus hatás 2007-es évben 2,31%-kal, 2008-ban 1,98%-kal, míg a teljes vizsgált időszakban 2,15%-kal befolyásolta a biogáz-hozamot. A technológiai fegyelem számítások alapján átlagosan 3%-ban befolyásolja a biogáz-hozamot, de a maximális érték esetén már 20%-ban. A teljes eltérést figyelembe véve pedig 31,6%-ot is elérhet a random hiba hatása a gázhozam adatokra. A random hiba jelen esetben az előre nem jelezhető technológiai hiba, emberi tényező, esetleges toxikus hatás miatt bekövetkező gázhozam csökkenés, vagy a nem magyarázható gázhozam növekedés is lehet, melyet technológiai tartalékként lehet meghatározni.

Előkezelt baromfi toll arányát az adott biogáz üzemi recepturában (BÜ) 2%-ban érdemes maximalizálni. A magas fehérje-tartalmú baromfi toll bekeverési arányának növelésével fokozatosan csökken a fermentált végtermék mezőgazdasági területre kijuttatható mennyisége, így pl. az eredeti 4473,7 kg/ha-ról 5% bekeverési arány esetén 3822,8 kg/ha-ra csökkent. Viszont a kénben gazdag fermentlé a kénhiányos területeken kifejezettebb termésnövekedést okozhat.

6. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Az értekezés új tudományos eredményei az alábbiakban foglalhatóak össze:

- 1. tézis:** Meghatároztam az optimális hidrológiai tartózkodási időket és inhibitor tulajdonságú gázok termelődött mennyiségét sertés hígtrágya, illetve sertés hígtrágya és előkezelt baromfi toll fermentációja esetén. A termelődött kénhidrogén mennyisége miatt a toll kritikus bekeverési aránya laboratóriumi körülmények között 5-10%, míg adott biogáz üzemben 2% volt.
- 2. tézis:** Feltártam a mezőgazdasági biogázüzemben felhasznált alapanyag kombinációk és a végtermékek mennyiségi és minőségi paraméterei (C-, N-, száraz-, szervesanyag-tartalom, C/N) közötti összefüggéseket és a biogáz-hozam (Nm^3) és a tartózkodási idők kapcsolatát. Számításaim alapján az átlagos hidrológiai tartózkodási idő (HTI) a mezofil fermentorokban 19 nap, a termofil fermentorokban 23 nap, a teljes rendszer esetében 43 nap. A vizsgált összefüggések megalapozottak voltak.
- 3. tézis:** Optimális fajlagos (1 tonna feladott alapanyag) hatékonysági mutatókat és intervallum optimumokat dolgoztam ki a nagyobb biogáz-hozamok elérése érdekében: N: $12192 \text{ Nm}^3/\text{nap}$; C: $1019 \text{ Nm}^3/\text{nap}$; szá.tart.: $373\text{-}488 \text{ Nm}^3/\text{nap}$; szerv.a.tart.: $1673\text{-}2086 \text{ Nm}^3/\text{nap}$; optimális C/N arány: 10:1-11,4:1 esetén $20492\text{-}22040 \text{ Nm}^3/\text{nap}$. Az alapanyagbázis minősége és a biogáz-hozam (Nm^3) adatok (43 nap adatainak összege) között erős összefüggést állapítottam meg.
- 4. tézis:** A biogáz-termelés folyamatára idősoros elemzés alapján származtatott trendszerű és periodikus hatásokat határoztam meg. A bemutatott idősoros trend-analízis alkalmas a periodikus gázkihozatal ingadozásának mérésére ($P_i = \pm 400 \text{ Nm}^3$), valamint a technológiai tartalék mennyiségének meghatározására (Max.=20%).

Az eredmények gyakorlati hasznosíthatósága:

1.: Kidolgoztam a baromfi toll optimális előkezelésének laboratóriumi és üzemi paramétereit, melyek laboratóriumban: 70°C, 1:2 és 1:3 toll:víz arány, 1%-os baktériumkultúra, mechanikus keverés, üzemi körülmények között: 70°C, 1:3 toll:víz arány, 1%-os baktériumkultúra, kompresszoros oxigén-adagolás. A nehezen hidrolizálható szekunder baromfi toll üzemi előkezelésének műszaki megvalósításához szolgáltatok alapadatokat.

Tycoon tartály felépítése: 6 m³-es, fűthető, belső keverőegységgel és levegőztető-berendezéssel ellátott duplafalú, zárt acéltartály, központi számítógéppel vezérelt nyomás-, a hőmérséklet-, az oxigén-szabályozás és leürítés;

Optimális keverhetőség: 1:3 toll:víz arány;

Hidraulikus anyagtovábbítás miatt: kompresszoros oxigén-adagolás 10 percenként, mely elősegíti a degradációt, illetve a megfelelő homogenitást.

2.: Zavarosság, extinkció mérés és turbidimetriás módszer alkalmazása a baromfi toll degradációjának értékelésére (lineáris függvény: erős összefüggés). Baromfi toll speciális előkezelése, ill. mikrohullámú roncsolása C, N, S-vizsgálatokhoz.

A végtermék oldatfázisának előkészítése: a 70, 130, 160°C-on előkezelt, nem homogenizált, illetve a 70, 130°C-on előkezelt, homogenizált toll oldatát 2900 rpm-en 20 percig kell centrifugálni. A 160°C-on hőkezelt, homogenizált toll oldatánál 0,45 µm-es filtert és fecskendőszűrőt is kell használni. A homogenizált 130, 160°C-on hőkezelt, 1 NaOH oldattal elegyített tollminták esetében 12 mm-es filtert és vízsugárszivattyút kell használni. Továbbá minden mintát 12500 rpm-en 30 percig érdemes centrifugálni. A folyékony fázis pipettázása után a kémiai oxigénigény meghatározása 10 és 20 szoros hígítással történik.

3.: Műszaki kivitelezési paraméterek egyedi nyomástartó, palásfűtési reaktortartályhoz: 10 m³ speciális, 5 barig nyomásálló betonfermentor, palástfűtési saválló műanyag belső borítással, csavarrögzítéssel ellátott betonfedéllel, fűtőberendezéssel és hőszabályzóval, automatizált hidraulikus keveréssel, 50 l-es, álló, kavicságyas, abszorpciós toronnyal.

HTI: 28 nap; biogáz-hozam: 11 m³/nap; Szakaszos üzem: 200 m³; Folyamatos üzem: 290 m³.

4.: Regionális biomassza felhasználás alapanyagbázisának statisztikai értékelése: mennyiségi adatok (26 alapanyagtípus, 823 nap (2006.10-2008.12.), minőségi paraméterek: C-, N-, Sza-, szervesanyag-tartalom, C/N arány) meghatározása. Vegyes alapanyag-bázisú mezőgazdasági biogáz technológia paramétereinek megállapítása: C/N arány (13:1), HTI (43 nap), biogáz minőségi (CH₄: 59%, CO₂: 29%, SH₂: 275ppm, NH₃: 39ppm), mennyiségi adatok (18570 Nm³/nap, 675000 Nm³/hó).

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Magyarországon jelenleg 10 db működő mezőgazdasági melléktermékeket, hulladékokat feldolgozó biogáz üzem van (*Somosné, 2010*), melyek közül az ország legelső és legnagyobb mezőgazdasági alapanyag bázisú biogáz üzemét, a Nyírbátori Regionális Biogáz Üzemet választottam vizsgálataim alapjául.

A kutatási célom volt olyan biogáz receptura variánsok kidolgozása, melyek nagyobb metán-kihozattal eredményeznek. A kutatások alapján megoldást dolgoztam ki a nehezen hidrolizálható és a baromfi vágóhidakon nagy mennyiségben keletkező broiler toll feltárására, majd az előkezelt toll és a sertés hígtrágya kofermentációjára. Információbázist készítettem a Nyírbátori Regionális Biogáz Üzemből az alkalmazott alapanyagok és a fermentált végtermék összetételére, minőségi paramétereire vonatkozóan. A vizsgálati helyen nagy mennyiségben keletkező hígtrágya, vágóhídi hulladék, illetve az előkezelt állati tetem újrahasznosítását értékeltem. Hosszú idejű üzemi adatok alapján elemeztem a biogáz hasznosítás gyakorlatát, és fejlesztési megoldásokat dolgoztam ki.

A szakirodalmi áttekintésben (*2. fejezet*) ismertettem a biogáz-termelés szerepét az Európai Unióban és Magyarországon, illetve hangsúlyoztam jelentőségét. Bemutattam a biogáz-termelés mikrobiológiai alapjait, illetve megalapoztam a baromfi toll, mint lehetséges biogáz alapanyag előkezelésének, degradációjának tudományos háttérét. A biogáz termelés technológiai háttérének ismertetése kapcsán (*2.4. fejezet*) a biogáz-termelés lehetséges alapanyagokat (primer, szekunder, terciér), fontosabb befolyásoló tényezőit, a technológiai alternatíváit mutattam be, különös hangsúlyt fektetve a mezőgazdasági biogáz üzemekre. A továbbiakban a biogáz tisztításával kapcsolatos problémákat, eljárásokat ismertettem, majd a biogáz felhasználásának lehetőségeire, jogszabályi háttérre tértem ki. A biogáz gyártás környezeti hatásainak elemzése kapcsán (*2.4.6. fejezet*) kiemelt figyelmet szenteltem a fermentált szilárd és folyékony végtermék hasznosíthatóságának kérdésére is.

Az anyag és módszer fejezetben (*3. fejezet*) a kutatás felépítési vázlatát a helyszínek pontos megjelölésével a biogáz előállítás folyamata alapján tárgyaltam (*12. ábra*). A laboratóriumi (Debreceni Egyetem, AGTC, MÉK, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet; BOKU, IFA-Tulln) (*3.1.1. fejezet*) és az üzemi (Nyírbátori Regionális Biogáz Üzem; Komposztáló telep) (*3.1.2. fejezet*) vizsgálati helyszínek részletes ismertetése után rátértem a vizsgálati eszközök és módszerek (*3.2. fejezet*) bemutatására.

A vágóhídról származó baromfi toll hővel és mikroorganizmussal történő lebonthatóságát és a fermentációs folyamatokat a tanszék biodegradációs laboratóriumában vizsgáltam. A

broiler csirkék tollának bontását hővel és egy speciális keratinbontó baktérium, a *Bacillus licheniformis* KKI-es baktériumtörzsével (Kovács et al., 2002; Perei et al, 2004) végeztem. A kísérleti beállítások a következők voltak: 70, 100, 130°C-os hőkezelés, 1:1, 1:2, 1:3-as toll-víz arány, 1, 3, 5%-os toll: baktériumkultúra. A vizsgálatok módszerét a 3.2.1. fejezetben ismertettem. A kombinációk hatékonyságát a toll előzetes aprításával kívántam maximalizálni (20, 30, 40 mp). Mértem az eredeti és aprított toll hosszúságát, illetve meghatároztam a toll:víz elegyből vett minták extinkcióját, száraz- és szervesanyag-tartalmát, kémhatását és hőmérsékletét. Az 1:1 baromfi toll:víz arány mechanikus keverésre alkalmatlan volt. Az 1:2-es és 1:3-as toll:víz arányú kezelések keverhetősége megfelelő volt. A 70°C-os hőkezelés 1:2 toll:víz arány 1 és 3% baktériumkult., 1:3 toll:víz arány 1 és 3%, és a 130°C-os 1:3 toll:víz arányú 1%-os kezelések szignifikánsan különböztek a többitől, átlagos extinkció értékei magasabbak voltak (4.1.1. fejezet). A baromfi toll lebontása tehát hatékonyabb volt, így ezeket a kezeléseket sikeresnek tekinthetjük. Üzemi körülmények között való alkalmazásra a költség- és anyag-takarékosság szempontjából kedvezőbb 70°C-on hőkezelt, 1%-os baktériumkult.:toll arányt javasoltam. Az aprítás mértéke nem befolyásolta jelentősen az extinkció, így a bonthatóság mértékét.

A baromfi toll termikus és kémiai előkezelhetőségével, elemtartalmának meghatározásával kapcsolatban az előzetes kísérleti eredmények alapján a BOKU IFA-Tulln laboratóriumában folytattam kutatásokat. A kísérleti beállítások a következők voltak: 70, 130, 160°C; 1:2 toll:víz/1% NaOH-oldat arány. A tollat aprítottam (0, 40, 80 mp), majd mikrohullámú hőkezelő-berendezésben előkezelttem. A 3.2.1. fejezetben részleteztem az eredeti tollban és a végtermék oldat-fázisában elvégzett szén-, nitrogén- és kén-tartalom vizsgálatokat, illetve a minták speciális előkészítést, feltárását. Az összefüggés-vizsgálatok során adalékanyagonként lineáris regresszió-analízissel vizsgáltam az aprítás és a hőmérséklet eredménybefolyásoló hatását. A kapott korrelációs koefficiensek (R) és a hozzájuk tartozó szignifikancia-érték (P) alapján megállapítottam, hogy az aprítás egyik adalékanyag esetében sem, míg a hőmérséklet mindhárom vizsgált tényezőt befolyásolta (4.1.2. fejezet).

A receptura vizsgálatokat hőszigetelt termosztát szekrényben (4 db) végeztem, ahol 4 darab 6 l térfogatú rozsdamentes acéltartály képezte a fermentációs tereket. A gázkeverék összetételének (CH₄, CO₂, O₂, H₂S, NH₃) meghatározása gáz-analizátorral történt (3.2.1. fejezet). Az alapanyagok és a fermentált végtermék esetében meghatároztam a szárazanyag-tartalmat, a kémhatást, szén-, nitrogén- és kén-tartalmat. Oltóanyagként a vizsgált biogázüzemből származó fermentlevet használtam, a kísérleteket mezofil (38°C) és termofil (52°C) körülmények között végeztem. A sertéshígtrágya anaerob fermentáció során a biogáz-

hozam adatok egy hetes összegei alapján elmondható, hogy a maximális értékek ($5,46 \text{ dm}^3/\text{nap}$) a termofil oltott kezelések esetében termelődtek. Az oltás hatására mérséklődött a hidraulikus tartózkodási idő, valamint a végtermékek száraz- és szervesanyag-tartalma is nagyobb mértékben csökkent, mint a kezeletlen kísérletekben. Az inhibitor tulajdonságú NH_3 és H_2S képződése mérsékelt volt a kísérletek során. A sertéshígtrágya és előkezelt baromfi toll kofermentációja során alkalmazott kísérleti beállítások a következők voltak: sertéshígtrágya és 5, 10, 20, 40% előkezelt baromfi toll. A kísérletek alapján megállapítható, hogy mezofil körülmények között az 5- és 10%-os bekeverési arányok kedvező eredményeket hoztak, a termelt biogáz mennyisége (dm^3/nap) jóval meghaladta (50%) a 20 és 40%-os keverési arányból származó értékeket, minőségi összetétele is kedvezőbben alakult (4.1.3. fejezet). A termofil fermentáció esetében rövidebb idő alatt lezajlott a folyamat (5-6 nap) és 1-2%-os metán-termelésbeli növekedést is tapasztalható volt. A szaghatást és korróziót előidéző H_2S mennyisége 10%-nál nagyobb tollarány (20, 40%) esetén jelentősen megnőtt a fermentáció kezdetén, ami visszahatott a metántermelésre, rontotta a biogáz minőségét. A kísérleti tapasztalatok alapján 5% tollarányban célszerű maximalizálni a bekevert előkezelt toll mennyiségét a biomasszában, mellyel a fokozott inhibitor anyag képződése elkerülhető. A nagyobb kén-tartalom miatt a keratinhulladékokat is feldolgozó biogázüzem fermentleve kénhiányos talajokon még kifejezettebb termésnövekedést eredményezhet.

A vágóhídról származó baromfi toll üzemi méretű előkezeltése a Bátortrade Kft. komposztáló telepén, egy Tycoon típusú, eredetileg vágóhídi hulladékok fertőtlenítésére tervezett 6 m^3 -es tartályban történt. A kísérleti beállítások: $70, 130^\circ\text{C}$, 1:3-as toll:víz arány, 1 és 3% toll:baktériumkultúra. A minták kémhatását, hőmérsékletét, extinkció értékét elemeztem, illetve sejtszámlálást, mikroszkópos baktérium meghatározását végeztem. A független mintás T-próba alapján megállapítható, hogy a kezelés magasabb extinkció érték és semlegeshez közeli pH érték esetében mondható optimálisnak. Az eredmények nem indokolják a nagyobb koncentrációjú oltóanyag és költségesebb 130°C -os hőkezelés alkalmazását. A kezelés optimális időtartama 5,5 nap (4.2.1. fejezet).

Sertés hígtrágya fermentálása Batch-eljárással, egy 10 m^3 -es, palástfűtéses, saválló műanyag belső borítással ellátott, 5 bar-ig nyomásálló tartályban zajlott. Az eredmények alapján a betonfermentor nyomás alatt nem javasolható üzemi alkalmazásra. A biogáz-termelés szempontjából a 37°C -os, nyomás nélküli beállítás bizonyult optimálisnak. Összességében elmondható, hogy a gáztermelési adatok ($11 \text{ m}^3/\text{nap}$) alapján a speciális tartály javasolható sertéshígtrágya monoreceptúras fermentációjára (4.2.2. fejezet).

A Nyírbátori Regionális Biogáz Üzem alapanyagbázisának vizsgálata, - melynek technológiai leírása a 3.1.2. és a 3.2.2. fejezetekben található – az információbázis kiépítésével kezdődött. A biogáz üzem mivel vegyes alapanyagot használ fel, egymást követően sorba kapcsolva üzemelteti a mezofil (6 db) és termofil (6 db) fermentorokat, a teljes kapacitás 17.000 m³. A biogáz mennyiségét és minőségét folyamatosan mérték. A két keverőből naponta feladott, valamint a fermentorokba közvetlenül betáplált alapanyagok mennyiségi és minőségi adatait számítógépen rögzítettem. A napi három feladás mennyiségi adataihoz hozzárendeltem a minőségi paramétereket, majd súlyoztam. Ezt követően elemeztem a változásokat a vizsgált időszakban (823 nap) (3.2.2., 3.3.2. fejezet). A keverő terhelését, így a fermentorokba adagolt nyersanyagok minőségét is elsősorban a szarvasmarha trágya, silókukorica és kukoricadara határozta meg. A keverőkből feladott alapanyagokon felül hígtrágyát, baromfi szennyvizet, tejsavót, szeparált anyagok, sterilizált folyékony vágóhídi hulladékot (2-3. osztály), továbbiakban húslevet és glicerint (bioetanol gyártás mellékterméke) juttattak közvetlenül a fermentorokba. A keverők átlagos alapanyagbázisa 8770 m³, míg a fermentoré 1456 m³ volt havonta (4.2.3. fejezet). Az input és output anyagok minőségi paramétereit vizsgálva az optimális C/N arány elérése érdekében javasoltam a nyári időszakban a könnyebben feltáródó, C-bázisú növényi alapanyagok, míg téli időszakban glicerint és silókukorica felhasználásának növelését.

A termelődött havi gázmennyiség 430000-920000 Nm³ között változott, az átlagos napi gáztermelés 18570 Nm³ volt. A metán-tartalom átlagos értéke 58,7% volt, de a 74%-os maximális érték arra hívja fel a figyelmet, hogy jelentős potenciál áll rendelkezésre, melyet az alapanyagok és azok minőségének kiegyensúlyozottabb, kevésbé változatos receptúra összetételével lehetne kiegyenlíteni. Elsősorban az évszakokhoz adaptálhatónak kell lenniük. A biogáz kénhidrogén-tartalma a kéntelenítést követően átlagosan 201 ppm, míg az ammónia 39 ppm volt. A kiugró értékek miatt javasolt az adott biogáz üzemre adaptált új kéntelenítési eljárás bevezetése, mert a jelenlegi technológia hatékonysága nem fokozható.

A továbbiakban vizsgáltam a termelődött gázmennyiség és a tartózkodási idő kapcsolatát, melynek módszerét a 3.2.2. fejezetben fejtem ki. A mezofil és termofil fermentorok esetében külön meghatároztam a tartózkodási időket, melyek átlagai a vizsgált időszakra 19 és 23 nap. Ezeket összegezve pedig megkaptam a teljes hidraulikus tartózkodási időt (HTI), mely átlagosan 43 nap volt. A közepes megbízhatóság ($R=0,53$) (2. fokú polinom függvény ($y=-0,6067x^2 + 2173,5x - 1E+06$)) bizonyítja azt a hipotézist, miszerint a tartózkodási idő és a biogáz-hozam összefüggnek egymással (4.2.3. fejezet).

A felhasznált alapanyagok és a fermentált végtermék minőségi paramétereinek (N, C, C/N arány, sz.a., szerv.a.-tart.) összefüggésének módszertani háttérét a 3.2.2. fejezet tartalmazza. A napi súlyozott minőségi értékeket az előzőleg meghatározott tartózkodási idők függvényében vettem össze a biogáz-hozam adatokkal. A C/N arány kivételével erős összefüggéseket kaptam hatvány függvény illesztésével. A nyersanyagok és a fermentált végtermék nitrogén- és szárazanyag-tartalom összefüggései bizonyultak a legerősebbnek.

Az input anyagok minőségi paramétereit és a termelődött gázmennyiségek közötti összefüggések kapcsán a hipotézisem az volt, hogy az alapanyagok minősége hatással van a biogáz-termelésre, melynek eredményei erős összefüggést mutattak. A minőségi paraméterekre fajlagos (1 tonna) értékeket állapítottam meg, melyek például 1 t N-tartalom esetén 12192 Nm³/nap, C-tartalomnál 1019 Nm³/nap metán-termelést jelentettek (4.2.3. fejezet).

Az alapanyagok szezonális előfordulásához kötött variánsok összeállítását a nagyobb biogáz-termelés érdekében végeztem el. A minőségi paraméterek folyamatos vizsgálatával kiszűrhetők a rendszer számára hátrányos kiugró értékek. A biogáz-hozam adatokról leválogattam a trend, a periodikus, az autoregresszív és a véletlen komponenseket egy modell segítségével (3.2.2. fejezet). A biogáz-hozam adatokra közepes összefüggéssel illeszthető lineáris függvény. A vizsgált 823 napos időszakra vonatkoztatva napi 6,08 Nm³-t emelkedett a gázhozam. Feltételeztem, hogy a biogázüzem alapanyag-bázisában évszakos periodicitás van, mely -195,35 és +122,36 Nm³ között határozható meg a vizsgált időszakban. A periodicitásnak köszönhető teljes változás mértéke 200-600 Nm³ között változott. A technológiai fegyelem számítások alapján átlagosan 3%-ban befolyásolja a biogáz-hozamot, de a maximális érték esetén már 20%-ban.

Az előkezelt baromfi tollat egy adott időintervallumban beillesztettük a biogáz üzem alapanyagbázisába. A 6 mezofil fermentorpár egyikébe az előzetes laboratóriumi eredmények alapján 5%-os arányban került feladásra, majd csökkentettem arányát 2, illetve 1%-ra. Összehasonlítottam az üzemben alkalmazott eredeti receptura és az előkezelt tollal kiegészített receptura gáz-hozam, ill. a biogáz minőségi adatait. A gázhozam adatok nem változtak meg szignifikánsan a toll alkalmazását követően. Adott biogázüzemi receptura esetén érdemes 2%-ban maximalizálni a bekeverhető mennyiséget.

8. SUMMARY

Currently in Hungary there are 10 operating biogas plants throughout the country (*Somosné, 2010*), and there are also another 20 on-going biogas projects of industrial scale on different level of progress. The current study is based on the examination of the Regional Biogas Plant of Nyírbátor (*BP*), which is the very first and most significant facility in Hungary.

My research focuses on developing special biogas input material variants that results a higher methane-yield during utilization. The recycling of large amount of slurry was examined, disinfected slaughterhouse waste and other animal waste produced by the BP. Solution for the degradation of the uneasily hydrolysable broiler feather followed by the co-fermentation method of pre-treated feather and pig slurry was elaborated. The database containing the quality and quantity indicators of the applied raw materials and the fermentation end-product in BP was set up. The biogas production practice based on long term plant data and recommend solutions for further development was analyzed.

In the literature review (*Chapter 2.*) is summarized the state and importance of biogas production in the European Union and in Hungary. The micro-biological bases of production have been presented; and established the scientific background for pre-treatment and microbiological degradation of poultry feather, too. The technological background of production focusing on agricultural biogas plants, including the potential raw material base (primer, seconder, tercier), the influencing factors and technological alternatives has been explained. The challenges and methods of purification, followed by the present regulation of biogas utilization were detailed. In the discussion of the environmental impact analysis (in *Chapter 2.4.6.*) has been paid heed to cover the utilization of both liquid- and solid fermented end-product.

In *Chapter 3.* (Material and Methods) the Structural Scheme of Research based on the production process with the designated locations is displayed (Figure 1.). The detailed presentation of laboratory (University of Debrecen, Institute of Water- and Environmental Management; BOKU-IFA, Tulln) (*Chapter 3.1.1.*) and plant locations (BP; Compost Plant in 3.1.2.) is followed by the presentation of examination tools and methods (*in 3.2.*)

The **degradability of slaughterhouse poultry feather** was analysed by *heat and micro-organism* in the biodegradation laboratory of the department (DU). For the degradation of broiler feather has been applied heat and KK1 strain of *Bacillus licheniformis*, a special bacteria dissolving keratin (*Kovács et al., 2002; Perei et al., 2004*). The experimental adjustments were: heat treatment of 70, 100, 130°C, 1:1, 1:2, 1:3 feather: water ratio, 1, 3, 5%

feather: bacteria culture. The experimental methods are presented in *Chapter 3.2.1*. According to the results of treatment series the most productive treatment was selected then was tried to improve the efficiency of this combination with the comminution of feather. The given feather quantity for 20, 30 and 40 seconds was comminuted, and then the comparative length measurement of the original and the comminuted feather was executed. During the experiment the following distinctive features of the samples: dry- and organic material content, acidity and temperature was determined. The 1:1 ratio feather-water mixture was inappropriate for mechanical stirring. The 1:2 and 1:3 mixtures proved to be adequate for the same purpose. The following treatments resulted in significant differences from the other treatments: 70°C, 1:2 feather: water ratio, 1, 3% bacteria culture, 1:3 feather:water ratio, 1,3 % bacteria culture, 130°C, 1:3 feather:water ratio, 1% bacteria culture. The average extinction value of these treatments was higher (*Chapter 4.1.1*). The treatment at 70°C was optimal, because of the higher extinction values and economical-efficiency. The homogenising rate has no significant influence either on extinction, or on degradability.

The research on poultry feather, including *thermal and chemical pre-treatment* and element content was executed in the BOKU IFA-Tulln Laboratory based on preliminary experimental results. The poultry feather was homogenised (0, 40, 80 sec), then heat-treated with a microwave heat-treater. The experimental adjustments were: 70, 130, 160°C; 1:2 feathers: distilled water/1% NaOH solution ratio. In *Chapter 3.2.1* is detailed the results of C-, N-, S-content examination of original poultry feather and solution end-phase, supplemented with the description of special treatment and degradability of samples. During coherence-analysis using linear regression the effect of homogenisation and temperature were examined additive by additive. The resulting correlation coefficients (R) and their significance values (P) indicated that while homogenization has been ineffective, temperature has influenced all three parameters (*4.1.2*).

Anaerobic fermentation laboratory experiments were executed in 4 incubators, 6 litres volume each made steel Batch Reactors. The gas mixture (CH₄, CO₂, O₂, H₂S, NH₃) was determinate with a gas analyser (*Chapter 3.2.1*). The acidity, dry-material-, carbon-, nitrogen- and sulphur-content of the raw materials and the fermented end-products were analysed. The fermented liquid phase originated from the given biogas plant as inoculums has been used. Experiments were carried out in mezophilic (38 °C) and thermophilic (55 °C) circumstances. According to the weekly sum of biogas yield based on anaerobic fermentation of pig slurry, a maximal yield of 5,46 dm³/day was reached using thermophilic setting. As a result of inoculation hydraulic retention time has been reduced. Dry- and organic material-

content of the end-product also decreased comparing to non-treated experiments. During the experiments only a moderate generation of inhibitor gases NH_3 and H_2S was detectable.

The experimental settings used during *the cofermentation of pig slurry and pre-treated poultry feather* were as follows: pig slurry and 5, 10, 20 and 40% feather mixture. In mezophilic circumstances the 5- and 10% mixtures provided the most favourable results with achieving a 50% plus in biogas yield and higher quality compared to the 20- and 40% mixtures (4.1.3.). In case of thermophilic fermentation the process was realized in a shorter period (5-6 days) with an additional 1-2% growth of methane production. In the case of using a higher feather ratio in the mixtures (20- and 40%) the amount of the noisome and corrosive H_2S has increased significantly at the beginning of the fermentation with a negative impact on the methane production process and the final quality of biogas. Based on the experimental results the ratio of pre-treated feather should be a maximized as 5% of the biomass in order to prevent the increased inhibitor material build-up. Due to its higher sulphur-content, the liquid end-product of the biogas plant might be utilized beneficially on soils with sulphur deficit.

The industrial scale pre-treatment of slaughterhouse poultry feather took place on the composting plant of the Bátortrade Ltd. The experiments were set up using a double walled Tycoon tank of 6 m³ volume originally designed for sterilizing slaughterhouse waste. The experimental settings were 70 and 130 °C, 1:3 feathers: water ratio, 1 and 3% feather: bacteria culture ratio. The acidity, temperature and extinction of the samples have been analysed. For counting cell numbers and bacteria identification a microscope were used. Based on the independent sample T-test we can conclude the treatment is optimal when the extinction is larger and the pH is close to neutral. The results do not indicate the utilization of the less cost-effective 130°C heat-treatment and the larger concentration of inoculums. The optimal time of the treatment is 5 and half days (*Chapter 4.2.1.*).

For the experimental ***Batch-fermentation of pig slurry***, a 10 m³ volume tank with heating-mantle and acid-proof inner was used. The experiments in the concrete tank which was under pressure were unsuccessful, consequently under pressure this fermentor type is not suggested for plant-scale use. For effective biogas production 37°C and no pressure was optimal. According to the produced biogas (11m³/day) the special fermentation tank is suggested for the degradation of pig liquid manure (when only liquid manure is used in the recipe) (*Chapter 4.2.2.*).

The assessment of the raw material base of the ***Regional Biogas Plant of Nyírbátor*** (technically detailed in *Chapter 3.1.2 and 3.2.2*) began with the establishment of the database. The biogas plant is consuming mixed raw materials, therefore the 6 mezophilic and 6

thermophilic fermentor-tanks with a total value of 17.000 m³ are running serial-linked. Quantity and quality of the biogas have been measuring continuously.

The quantity and quality parameters of the raw materials was recorded, which on one hand were coming from the 2 stirrers daily, and on the other hand have been fed directly into the fermentors. The quantity data – fed 3 times per day - with the quality parameters was paired, and weighted them. After that the changes during the examined period of 823 days was analysed (*Chapter 3.2.2 and 3.3.2*). The overall amount of raw materials fed in the fermentors consist materials from the two mixers (3 mixtures per day) and directly implemented ones. After recording the data were composed the daily 3 feed-ins with the appropriate quality indicators and analysed the alteration in the given period (823 days interval). The load of the agitator, so the quality of the raw material, was mainly determined by the cattle manure, silage and the grained maize. Next to the materials of the agitators, liquid manure, poultry wastewater, milk-whey, separated material, sterilized liquid slaughter wastewater (class 2 and 3), gravy and glycerine (by-product of bioethanol production) were uploaded directly to the digesters. The raw material base of the agitators was 8770 m³/month, while the base of the digesters was 1456m³/month (*Chapter 4.2.3*). Based on the quality analysis of input and output materials, in order to reach the optimal C/N ratio the extended usage of easily degradable was suggested C-based plant as raw-materials for the summer, glycerine and silo maize for the winter seasons.

The amount of the monthly produced gas was between 430.000 and 920.000 Nm³, while the daily biogas varied between 14.657 and 21.968 Nm³. The daily average of the produced gas was 18.570 Nm³. The average value of the methane-content was 58,7%, but the maximal 74% indicates that a great potential is available, which can be achieved by a well-balanced, less various recipe of the used raw materials. The mixture should be adapted to the season. The hydrogen-sulphide content of the biogas after the sulphide –remove was averagely 201 ppm, meanwhile the ammonia was 39 ppm. Because of the high values a new sulphide removal technology is advised–adopted to this biogas plant - the effectiveness of the actual technology cannot be improved.

The connection between the *amount of produced gas* and the *hydraulic retention time* has been also determined (method is detailed in 3.2.2.). The retention time for the mezophilic- and thermophilic fermentors separately was defined, with an average 19-23 days for the given period. The summary leads to the overall Hydraulic Retention Time (HRT) of 43 days. Examining the data of the hydraulic retention time and the 43 day sum of the produced biogas we can build up a quadratic function ($y = -0,6067x^2 + 2173,5x - 1E+06$) with medium

dependability ($R=0,53$). The medium dependability evinces the hypothesis, that the hydraulic retention time affects the amount of the produced biogas (*Chapter 4.2.3.*).

Chapter 3.2.2. contains the methodology for defining the *connection between the quality parameters of the utilized raw-materials and fermented end-products*. The daily weighted quality parameters with the biogas yield according to the pre-defined retention time have been matched. Except the C/N ratio strong coherences was got with power function. The N-content and the dry material content of the raw materials and the fermented final product showed the strongest coherences.

My hypothesis was that the *quality parameters of raw materials* (C, N, C/N, dmc., omc.) *affect the biogas production*. The results were showed strong coherences. The specific values (1 ton) to the quality parameters were determined. The methane production was 12.192 Nm³/day in case of 1 t N-content, and was 1019 Nm³/day in case of 1 t C-content (*Chapter 4.2.3.*).

To ensure greater biogas production rate has been elaborated *variants based on seasonal availability of raw-materials*. With continuous quality control extreme values causing severe system disadvantages can be filtered. Trend-, periodic-, autoregressive- and random components from the biogas yield using a special model has been separated (*Chapter 3.2.2.*). A linear function can be joined the data of biogas production with 51% medium dependability. During the examined time period 823 days the gas production rose by 6,08 Nm³ daily, assuming there is seasonality in the raw material base. The value of the seasonal periodicity was between -195,35 and +122,36 Nm³. The total value of the periodicity was between 200 and 600 Nm³. The technological discipline affected the biogas production with 3%, but the maximal value was 20%.

Pre-treated poultry feather was implemented *into the raw-material basis of the plant* for the given interval. Based on previous lab results a mixture with 5% feather was fed into one of the six fermentor-pairs. Later that ratio was cut back to 2 and 1%. The yield and quality parameters of biogas produced with the original recipe of the plant to the results of adopting the mixture supplemented with pre-treated poultry feather were compared. The biogas production did not change significantly after the utilization of the poultry feather. It is recommendable to maximize the amount of poultry feather as 2% in the recipe of the given raw materials.

9. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK

1. Ádám I. 2001. A toll. A baromfi toll és feldolgozása. Scriptor Bt.. Budapest.
2. Alexa L., 2008. Biogáztermelés fenntartható módon. Biohulladék. Gödöllő. 32-34.
3. Amon T., Amon B., Kryvoruchko V., Machmuller A., Hopfner-Sixt K., Bodiroza V. Hrbek R., Friedel J., Potsch E., Wagentristl G. 2007. Methan production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations. *Bioresour. Technology*. 98. 3204-3212.
4. Angelidaki I., Sanders W. 2004. Assessment of the anaerobic biodegradability of macropollutants. *Environmental Science and Biotechnology*. 1-13.
5. Aoki, K., Umetsu, K., Nishizaki, K., Takahashi, J., Kishimoto, T., Tani, M., Hamamoto, O., Misaki, T. 2006. Thermophilic biogas plant for dairy manure treatment as combined power and heat system in cold regions. *International Congress Series*. 1293. 238-241.
6. Arai, K. M., Takahashi, R., Yokote, Y., Akahane, K. 1983. Amino acid sequence of feather keratin from fowl. *Eur. J. Biochem.* 132. 501-507.
7. Asahi, M., R. Lindquist, K. Fukuyama, G. Apodaca, W. L. Epstein, and J. H. McKerrow. 1985. Purification and characterization of major extracellular proteinases from *Trichophyton rubrum*. *Biochem. J.* 232. 139-144.
8. Aslan B. 1999. Studies on isolation, characterization and antibiotic production of *Streptomyces* species. PhD Thesis. Department of Biology. Institute of Natural and Applied Sciences University of Çukurova, Adana-Turkey.
9. Baader, W., Dohne, E., Brenndörfer, M. 1978. Biogas in Theorie und Praxis. Behandlung organischer Reststoffe aus der Landwirtschaft durch Methangärung. KTBL-Schrift 229. Frankfurt: Repro-Gesellschaft mbH.
10. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). 2006. Biogastechnologie zur umweltverträglichen Flüssigmistverwertung und Energiegewinnung in Wasserschutzgebieten. (<http://www.LfL.bayern.de/publikationen/>)
11. Bahuguna, S., R. K. S. Kushwaha. 1989. Hair perforation by keratinophilic fungi. *Mycoses* 32. 340-343.
12. Bagi Z. 2006. Személyes konzultáció. SZTE, TTIK, Biotechnológiai Tanszék
13. Bagi Z. 2007. A fermentáció paramétereinek biotechnológiai alapjai. A biogáz gyártás gyakorlati és műszaki kérdései. II. Szakmai Nap. Magyar Biogáz Egyesület. 2007. Budapest.
14. Bagi Z. 2009. Biogáz fermentáló rendszerek hatékonyságának mikrobiológiai fokozása. Doktori értekezés. SzTE.
15. Bagi Z., Kovács K., Perei K. 2008. Keratin tartalmú hulladékok mikrobiológiai lebontása. *Bioenergia szaklap*. III/1. 15-17.
16. Bai A. (szerk.) 2002. A biomassza felhasználása. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. 11-29.

17. Bai A. (szerk.) 2007. A biogáz. Száz magyar falu könyvesháza Kht. Budapest. 13-15., 140-143., 284.
18. Bálint, B., Bagi, Z., Tóth A., Rákhely G., Perei K., Kovács, K. L. 2005. Utilization of keratin-containing biowaste to produce biohydrogen. *Applied Microbiology and Biotechnol.* 69. 4. 404-410.
19. Bánhegyi I. 1993. (In: Szabó I. 1999.) *Biológiai hulladékkezelés. Hulladékgazdálkodás* (szerk.: Árvai J.) Műszaki Könyvkiadó. 390-423.
20. Bardiya, N. and Gaur, A.C. 1997. Effects of carbon and nitrogen ratio on rice straw biomethanation. *J. Rural Energy.* 4. 1-4. 1-16.
21. Barótfi I. 1998. A biomassza energetikai hasznosítása. *Energia Gazdálkodási Kézikönyv IX*, Budapest.
22. Barótfi I. 2000. *Környezettechnika. Mezőgazda Kiadó.* Budapest.
23. R., Baumann. 2010. *Naturdüngen aus Gärresten- Produkten und Vermarktung. Symposium zur Thema „Aufbereitung von Gärresten“ and „Vorstellung der Studie AD+Plus“.* IFA Tulln, 2010.09.30.
24. U., Bauermeister; Th., Meier. 2010. *Einsatzmöglichkeiten des ANAStrip®-Verfahrens System GNS zur Gärrestaufbereitung. Symposium zur Thema „Aufbereitung von Gärresten“ and „Vorstellung der Studie AD+Plus“.* IFA Tulln, 2010.09.30.
25. Bernal, C., Cairó, J., Coello, N. 2006. Purification and characterization of a novel exocellular keratinase from *Kocuria rosea*, *Enzyme and Microbial Technology.* 38. 49-54.
26. Bíró B., Pacsuta J. 2002. Újgenerációs szemlélet és lehetőségek a talajbiológiai aktivitás és a talajtermékenység irányított fokozására. *Gyakorlati Agroforum.* 13. 72-74.
27. Bíró, T., Mézes, L., Hunyadi, G., Petis, M. 2008. Effects of biomass recipes on the output liquid phase of biogas production. *Cereal Research Communications. Supplement.* 36. 5. pp. 2071-2074.
28. Bíró, T., Mézes, L., Petis, M., Kovács. L. K., Bagi, Z., Hunyadi, G. 2008a. A baromfi toll, mint biogáz alapanyag. Kiss T., Somogyvári M. (szerk.). *Via Futuri 2007. A biomassza alapú energiatermelés.* BÍOKOM Kft. Pécs. 156-163.
29. Bitton, G., 1994. *Anaerobic digestion of wastewater and sludge. Wastewater Microbiology.* Wiley-liss. New York. 229-245.
30. Borole, AP., Klasson. KT., Ridenour, W., Holland, J., Karim, K., Al-Dahhan, MH. 2006. Methane production on a 100-L upflow bioreactor by anaerobic digestion of farm waste. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 129-132. 887-896.
31. Boros T. 1993. *A biogáztermelés és –felhasználás feltételei.* Országos Műszaki Infomációs Központ és Könyvtár. Budapest.
32. Böckle B., Galunsky B., Müller R. 1995. Characterization of a keratinolytic serine proteinase from *Streptomyces pactum* DSM 40530. *Appl. Environ. Microbiol.* 61.3705-3710.
33. Böhnke, B., Bischofsberger, W. UND Seyfried, C.F. (1993). *Anaerobtechnik: Berlin Springer.*Verlag.

34. Börjesson, P., Mattiasson, B. 2007. Biogas as a resource-efficient vehicle fuel. Trends in Biotechnology Vol.26 No.1 p.8-13.
35. Braber, K. 1995. Anaerobic digestion of municipal solid waste: a modern waste disposal option on the verge of breakthrough. Biomass Bioenergy. 9. 365–376.
36. Brachthaeuser, B. 2004. Two-step biogas reactor for the fermentation of liquid manure and biogas production. Fuel and Energy Abstracts. 37.
37. Bressollier P., Letourneau F., Urdaci M., Verneuil B. 1999. Purification and characterization of a keratinolytic serine proteinase from *Streptomyces albidoflavus*. Appl. Environ. Microbiol., 65. 6. 2570-2576.
38. Buswell, A.M.; Mueller H.F. 1952. „Mechanism of Methane Fermentation“, Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 44, No. 3, p.550-552
39. Chandrasekaran, S., S. C. Dhar. 1986. Utilization of a multiple proteinase concentrate to improve the nutritive value of chicken feather meal. J. Leather Res. 4. 23–30.
40. Cheng, S., W., Hu, H., M., Shen, S., W. 1995. Production and characterization of keratinase of a feather degrading *Bacillus licheniformis* PWD-1. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry. 59. 2239-2243.
41. Cherry, J.P.-Young, C.T.-Shewfelt, A.L. 1975. Characterization of protein isolates from keratinous material of poultry feathers. J. Food Sci. 40, 331-335.
42. Chitte, R. R., Nalawande, V. K., Dey, S. 1999. Keratinolytic activity from the broth of feather-degrading thermophilic *Streptomyces thermoviolaceus* strain SD8, Letters in Applied Microbiology. 28. 131-136.
43. Christensen, Th. H., Kjeldsen, P. 1989. (In: Szabó, 1999.) Basic biochemical process in landfills Sanitary Landfilling (ed.: Christensen, Th.H -Cossu, R.-Stegmann, R.) Academic Press. 29-48.
44. Cohlberg, J.A. 1993. The strukture of L-keratin. Trends Biochem. Sci. 18. 360-362.
45. Coello, N.; Vidal, L. 2001. Kocuria rosea as a new feather degrading bacteria. In Applied Microbiology, eds. Durieux, A. and Simon, J.-P. Chap. 5, pp. 165–174. Focus on Biotechnology. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
46. Dalev, P., V. Neitchev. 1991. Reactivity of alkaline proteinase to keratin and collagen containing substances. Appl. Biochem. Biotechnol. 27. 131–138.
47. Dhar, S. C., S. Sreenivasulu. 1984. Studies on the use of dehairing enzyme for its suitability in the preparation of improved animal feed. Leather Sci. 31. 261–267.
48. Deublein, D., Steinhauser, A. 2008. Biogas from Waste and Renewable Resources. Wiley-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA.
49. Dióssy L. 2007. Megújuló energia felhasználásának esélyei és lehetőségei, Kereskedelmi és Iparkamara. 2007. Június 6. Sopron.

50. B., Drosch. 2010. Überblick über die Studie „AD+Plus. „Aufbereitung von Gärresten“. Symposium zur Thema „Aufbereitung von Gärresten“ and „Vorstellung der Studie AD+Plus“. IFA Tulln, 2010.09.30.
51. Ebeling, W., N. Hennrich, M. Klockow, H. Metz, H. D. Orth, H. Lang. 1974. Proteinase K from *Tritirachium album* Limber. Eur. J. Biochem. 47. 91–97.
52. Eder, B., Schulz, H. 2006. Biogas Praxis. Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele, Wirtschaftlichkeit. Ökobuch-Verlag. Freiburg.
53. Edström, M., Nordberg, A., Thyselius, L. 2003. Anaerobic treatment of animal byproducts from slaughterhouses at laboratory and pilot scale. Biochem. Biotechnol. 109. 1-3. 127-138.
54. Elődi P. 1980. Biokémia. Akadémia Kiadó. Budapest. 72-128., 543-621.
55. El-Boushi, A.R.Y., Van der Poel, F.B. 2000. Handbook of Poultry Feed from Waste. Processing and Use. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
56. European Comission. 2008. Renewables make the differences (http://ec.europa.eu/energy/climate_actions/doc/brochure/2008_res_brochure_en.pdf. p.9.)
57. Fenyvesi L.; Hajdú J. 2005. Biomassza- energia a mezőgazdaságból. Hőenergia, villamos áram és hajtóanyag a szántóföldről. Nyitra. Szlovák Köztársaság. 2005. május. 3-4. 133-135.
58. Friedrich, A.B., Antranikian G. 1996. Keratin degradation by *Fervidobacterium pennavorans*, a novel thermophilic anaerobic species of the order Thermotogales. Appl. Environ. Microbiol. 62. 2875-2882.
59. Friedrich, J., and S. Kern. 2003. Hydrolysis of native proteins by keratinolytic protease of *Doratomyces microsporus*. J. Mol. Catal. B Enzymol. 21:35-37.
60. Fuchsz M. 2006. A Biogáz tájékoztató füzetek az NKTH Asboth és Baross pályázatok támogatásával adta ki a Magyar Biogáz Egyesület. Energia? Természetesen!
61. W. Fuchs, P. Holubar, R. Braun. 2009. Mikrobielle Grundlagen umweltbiotechnologischer Verfahren. BOKU. IFA-Tulln. Előadás. 2009.03.30.
62. Gessesse A, Hatti-Kaul R, Gashe BA, Mattiasson B. 2003. Novel alkaline protease from alkaliphilic bacteria grown on chicken feather. Enzyme Microbiol. Technol. 32: 519-524.
63. Godfrey, T. 1996. Protease in waste treatment, pp.315-316. In T. Godfrey and S. West (eds.) Industrial Enzymology. Macmillan Press, London.
64. Graf, W. 1999. Kraftwerk Wiese. Strom und Wärme aus Gras. Books on Demand.
65. Grazziotin, A., Pimentel, F. A., Sangali, S., de Jong, E. V., Brandelli, A. 2007. Production of feather protein hydrolysate by keratinolytic bacterium *Vibrio sp.* kr2, Bioresources Technology. 98. 3172-3175.
66. Gruber, W. 2007. Biogasanlagen in der Landwirtschaft. Aid infodienst. Verbraucherschultz, Ernährung, Landwirtschaft e.V. Bonn. 1453.
67. Gyulai I. 2006 A biomassza-dilemma. Magyar Természetvédők Szövetsége. 7-20.

68. Hansen, L., Lacis, A., Ruedy, R., Sato, M., Wilson, H. 1993. How Sensitive Is the World's Climate?. Climate Sensibility. Research and Exploration 9. (2). 143-158.
69. Hajas J., Rázsó I. (szerk.) 1969. Mezőgazdaság számokban, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
70. Hajdú J. 2006. Bio-motorhajtóanyag előállítás és hasznosítás lehetőségei Magyarországon; FVM MGI, Szeged, május. 24.
71. Harrap, B. S., Woods, E. F. 1964. Soluble derivatives of feather keratin. 1. Isolation, fractionation and amino acid composition. Biochem. J. 92. 8-18.
72. Hegedűs M., Schmindt J., Rafai P. 1998. Állati eredetű melléktermékek hasznosítása. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 15-29, 65-78, 85-93.
73. Helmeczi B. 2005. Mezőgazdasági Mikrobiológia. DE Agrártudományi Centrum. MTK. Debrecen, 456.
74. Hódi J. 2006. Biogáz Technológiák. Energoexpo Konferencia. Megújuló Energiák: Biogáz. 2006.09.26.-27. Budapest.
75. Hussein, A.M., Swelim, M.A. 1995. Hydrolysis of chicken feather by *Thermoactinomyces keratinolyticus*. Egyptian Journal of Botany. 39. 2. 107-119.
76. Joos, L. 2002. Praxis der Gananwendungstechnik in Haushalt und Gewerbe, Vulkan-Verlag, Essen.
77. Kacz K., Neményi M. 1998. Megújuló energiaforrások. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó. Budapest. 71-75., 144-148.
78. Kacz K. 2007. Biomassza hasznosítás biogáz előállításra. Bautrend. 2009. 04. 08.
79. Kajtár M. 1984. Változatok négy elemre Szerves kémia 2. kötet, Gondolat Kiadó, Budapest.
80. Kaltschmitt, M. és Hartmann, H. 2001. Energia biomasszából. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag. Biogashandbuch. 2004. (info.fh-wels.at)
81. Kaltwasser, B. J. 1983. Biogáz előállítás és hasznosítás. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. 46-51.
82. Kaluzewska M., Wawrzekiewicz K., Lobarzewski J. 1991. Microscopic examination of keratin substrates subjected to the action of the enzymes of *Streptomyces fradiae*. Int. Biodeterior. 27. 11-26.
83. Karpenstein-Machen, M. 2005. Energiepflanzenbau für Biogasanlagenbetreiber. DLG-Verlag. Frankfurt am Main.
84. Kao, Ming-Muh, Lai, Hsing-Yao. 1995. The study of the selection of feather-degrading microorganismus. J. Chin. Inst. Environmental Eng. 5. 37-43.
85. Karim, K., Thomas Klasson, K., Hoffman, R., Drescher, SR., Depaoli., DW., Al-Dahhan, MH. 2005. Anaerobic digestion of animal waste: effect of mixing. Bioresourch Technol. 96.14.1607-1612.
86. Kárpáti Á. 2002. Komposztálás. Szennyvíziszap rothasztás és komposztálás. Ismeretgyűjtemény. No. 6. Veszprémi Egyetem, Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék.
87. Kasza S. 2007. Norvég BioTek technológia bemutatása: Biogáz szerves trágyából és települési szilárd hulladékból. Inno-Szinergia Kereskedelmi és Szolgáltató Kft. 2007.09.05. Budapest.

88. Kaul, S., Sumbali, G. 1997. Keratinolysis by poultry farm soil fungi, *Mycopathologia* 139. 137–140.
89. Kissné Qualich E. 1983. A biogáz. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 33-36.
90. Kim, K. Y., J. F. Frank, and S. E. Craven. 1996. Attachment of *Salmonella* on modified poultry skin surface. *J. Food Sci.* 61:442-443, 448.
91. Kim, J.M.; Lim, W.J.; Suh, H.J. 2001. Feather-degrading *Bacillus* species from poultry waste. *Process Biochemistry*. November 2001. vol. 37. no. 3. 287-291.
92. Klein, J., Winter, J. (volume eds.) 2000. Biotechnology. vol. 11c. Environmental Processes III. Solid waste and Waste gas treatment, Preparation of drinking water. In: Rehm. H.-J., Reed, G., Pühler, A., Stadler, P. (series eds.). Wiley-VCH Verlag GmbH.
93. Kleemann, M. & Meliß, M. 1993. Regenerative Energiequellen, 2., völlig neu überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.
94. Kontur I., Koris K., Winter J. 1993. Hidrológiai számítások. Akadémiai Kiadó. Budapest. 143-184.
95. Kőmives J. (szerk.) 2001. Környezeti analitika. Műegyetemi Kiadó, Budapest. 99-104.
96. Korkmaz, H., Hür, H., DinÇer, S. 2004. Characterization of alkaline keratinase of *Bacillus licheniformis* strain HK-1 from poultry waste. *Annals of Microbiology*, 54. 2.201-211.
97. Kornillowicz, T. 1994. Methods for determining keratinolytic activity of saprophytic fungi. *Acta Mycologia*. 29. 2. 169-178.
98. Kornillowicz-Kowalska, T. 1997. Studies on the decomposition of keratin wastes by saprophytic microfungi: I. Criteria for evaluating keratinolytic activity. *Acta Mycol.* 32. 1. 51-79.
99. Kovács A. 2007a. Az EU megújuló energia politikája: célkitűzések és realitások. III. Biogáz Konferencia. Budapest.
100. Kovács A. és Fuchsz M. 2007. Biogáz Magyarországon: Egy növekvő piac perspektívái. Első Magyar Biogáz Kft. 2007. április 27. Pécs (www.ddkkk.pte.hu/~bnemet/KorFiz-PPT/Expo-KovacsA-EMBK-070427.ppt)
101. K. L. Kovács, Z. Bagi, Cs. Bagyinka, L. Bodrossy, R. Csáki, B. Fodor, T. Hanczár, J. Tusz, M. Kálmán, J. Klem, Á. Kovács, J. Lu, M. Magony, G. Maróti, K. Perei, B. Polyák, S. Arvani, M. Takács, A. Tóth, G. Rákhely. 2000. Biohydrogen, biogas, bioremediation. [Biohidrogén, Biogáz, Bioremediáció] *Acta Biol. Debrecenica*, 22. 47-54.
102. K. L. Kovács, Z. Bagi, R.-K. Perei, Gy. Csanádi, B. Fodor, Á. T. Kovács, G. Maróti, M. Magony, B. Bálint, P. Valastyán, G. Rákhely. 2002. Biohydrogen, biogas, bioremediation. *Proc. "Power of Microbes in Industry and Environment" Conf., Opatija, Croatia, 7-9 June, 2002.* p. 17.
103. Kovács L. K. 2005. Hasznos mikróbák. Biogáz és biohumusz szerves hulladékból. *Energetika-energiagazdálkodás*. 2005/5. (http://www.gtm.hu/cikk.php?cikk_id=70)
104. K. L. Kovács, G. Maróti, G. Rákhely. 2006. Anovel approach for biohydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy* 31. 1460-1468.

105. Kovács L. K., Bagi Z. 2007. A biogáz. (szerk.: Bai A.) Száz magyar falu könyvesháza Kht. Budapest. 37-48.
106. Kovács L. K. 2007. A biogáz és biohidrogén termelési lehetőségei Magyarországon. Biomassza konferencia előadások. MTA. 2007. május 8.
107. Kovács L. K., Kovács A. 2007. A biogáztermelés hazai elterjesztésének lehetőségei és korlátai. Ma & Holnap. VII. évf./2. 22-25.
108. Krayl, P. 2006. Biogas in neuen Dimensionen. GWF-Gas, Ergas. 147. 12. 2006. 725-727.
109. Kunert J. 1973. Keratin decomposition by dermatophytes: evidence of sulphitolysis of the protein. Experientia. 33. 489-498.
110. Kushwaha, R.K.S. 1983. The in vitro degradation of peacock feathers by some fungi. Mykosen. 26. 324-326.
111. Kutasi J. 2007. Fermentációs biotechnológia. Glia Számítástechnikai és Tanácsadó Kft. 89-101.
112. Láng, I., Hornos, Zs. Csete, L. Krolovánszky, U.P., Tökés, O. 1985. A biomassza felhasználása. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest 10-11., 55-56.
113. László Zs., Simon E., Hodúr C., Fenyvessy J. 2005. A mikrohullámú technika alkalmazásának újabb lehetőségei az élelmiszer- és környezetiparban. Agrártudományi Közlemények. 2005/18. 29-34.
114. Lawrence, A. W., Mc Carty P. L. 1964. (In: Kárpáti, 2002). The effect of sulphides on anaerobic treatment. In Proc. of the 19th Ind. Waste Conf., Purdue Univ. Engineering Extension Series. 117. 343-357.
115. Latshaw J.D., Musharaf N., Retrum R. 1994. Processing of feather to maximize its nutritional value for poultry. Anim. Feed Sci. Thec. 47. 179-188.
116. Lee SH., Kwong AD., Pan ZQ., Hurwitz J. 1991. Studies on the activator 1 protein complex, an accessory factor for proliferating cell nuclear antigen-dependent DNA polymerase delta. The Journal of Biological Chemistry. 1991 Jan 5;266(1):594-602.
117. Letourneau F., Soussotte V., Bressollier P., Branland P., Verneuil B. 1998. Keratinolytic activity of *Streptomyces* sp. S.K.1-02: a new isolated strain. Lett. Appl. Microbiol.. 26. 77-80.
118. Lin, X., C.-G. Lee, E. S. Casale, J. C. H. Shih. 1992. Purification and characterization of a keratinase from a feather-degrading *Bacillus licheniformis* strain. Appl. Environ. Microbiol. 58. 3271-3275.
119. Lin, X., Delemen, D.W., Miller, E.S., Shih, J.C. 1995. DNA nucleotide sequence of keratinase gene of *Bacillus licheniformis*. Appl. Environmental Microbiol. 61. 4. 1469-1474.
120. Malik, R.K., Tauro, P., 1995. Effect of predigestion and effluent slurry recycling on biogas production. Indian J. Microbiol. 35. 3. 205-209.
121. McCarty, P. L. - McKinney, R. E. 1961. (In: Kárpáti, 2002). Volatile acid toxicity in anaerobic digestion. J. Water Poll. Cont. Fed. 33 (2) 223-232.

122. Mézes L. 2007. Hogyan termelhető állati hulladékból biogáz? Mindentudás egyeteme előadássorozat X. szemeszter. 2007.03.19.
123. Mézes, L., Bíró, T., Hunyadi, G. 2007. Sertéstelepek biogáz-ellátásának egy lehetséges technológiai alternatívája. Országos Környezetvédelmi Konferencia. Tanulmánykötet. Balatonfüred. 68-76.
124. Mézes, L., Bíró, T., Tamás, J. 2008. Results of biogas production experiments based on agricultural and food industry wastes. Tamás J., Csépi N.I., Jávori A. (szerk.) "Natural resources and sustainable development." *Acta Agraria Debreceniensis*. Supplement. 297-303.
125. Morihara, K., O. Tatsushi, H. Tsuzuki. 1967. Multiple proteolytic enzymes of *Streptomyces fradiae*. Production, isolation, and preliminary characterization. *Biochim. Biophys. Acta*. 139. 382–397.
126. Morihara, K., K. Oda. 1992. Microbial degradation of proteins. 293–364. In G. Winkelmann (ed.). *Microbial degradation of natural products*. VCH Verlagsgesellschaft mbH. Weinheim. Germany. 25.
127. Mujzer J. 1996. Állati eredetű hulladékokból biogáz és szerves trágya előállítása Magyar Állatorvosok Lapja. 51.
128. Mukhopadhyay, R. P., A. L. Chandra. 1990. Keratinase of a streptomycete. *Indian J. Exp. Biol.* 28. 575–577.
129. Nagy J. 2008. A biomassza-hasznosítás lehetőségei és képessége Magyarországon. *Magyar Kutatás, Fejlesztés és Környezet*. 2008.09-10. 40-44.
130. Nagy J., Góczy I., Sinóros-Szabó B. 2008. A bioenergia előállítás komplex rendszere Magyar Kutatás, Fejlesztés és Környezet. 2008.09-10. 40-44.
131. Nakanishi, T., T. Yamamoto. 1974. Action and specificity of a *Streptomyces alkalophilic* proteinase. *Agric. Biol. Chem.* 38. 2391–2397.
132. Nárai-Szabó G. 2006. Kémia. Akadémiai Kiadó. Budapest.
133. Némethi, G. 2009. Gáz van..., Hulladéksors. X.évf. 3., 3-4.
134. Neumann, H. (szerk.) Landwirtschaftlichverlag GmbH., 2002: Biogas. Strom aus Gülle und Biomasse. Top agrar.17.
135. Noval J.J., Nickerson W.J. 1959. Decomposition of native keratin by *Streptomyces fradiae*. *J. Bacteriol.* 77. 251-263.
136. Olessák D., Szabó L. 1984. Energia hulladékból. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. 109-117., 167-176.
137. Onifade, A.A., Al-Sane, N.A., Al-Mussallam, A.A., Al-Zarham, S. 1998. A review: Potentials for biotechnological applications of keratin-degrading microorganisms and their enzymes for nutritional improvement of feathers and other keratins as livestock feed resources. *Biores. Technol.* 66. 1-11.

138. Orbán L. 2009. Mi minden szükséges egy biogáz üzem hatékony és biztonságos üzemeltetéséhez. MT-Energie Biogas-Technologie. IV. Biogáz Szakmai Nap. 2009.11.18. Budapest.
139. O'Sullivan, A.C. 1997. Cellulose: the structure slowly unravels. Cellulose. 4.173-207. (in Dienes D. 2007. Celluláz enzimek hatása a szekunder rostok tulajdonságaira. Doktori értekezés)
140. Ottow, J. és Bindlingmaier, W. 1997. Umweltbiotechnologie. Stuttgart: Fischer Verlag.
141. Öllös G. 1991. Csatornázás-szennyvíztisztítás I-II. Aqua Kiadó. Budapest. 697-740.
142. Papadopoulos, M.C., 1985. Processed chicken feathers as feedstuff for poultry and swine. A review. Agric. Wastes. 14. 275–290.
143. Papadopoulos, M. C. 1989. Effect of processing on high-protein feedstuffs: a review. Biol. Wastes. 29. 123–138.
144. Parkin G. F., Owen W. F. 1986. Fundamentals of anaerobic digestion of wastewater sludges. J. Environ. Eng. 112. 867–920.
145. Perei K., Bagi Z., Bálint B., Csanádi Gy., Hofner P., Horváth L., Kardos Gy., Magony M., Rákhely G., Román Gy., Tóth A., Zsíros Sz., Kovács L. K. 2004. Mikroba környezetvédelmi biotechnológiai hasznosításra. In: Székács A. (szerk.). Biokémia. A Magyar Biokémiai Egyesület tájékoztatója. 28. 3. 54–58.
146. Pereira, P.P.C. 2009. Anaerobic Digestion in Sustainable Biomass Chains. Ph.D.Thesis. Wageningen University, Wageningen. 1-262.
147. Pesti, M. 2001. Általános mikrobiológia. Dialóg Campus Kiadó. Budapest–Pécs.
148. Pesti M., Gazdag Z. 2005. Környezeti Mikrobiológia. PTE TTK BI Általános és Környezeti Mikrobiológiai Tanszék. 18-19, 40-43.
149. Petis M. 2004. Szerves hulladékok újrahasznosítása. Agrárágazat. Biomassza. 2004.11.24. (http://www.agraroldal.hu/biomassza-2_cikk.html)
150. Petis M. 2005. Üzemszerű biogáz-termelés biomasszából. „Biomassza-energia” a mezőgazdaságból. Háromhatár konferencia. FVM. MGI. Nyitra. 121-124.
151. Petis M. 2007. Biogázról a gyakorlatban. Bioenergia. Bioenergetikai Szaklap. Szekszárdi Bioráma Kft. Szekszárd. II. évf. 2. 21-25. /www.dcc.uni-miskolc.hu/content/3/image003.jpg
152. Petis M. 2008. Biogáz hasznosítása. Energiapolitika 2000 Társulat. Energiapolitikai Hétfő Esték. Budapest. 2008. február. 11.
153. Petis M. 2008a. Új irányzatok a biogáz termelésben és hasznosításban. Mag Kutatás, Fejlesztés és Környezet. 2008.09-10.21-26.
154. Pfleiderer, E., R. Reiner. 1988. Microorganisms in processing of leather. 730–739. In H. J. Rehm (ed.). Biotechnology. 6b. Special microbial processes. VCH Verlagsgesellschaft mbH. Weinheim. Germany.
155. Ramesohl, S, Urban, W. 2006. Biogas – eine neue Option für die Gaswirtschaft. GWF-Gas, Erdgas. 147. 12. 2006. 706-711.

156. Rajak, R. C., H. K. Malviya, H. Deshpande, S. K. Hasija. 1992. Keratinolysis by *Absidia cylindrospora* and *Rhizomucor pusillus*: biochemical proof. *Mycopathologia*. 118. 109–114. 34.
157. Réczey G. 2007. A biomassza energetikai hasznosításának lehetősége és a vidékfejlesztésre gyakorolt hatása az Európai Unió támogatási rendszerének tükrében. Doktori értekezés. Nyugat-Magyarországi Egyetem. Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Gazdasságtudományi Intézet. Mosonmagyaróvár.
158. Rilling, N. 1994. Anaerobe Trockenfermentation für Bioabfall, Ber. Abwassertechn. Ver. 44. 985-1002.
159. Rynk, R., M. van de Kamp, G.B. Willson, M.E. Singley, T.L. Richard, J.J. Kolega, F.R. Gouin, L. Laliberty, Jr., K. Day, D.W. Murphy, H.A.J. Hoitink, and W.F. Brinton. 1992. On-Farm Composting Handbook. NRAES, Cornell University, Ithaca, NY. 186 pp.
160. Safranek, W. W., R. D. Goos. 1982. Degradation of wool by saprophytic fungi. *Can. J. Microbiol.* 28. 137–140.
161. Sajtos L., Mitev A. 2007. SPSS Kutatási és adatelemzéseikézikönyv. Üzleti szakkönyvtár. Alinea Kiadó. Budapest. 91-130, 163-242.
162. Salminen, E., Rintala, J., Härkönen, J., Kuitunen, M., Högmänder, H., Oikari, A., 2001. Anaerobically digested solid poultry slaughterhouse wastes to be used as fertiliser on agricultural soil. *Bioresour. Technol.* 78. 81–88.
163. Salminen, E., Rintala, J. 2002. Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste- a review. *Bioresource Technology*. 83. 13-26.
164. Sangali, S.; Brandelli, A. 2000. Feather keratin hydrolysis by a *Vibrio* sp. strain kr2. *Journal of Applied Microbiology*, November 2000. vol. 89. no. 5, 735-743.
165. Sántha A. 1996. Környezetgazdálkodás II, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
166. Schmidt, W.F., Line, M.J. 1996. Physical and chemical structures of poultry feather fiber fractions in fiber process development. In: TAPPI Proceedings: 1996 Nonwovens Conference. 135-140.
167. Schmidt, W.F., Jayasundera, S. 2003. Microcrystalline keratin fiber. In: Wallenberger, F., Weston, N. (Eds.), *Natural Fibers, Plastics, and Composites-Recent Advances*. Kluwer Academic Publishers. MA. 51-66.
168. Schneider, R., Quicker, P., Anzer, T., Pechtl, S., Faulstich, M. 2002. Grundlegende Untersuchungen zur effektiven, kostengünstigen Entfernung von Schwefelwasserstoff aus Biogas. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Biogasanlagen – Anforderungen zur Luftreinhaltung. Augsburg, 17. Oktober. 2002.
169. Schulz, H., Eder, B. 2005. Biogázgyártás. Cser Kiadó. Budapest. 96-103.
170. Schulz, H., Perwanger, A., Mitterleitner H. 1982. Einsatzmöglichkeiten verschiedener Energieträger in der Landwirtschaft. Endbericht des Landtechnischen Vereins in Bayern e.V. München.

171. Shih, J.C.H., 1993. Recent development in poultry waste digestion and feather utilization – a review. Poultry Sci. 72. 1617–1620.
172. Semberly P., Tóth L. 2004. Hagyományos és megújuló energiák. Szaktudás Kiadó Ház. Budapest. 274-279.
173. Sinha, U., S. A. Wolz, J. L. Pushkaraj. 1991. Two new extracellular serine proteinases from *Streptomyces fradiae*. Int. J. Biochem. 23. 979–984.
174. Sinóros-Szabó B., Rátonyi T., Ifj. Sinóros-Szabó B., Sulyok D. Bioreaktor a fenntartható fejlődés szolgálatában. Agrártudományi Közlemények. 2005/17. Különszám. 111-118.
175. Ifj. Sinóros-Szabó B., Maniak, S. 2005. Bioreaktorok Magyarországon. Agrártudományi Közlemények. 16. Különszám, 248.
176. Sjöholm, S-G. 2008. Biogas – the fuel for the future. Renexpo. 25.04.2008. Budapest.
177. Sohair, A. M., Assem, M. H. 1974. Biological and biochemical studies on a keratinolytic thermophilic actinomycete, isolated from Egyptian soil. Zentralbl. Bakteriöl. Abt. II. 129. 591–599.
178. Somosné Nagy A. (szerk.) 2010. A biogáz szerepe a vidékgazdaságban. „A biogáz szerepe a vidékgazdaságban” szakmai nap. 2010. április 29-30. Kecskemét. http://www.pleurotus.hu/files/r__biogaztanulmany_vegleges.pdf
179. Steinert, P.M. 1993. Structure, function, and dynamics of keratin intermediate filaments. J. Invest. Dermatol. 100. 729-734.
180. Szabó I. 1999. Hulladékelhelyezés. Miskolci Egyetemi Kiadó. Miskolc. 369-392.
181. Szegi J. 1967. Nitrogénköti mikroorganizmusok jelentősége a talaj termőképessége szempontjából. Agrokémia és Talajtan 16. 477-486.
182. Szendrei J. 2005. A biomassza energetikai hasznosítása. Agrártudományi Közlemények. 16. Különszám. 264-272. /<http://www.date.hu/acta-agraria/2005-16/szendrei.pdf>
183. Szij B. 2005. Biogáz berendezések fontossága az energiaellátásban. II. Biogáz Konferencia. Budapest. 2005. október 25.
184. Szunyog I. 2008. Elméleti biogáz potenciál. Egy Európai Unió Kutatási Projekt rész eredményei (<http://www.zoldtech.hu/cikkek/20080314-elmeleti-biogaz-potencial>).
185. Szunyog I. 2008a. Magyarország elméleti biogázpotenciálja. Egy európai uniós kutatási projekt szemszögéből. Energoinfo. Energia Ügynökség Kht. 2008. 2. 4-5.
186. Takiuchi, I., Y. Sei, H. Takagi, M. Negi. 1984. Partial characterization of the extracellular keratinase from *Microsporum canis*. Sabouraudia. 22. 219– 224.
187. Tamás J., Bíró T., Szöllősi N. 2007. Analyze of biomass productivity by timeseries remotesensing data in region Nyírlugos. In: Láng I., Lazányi J., Csép N. (Szerk.) 2007. Joint International Conference on long-term Experiments, Agricultural Research and Natural Resources. Univ. Debrecen Centr. Agric. Sci.. Univ. Oradea. Debrecen, Romania. 44-50.
188. Tamás, J. 2010. Integration of agricultural biogas production and GPS/GIS technology based on LCA In Proc. Lasaridi, K., Manios, T., Bidlingmaier, W., Abeliotis, K., de Bertoldi, M., Diaz, L.,

Stentiford, E., I. (Eds) 7th International Conference ORBIT, Organic Resources in the Carbon Economy, Grafima Publ., Thessaloniki, 91-98.

189. Tatineni, R., Doddapaneni, K. K., Potumarthi, R. C., Vellanki, R. N., Kandathil, M. T., Kolli, N., Mangamoori, L. N. 2008. Purification and characterization of an alkaline keratinase from *Sterptomyces sp.*, Bioresource Technology. 99. 1596-1602.

190. Thorsten A. 2007. Vergleichende Bewertung von Verfahren zur Biogasaufbereitung. Dissertation. Fakultät für Mathematik/ Informatik und Maschinenbau der Technischen Universität Clausthal

191. Tredici, Mario R. 2003. Richmond, Amos (Editor). Mass Production of Microalgae: Photobioreactors (9). Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology, Wiley-Blackwel, 178-210.

192. Yadav, L. S. and Hesse, P. R. 1981. The Development and Use of Biogas Technology in Rural Areas of Asia (a Status Report 1981). Improving Soil Fertility through Organic Recycling, FAO/ UNDP Regional Project RAS/75/004, Project Field Document.

193. Yadvika, Santosh, T. R. Sreekrishnan, Sangeeta Kohli, Vineet Rana. 2004. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques - a review. Bioresource technology. 95. 1-10.

194. Yu, R. J., S. R. Harmon, F. Blank. 1969. Hair digestion by a keratinase of *Trichophyton mentagrophytes*. J. Invest. Dermatol. 53. 166-171.

195. Van der Berg, L., Kennedy, K. J., 1983. Comparison of advanced anaerobic reactors. In: Proceedins of III International Conference on Anaerobic digestion. August 1983. Boston. NRCC. 22613.

196. Van Velsen, A. F. M. 1979. (In: Kárpáti, 2002). Adaptation of methanogenic sludge to high ammonia-nitrogen concentrations. Wat. Res., 13, 995-999.

197. Varga S. 2008. Galambfélék jelenléte állattenyésztő telepeken. Ph.D. értekezés. Debrecen. 17-18.

198. Vermeulen, J., Huysmans, A., Crespo, M., van Lierde, A., de Rycke, A., Verstraete, W., 1992. Processing of biowaste by anaerobic composting to plant growth substrates. In: Proceedings of the International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste. bVenice. 147-157.

199. Visslai B. 2009. Mezőgazdasági üzemi rendszerekhez illesztett, modul felépítésű Energiafarm programvázlat. IV. Biogáz Szakmai Nap. 2009.11.18. Budapest.

200. VDI (Verein deutsche Ingenieure). 2006. VDI-Richtlinien: Vergärung organischer Stoffe- Stoffcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche.

201. Wang X., Parsons C.M. 1997. Effect of processing systems on protein quality of feather meal and hair meals. Poultry Sci., 76: 491-496.

202. Wang, J.J., Shih, J.C.H. 1999. Fermentation production of keratinase from *Bacillus licheniformis* PWD-1 and a recombinant *B. subtilis* FDB-29. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, June 1999, vol. 22, no. 6, p. 608-616.
203. Wawrzekiewicz, K., T. Wolski, and J. Lobarzewski. 1991. Screening the keratinolytic activity of dermatophytes *in vitro*. *Mycophthologia* 114: 1-8.
204. Weiland, P. 2010. Flaschenhals Gärrestverwertung. Symposium zur Thema „Aufbereitung von Gärresten” and „Vorstellung der Studie AD+Plus”. IFA Tulln, 2010.09.30.
205. Weiland, P. 2001. Grundlagen der Methangärung - Biologie der Substrate; VDI-Berichte, Nr. 1620. „Biogas als regenerative Energie - Stand und Perspektiven“. S. 19-32. VDI-Verlag.
206. Wenzel, W. 2002. Mikrobiologische Charakterisierung eines Anaerobreaktors zur Behandlung von Rübenmelasseschlempe. Dissertation an der Technischen Universität Berlin.
207. Williams, C.M., Richerster, C.S., Mackenzi, J.M., Shih, J.C.H. 1990. Isolation, identification and characterization of a feather-degrading bacterium. *Appl. Environ. Microbiol.* 56. 1509-1515.
208. Williams C.M., Lee C.G., Garlich J.D., Shih J.C.H. 1991. Evaluation of a bacterial feather fermentation product, feather-lysate as a feed protein. *Poultry Sci.*, 70. 85-94.

Internetes hivatkozások:

- I₁: http://www.agraroldal.hu/kukorica-9_cikk.html.
- I₂: http://www.agraroldal.hu/telep-2_cikk.html (Arnóty, Sz. Állattenyésztő telepek biogáz-termelési lehetőségeinek gazdasági elemzése)
- I₃: http://www.agraroldal.hu/biogaz_cikk.html
- I₄: <http://www.aktivit.hu>
- I₅: <http://www.ars.usda.gov/is/pr/2000/000425.htm>
- I₆: <http://www.biogas.hu/1/frameset>
- I₇: http://www.boxer99.de/framesets/frame_biogas.htm
- I₈: http://www.energiakozpont.hu/download.php?path=files/fooldal/palyazoknak/keop/keop_0902.jpg
- I₉: <http://www.herbator.hu/kepek/biogazuzem2.jpg>
- I₁₀: <http://www.katki.hu/szaktan/kisall/takarm/tak12a2.html>
- I₁₁: <http://www.kolumbus.fi/suomen.biokaasukeskus/en/enperus.html>
- I₁₂: <http://www.members.aol.com>
- I₁₃: <http://www.milestonesci.com/ultraclave-tech.php>
- I₁₄: <http://www.mosz.agrar.hu/szakert/eloener.htm>
- I₁₅: <http://www.nyme.hu/fileadmin/dokumentumok/emk/kornyezettudomany/06.doc>
- I₁₆: http://www.phschool.com/science/science_news/articles/materials_take_wing.html
- I₁₇: http://www.recycling.hu/source/articles/recycling.hu_allati_hulladekkal_kapcsolatos_szabalyozas.pdf
- I₁₈: <http://www.schwefelwasserstoff.de>

I₁₉: http://www.terrenum.net/biogas/PDF/general_info.pdf

I₂₀: <http://www.unu.edu/unupress/unupbooks/80434e/80434E0k.htm>

I₂₁: http://www.tehnixhungary.hu/index.php?pg=okomisszio_biogaz

Jogszabályok:

49/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet. Nitrát direktíva a vizek mezőgazdasági eredetű nitrátszennyezéssel szembeni védelméről, mely a *91/676/EKG tanácsi irányelvét illeszti a hazai jogrendszerbe*. Módosítva: 27/2006. (II.7.), 81/2007 (IV.25.)

2001. évi CX. törvény a villamos energiáról.
<http://www.complex.hu/kzldat/t0100110.htm/t0100110.htm>

2070/2001. (IV.10.) Kormányrendelet a vizek mezőgazdasági eredetű nitrátszennyezésével szembeni védelméhez szükséges intézkedésekről.

1774/2002/EK Európai Parlamenti és Tanácsi rendelet a nem emberi fogyasztásra szánt állati melléktermékekre vonatkozó egészségügyi előírások megállapításáról. Módosítva: Bizottság 2007/2006/EK rendelet.

56/2002. (XII. 29.) GKM rendelet az átvételi kötelezettség alá eső villamos energia átvételének szabályiról és árainak megállapításáról. Módosítva: 112/2005. (XII. 23.) GKM rendelet

71/2003. (VI. 27.) FVM rendelet az állati hulladékok kezelésének és a hasznosításukkal készült termékek forgalomba hozatalának állat-egészségügyi szabályairól

42/2005 (III.10.) Korm. Rendelet a bioüzemanyagok és más megújuló üzemanyagok közlekedési célú felhasználásának egyes szabályairól.

109/2007. (XII. 23.) GKM rendelet az átvételi kötelezettség alá eső villamos energiának az átviteli rendszerirányító által történő szétosztásáról és a szétosztás során alkalmazható árak meghatározásának módjáról

389/2007. (XII. 23.) Korm. rendelet a megújuló energiaforrásból vagy hulladékból nyert energiával termelt villamos energia, valamint a kapcsoltn termelt villamos energia kötelező átvételéről és átvételi áráról

287/2008. (XI. 28.) Korm. rendelet a megújuló energiaforrásból vagy hulladékból nyert energiával termelt villamos energia, valamint a kapcsoltn termelt villamos energia kötelező átvételéről és átvételi áráról szóló 389/2007. (XII. 23.) Korm. rendelet módosításáról.

A 2009/28/EK irányelv a megújuló energiahordozó felhasználás elérendő mértékéről.

2148/2008.(X.31.) Korm. határozattal fogadta el a Magyar Kormány a Magyarország 2008-2020. időszakra szóló megújuló energiahordozó stratégiáját.

10. MELLÉKLETEK

1. melléklet. Az alapanyagok hatása az anaerob elgázosítás technológiájára

Alapanyag		Javasolt technológia	
Alapanyagok minősége	Jellemző tulajdonságok	Eljárás megnevezés	Jellemző
<i>Növényi</i>	- nagy szárazanyag-tartalom, - kevés mikroorganizmus	<i>Szakaszos erjesztés</i>	- nagyobb fajlagos gázkihozatal, - jól kezelhető és értékesebb szilárd biotrágya
<i>Almos trágya</i>	- nagy szervesanyag-tartalom, - jelentős mikrobatartalom, - ~~gyommagvak~~ , ~~paraziták~~		
<i>Kommunális Hulladék</i>	- kicsi szervesanyag-tartalom,		
<i>Szennyvíz</i>	- kicsi szervesanyag-tartalom, - esetleg nehézfém-	<i>Folyamatos erjesztés</i>	- kisebb energiaveszteség a fermentor fűtésénél, - egyszerű lecsapolás, újratöltés, - nem igényel sátoztető-mozgatást, - a teljes automatizáció
<i>Higtrágya</i>	- kicsi szervesanyag-tartalom - korlátozott felhasználhatóság		

Forrás: Bai, 2007

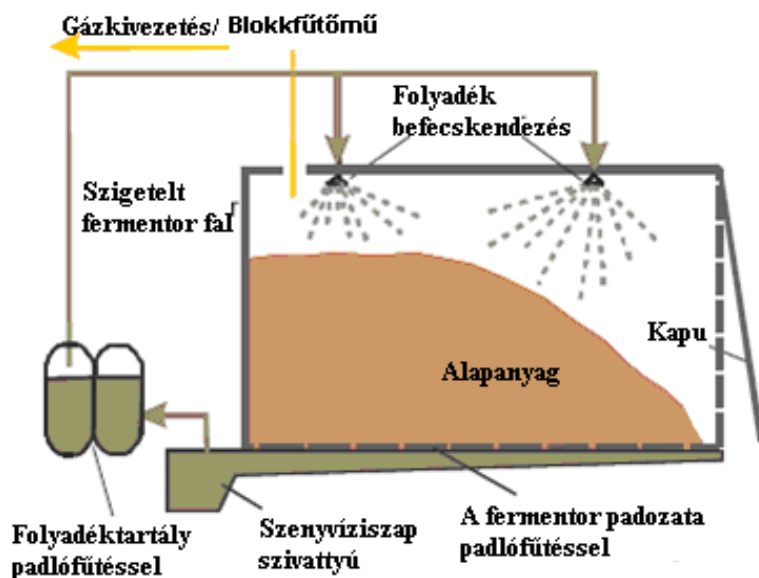
2. melléklet. Szerves hulladékok biogáz-termelése

Nyersanyagok	Biogázhozam, l/kg szerves Sza.	Biogázhoza m l/kg szerves anyag	Biogáz hozam m ³ /kg szervesa.	m ³ metán/t alapanyag Sza.	m ³ biogáz/t alapanyag Sza.
Sertés hígtrágya	340-550	220-637	300-800	300	20 (6%)
Szarvasmarha ürülék	90-310	176-520	600-800	200	30 (10%)
Baromfitrágya	310-620	327-722	300-800	250	150 (45%)
Lótrágya	200-300	300	400-600	n.a.	n.a.
Birkaürülék	90-310	n.a.	300-400	n.a.	n.a.
Istállótrágya	175-280	n.a.		n.a.	n.a.
Zöldség maradékok	330-360	n.a.	400-700	250	n.a.
Mezőgazdasági hulladékok	310-430	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Szennyvíziszap	310-740	n.a.	300-750	300	n.a.
Fáradt olaj/zsír	n.a.	n.a.	900-1000	720	n.a.
Fűszecska	n.a.	n.a.	600-800	480	n.a.
Fű szilázs	n.a.	n.a.	n.a.		160 (30%)
Lucerna szilázs	n.a.	n.a.	n.a.	335*	170 (35%)
Kukoricaszár	380-460*	n.a.	600-700		n.a.
Őszi búza (szár)	n.a.	n.a.	n.a.	189*	n.a.
Lóhere	n.a.	n.a.	n.a.	335*	n.a.
Tavaszi árpa (szár)	n.a.	n.a.	n.a.	189*	n.a.
Silókukorica	n.a.	n.a.	n.a.	390*	210 (34%)
Napraforgó (siló)	n.a.	n.a.	n.a.	300*	n.a.
Cukorrépa (levél)	n.a.	n.a.	n.a.	210*	n.a.
Vágóhídi hulladék ¹ , Vér ²	n.a.	n.a.	300-700 ¹	n.a.	118 ² (18%)
Savó ¹ , Tejzsír ²	n.a.	n.a.	500-900 ¹	n.a.	510 ² (95%)
Biohulladék	n.a.	n.a.	300-1000	n.a.	n.a.
Irodalmi forrás:	Kaltwasser, 1983; *www. kekenergia.hu	Eder és Schulz, 2006	Deublein és Steinhaus er, 2008	I ₇ *Amon és Amon, 2007	Orbán, 2009

3. melléklet. Az anaerob fermentációs folyamatra kritikus mikroelem koncentrációk

Toxikus elemek/inhibítorok	Koncentrációk
Nátrium	6-30 g/l
Kálium	3 g/l <
Kalcium	2,8 CaCl ₂
Magnézium	2,4 g/l MgCl ₂
Ammónium	2,7-10 g/l
Ammónia	0,15 g/l <
Kén	50 mg/l H ₂ S<, 100 mg/l S ²⁻ <, 160 mg/l Na ₂ S
Nehézfémek	Szabad ionok: 10 mg/. Ni<, 40 mg/l Cu<, 130 mg/l Cr<, 340 mg/l Pb<, 400 mg/l Zn< Karbonát: 160 mg/l Zn<, 170 mg/l Cu <, 190 mg/l CD, 530 mg/l Cr ³⁺ <, 1750 mg/l Fe< Szulfát, vagy semleges formában is előfordulhatnak.
Elágazó szénláncú zsírsavak	Iso-vajsav: már 50 mg/l-től gátol

Forrás: Kaltschmitt és Hartmann, 2001 nyomán



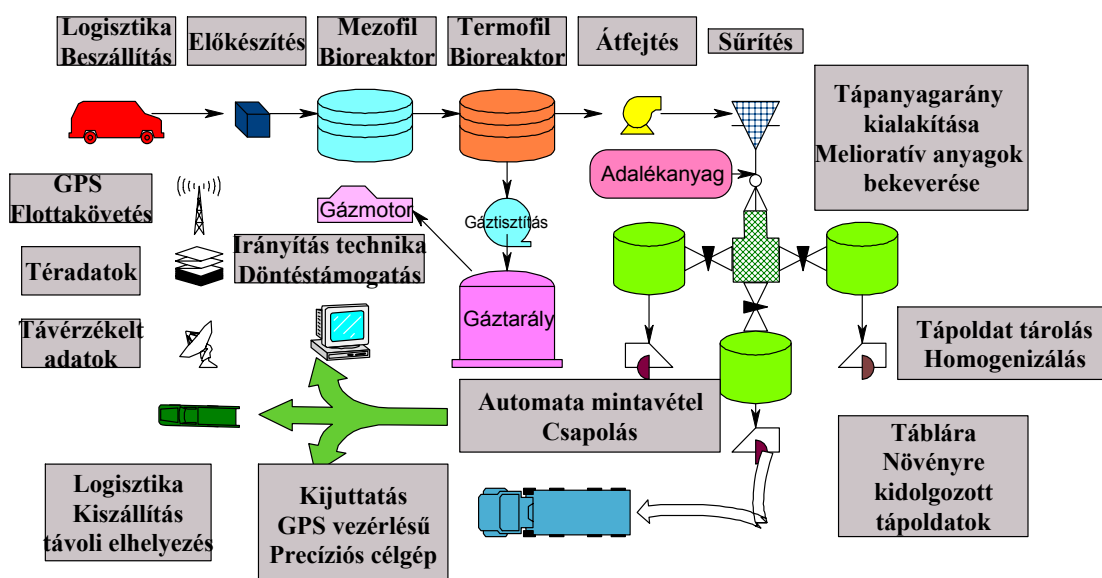
4. melléklet. Száraz biogáz-előállítási eljárás (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2004 nyomán)



5. melléklet. Álló betonfermentor (*Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2004 nyomán*)



6. melléklet. Külső kéntelenítéssel és gáztároló térrel ellátott fekvő csőfermentor (*Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2004 nyomán*)



7. melléklet. Fermentlé precíziós mezőgazdasági elhelyezése (*Tamás, 2010*)



8. melléklet. Mikrohullámú hőkezelő berendezés



9. melléklet. ICP (ULTIMA)



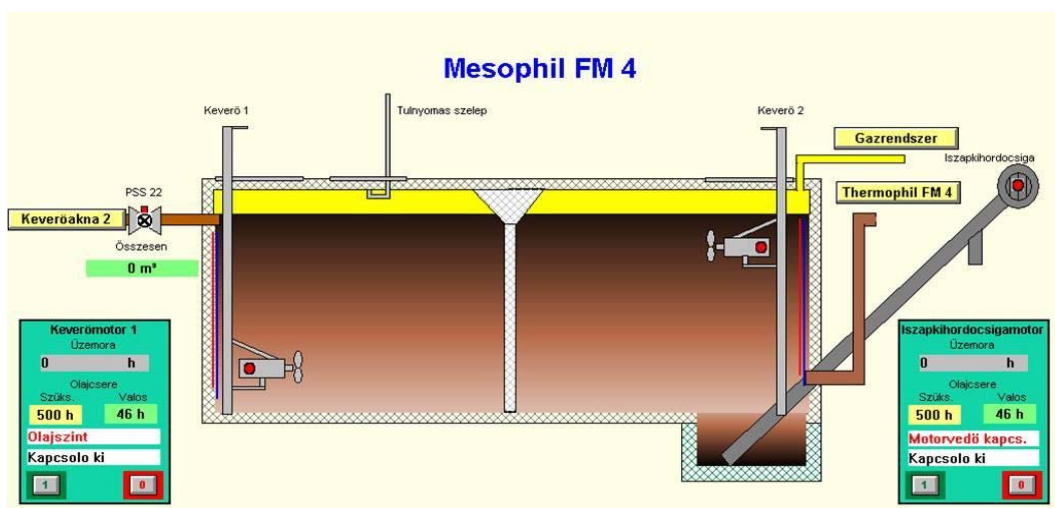
10. melléklet. Kjeldahl-készülék (Gerhardt)



11. melléklet. Fisher-Rosemount típusú gázelemző



12. melléklet. MX42A típusú gázelemző



13. melléklet. Mezofil fermentor felépítése (Bátortrade Kft. belső dokumentáció)

14. melléklet. A baromfi toll előkezelése során alkalmazott beállítások (BOKU)

Beállítások száma	Baromfi toll mennyisége (g)	Hőmérséklet (°C)	Homogenizálás ideje (perc)	Víz:Toll arány	NaOH-oldat (1Mol):Toll arány
1.	10	70	0	2:1	0
2.	10	130	0	2:1	0
3.	10	160	0	2:1	0
4.	10	70	40	2:1	0
5.	10	130	40	2:1	0
6.	10	160	40	2:1	0
7.	10	70	80	2:1	0
8.	10	130	80	2:1	0
9.	10	160	80	2:1	0
10.	10	70	0	0	2:1
11.	10	130	0	0	2:1
12.	10	160	0	0	2:1
13.	10	70	40	0	2:1
14.	10	130	40	0	2:1
15.	10	160	40	0	2:1
16.	10	70	80	0	2:1
17.	10	130	80	0	2:1
18.	10	160	80	0	2:1

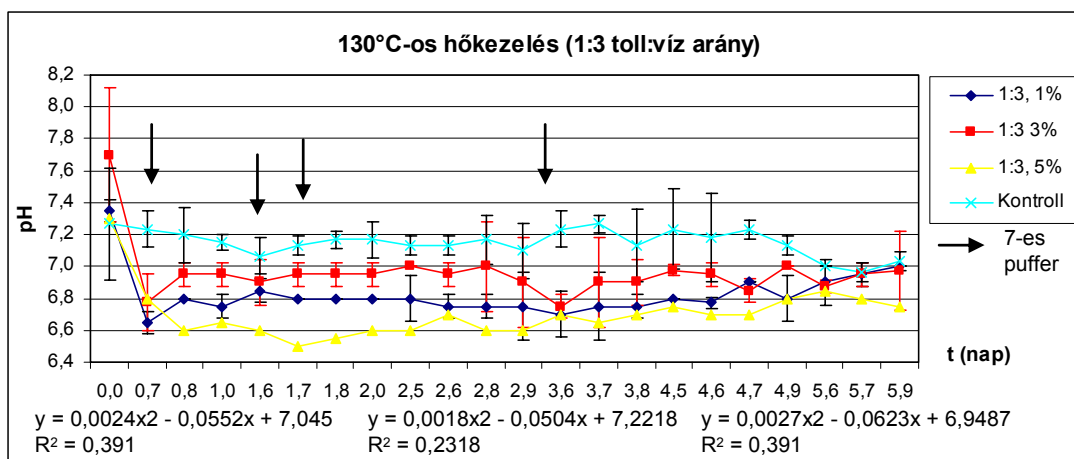
15. melléklet. A 2006. október - 2008. december között a keverőkbe juttatott alapanyagok mennyisége (t), (m³)

Keverőbe feladott anyagok mennyisége (m³)	2006-2008.		
	<i>1. keverő</i>	<i>2. keverő</i>	<i>összesen</i>
szarvasmarha hígtrágya	24514	27783	52297
procesz.víz*	41170	39090	80260
baromfi szennyvíz	21797	21458	43255
Tejsavó	8760	7645	16404
Tejzsír	434	580	1014
gátlós tej	239	609	849
Sajtsavó	60	80	140
Összesen	96974	97246	194219
Keverőbe feladott anyagok mennyisége (t)	2006-2008.		
	<i>1. keverő</i>	<i>2. keverő</i>	<i>összesen</i>
szarvasmarha trágya	5363	6305	11668
szeparált anyag**	851	1002	1853
Silókukorica	4781	4501	9282
kukorica csővég	86	100	186
Kukoricadara	327	1161	1488
Kukoricaszecska	679	660	1339
Csemegekukorica	393	459	852
cukorrépaszelet	76	171	247
cukorrépa szecska	90	89	179
szecskázott zöld lucerna	206	192	397
Triticale	128	142	270
szecskázott zöld fű	408	378	787
egyéb zöld anyag	385	453	838
konzervgyári melléktermék	98	259	357
Zöldborsó	144	162	306
Zöldbab	109	80	189
Brokkoli	40	36	76
Baromfivágóhídi szennyvíziszap***	698	939	1637
Szennyvíziszap	245	235	480
Összesen	15106	17324	32430

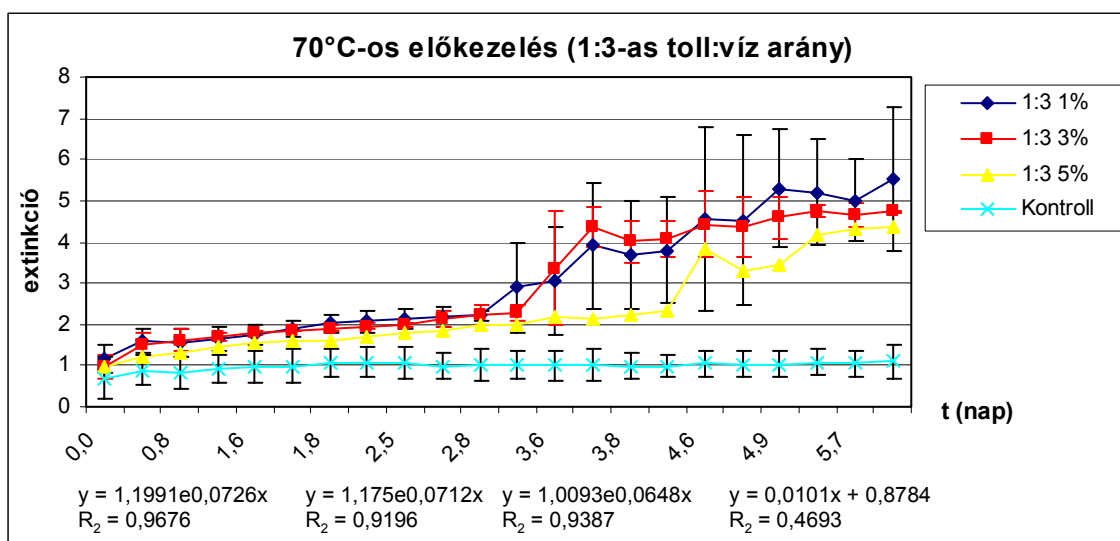
* technológiai szennyvíz

** a folyadékfázistól elkülönített végtermék (fermentum)

*** baromfi-feldolgozó üzem zsírfogóján visszamaradt salakanyag



16. melléklet. A 130°C-on hőkezelt baromfi toll kémhatásának változása



17. melléklet. A 70°C-on hőkezelt baromfi toll extinkció változása 1:3-as toll:víz arány mellett

18. melléklet. Kolmogorov-Smirnov-teszt eredményei baromfi toll előkezelése esetén

Normál eloszlás vizsgálata	Extinkció	Kémhatás
70°C (1.0.0.)	normál	normál
100 °C (2.0.0.)	nem normál	normál
130°C (3.0.0.)	normál	normál

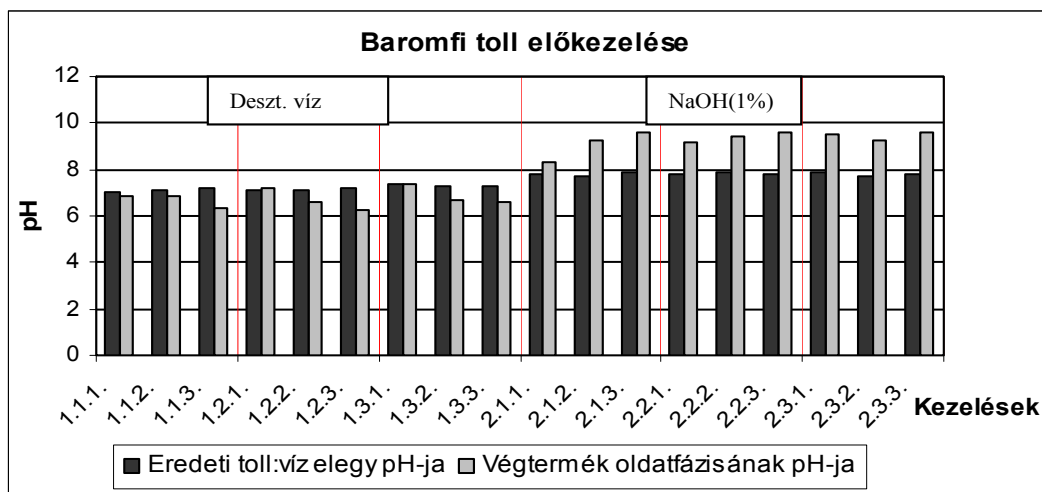
19. melléklet. Különböző hőkezelések kémhatás-változásának összevetése

Kezelések	Átlag $\pm \sigma$		Jelmagyarázat:
1.0.0.	7,29 $\pm$ 0,2	a	70°C, Kontroll
1.1.1.	6,72 $\pm$ 0,13	f	70°C, 1:2, 1%
1.1.2.	6,73 $\pm$ 0,14	f	70°C, 1:2, 3%
1.1.3.	6,74 $\pm$ 0,16	f	70°C, 1:2, 5%
1.2.1.	6,83 $\pm$ 0,26	ef	70°C, 1:3, 1%
1.2.2.	6,91 $\pm$ 0,25	de	70°C, 1:3, 3%
1.2.3.	6,76 $\pm$ 0,10	f	70°C, 1:3, 5%
2.0.0.	7,40 $\pm$ 0,17	a	100°C, Kontroll
2.1.1.	6,96 $\pm$ 0,21	d	100°C, 1:2, 1%
2.1.2.	7,02 $\pm$ 0,12	bcd	100°C, 1:2, 3%
2.1.3.	7,08 $\pm$ 0,19	bc	100°C, 1:2, 5%
2.2.1.	7,02 $\pm$ 0,26	bcd	100°C, 1:3, 1%
2.2.2.	7,13 $\pm$ 0,17	bc	100°C, 1:3, 3%
2.2.3.	7,06 $\pm$ 0,17	bc	100°C, 1:3, 5%
3.0.0.	7,15 $\pm$ 0,15	b	130°C, Kontroll
3.1.1.	6,81 $\pm$ 0,22	ef	130°C, 1:2, 1%
3.1.2.	6,87 $\pm$ 0,18	e	130°C, 1:2, 3%
3.1.3.	6,70 $\pm$ 0,21	f	130°C, 1:2, 5%
3.2.1.	6,83 $\pm$ 0,16	ef	130°C, 1:3, 1%
3.2.2.	6,96 $\pm$ 0,21	d	130°C, 1:3, 3%
3.2.3.	6,70 $\pm$ 0,16	f	130°C, 1:3, 5%
F-érték		38,55 ***	

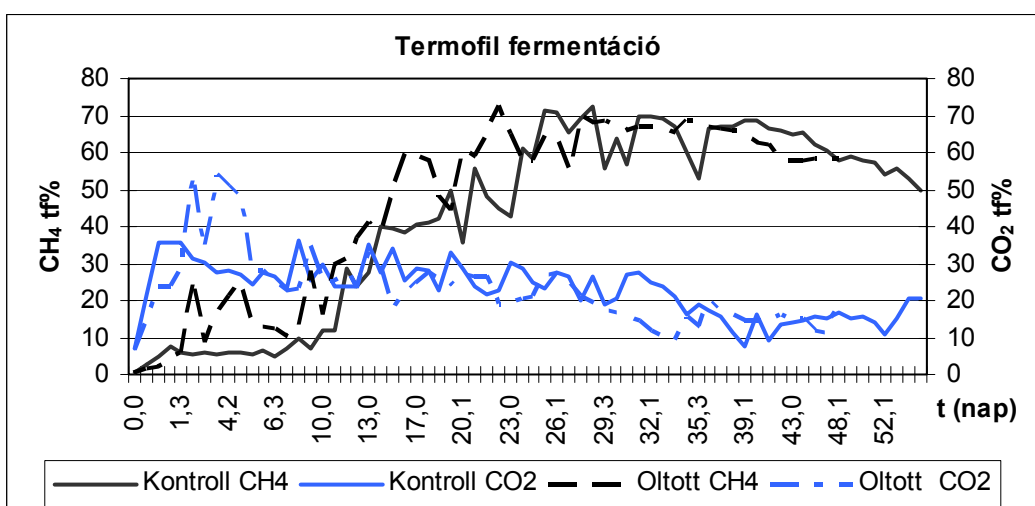
*** $P < 0,001$



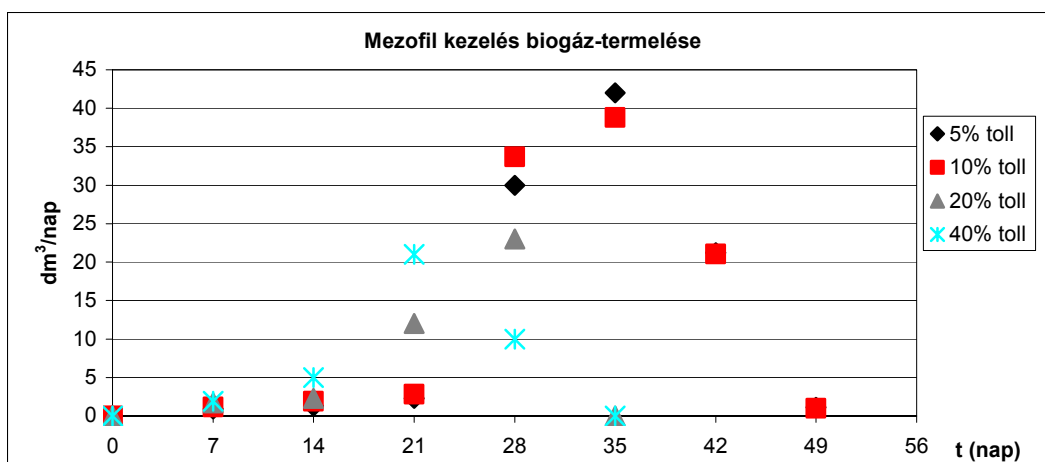
20. melléklet. Az eredeti és a hővel és *Bacillus licheniformis*al kezelt baromfi toll:víz elegy összehasonlítása



21. melléklet. Az eredeti toll:víz elegy és a végtermék oldatfázisának kémhatása



22. melléklet. A termofil fermentáció során mért metán- és szén-dioxid koncentrációk



23. melléklet. Baromfi toll kofermentációjának biogáz-termelése mezofil körülmények között

24. melléklet. Baromfi toll és hígtrágya fermentációjának metán-koncentráció
változásának elemzése független mintás T-próbával

Kezelések	Átlag	Átlagos differencia	t-érték	Próba típusa	Szignifikancia szint (P)	Jelmagyarázat
1.1.1.	21,5 ± 20,1	10,2	1,75	Welch	0,043	Mezofil kontroll I.szakasz
2.1.1.	31,7 ± 25,3					Termofil kontroll I.szakasz
1.1.2.	64,4 ± 6,1	-2,2	1,5	T	0,613	Mezofil kontroll II.szakasz
2.1.2.	62,1 ± 5,6					Termofil kontroll II.szakasz
1.2.1.	29,2 ± 17,3	-1,2	-0,3	T	0,443	Mezofil 5% I.szakasz
2.2.1.	30,4 ± 19,0					Termofil 5% I.szakasz
1.2.2.	50,8 ± 9,5	-4,5	-2,0	T	0,133	Mezofil 5% II.szakasz
2.2.2.	55,2 ± 8,0					Termofil 5% II.szakasz
1.3.1.	29,5 ± 17,5	-0,5	-0,1	T	0,512	Mezofil 10% I.szakasz
2.3.1.	30,0 ± 19,0					Termofil 10% I.szakasz
1.3.2.	58,0 ± 8,0	-0,7	-0,4	T	0,835	Mezofil 10% II.szakasz
2.3.2.	58,7 ± 7,7					Termofil 10% II.szakasz
1.4.1.	12,7 ± 7,3	-0,03	-0,02	T	0,905	Mezofil 20% I.szakasz
2.4.1.	12,7 ± 7,1					Termofil 20% I.szakasz
1.4.2.	20,3 ± 1,2	0,6	0,9	Welch	0,07	Mezofil 20% II.szakasz
2.4.2.	19,7 ± 0,7					Termofil 20% II.szakasz
1.5.1.	12,6 ± 7,3	-0,1	-0,07	T	0,932	Mezofil 40% I.szakasz
2.5.1.	12,7 ± 7,2					Termofil 40% I.szakasz
1.5.2.	20,0 ± 1,0	0,1	0,2	T	0,557	Mezofil 40% II.szakasz
2.5.2.	19,8 ± 0,9					Termofil 40% II.szakasz

25. melléklet. Kénhidrogén elemzése variancia-analízissel (Games-Howell-teszt, Duncan)

Kezelések	Elemzés	Átlag $\pm \sigma$	Csoportok
1.1.1.	16	0,0004 $\pm$ 0,0002	cde
1.1.2.	46	0,0009 $\pm$ 0,0003	c
1.2.1.	16	0,0003 $\pm$ 0,0001	de
1.2.2.	46	0,0008 $\pm$ 0,0002	cde
1.3.1.	16	0,0024 $\pm$ 0,002	a
1.3.2.	18	0,0006 $\pm$ 0,0002	cde
1.4.1.	16	0,0015 $\pm$ 0,0015	b
1.4.2.	18	0,0003 $\pm$ 0,0002	de
2.1.1.	16	0,0008 $\pm$ 0,0005	cde
2.1.2.	46	0,0008 $\pm$ 0,0003	c
2.2.1.	16	0,0007 $\pm$ 0,0006	cde
2.2.2.	46	0,0006 $\pm$ 0,0002	cde
2.3.1.	16	0,0017 $\pm$ 0,0014	b
2.3.2.	18	0,0002 $\pm$ 0,0001	e
2.4.1.	16	0,0026 $\pm$ 0,0018	a
2.4.2.	18	0,0005 $\pm$ 0,0003	cde
F-érték	16,43 ***		

*** $P < 0,001$

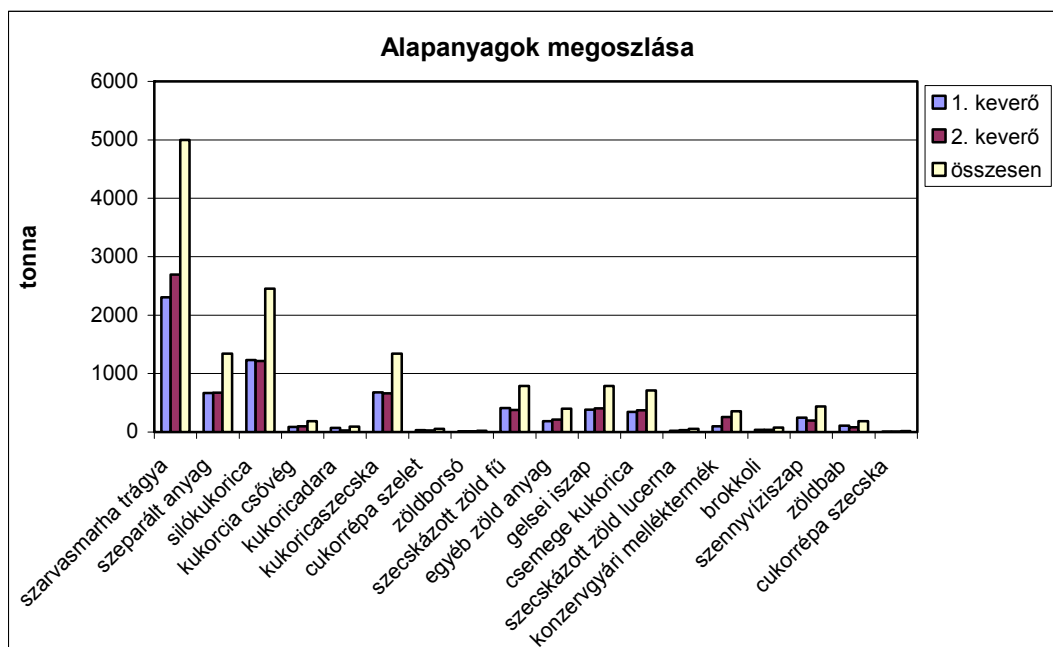
Jelmagyarázat:

Hőkezelés	Előkezelt baromfi toll aránya	Szakaszok
1 Mezofil	1	5%
2 Termofil	2	10%
	3	20%
	4	40%

26. melléklet. Baromfi toll kofermentációja során az ammónia-tartalom elemzése
variancia-analízissel (Games-Howell-teszt, Duncan)

Kezelések	Elemszám	Átlag $\pm \sigma$	Csoportok
1.1.1.	24	0,005 $\pm$ 0,0015	c
1.1.2.	38	0,0024 $\pm$ 0,0007	fgh
1.2.1.	24	0,0033 $\pm$ 0,0011	efg
1.2.2.	38	0,0017 $\pm$ 0,0005	h
1.3.1.	24	0,0075 $\pm$ 0,0030	a
1.3.2.	10	0,0051 $\pm$ 0,0018	c
1.4.1.	24	0,0044 $\pm$ 0,0019	cde
1.4.2.	10	0,0044 $\pm$ 0,0007	cde
2.1.1.	24	0,0066 $\pm$ 0,0034	ab
2.1.2.	38	0,0043 $\pm$ 0,0022	cde
2.2.1.	24	0,0055 $\pm$ 0,0018	bc
2.2.2.	38	0,0023 $\pm$ 0,0011	fgh
2.3.1.	24	0,0048 $\pm$ 0,0038	cd
2.3.2.	10	0,0021 $\pm$ 0,0005	gh
2.4.1.	24	0,0036 $\pm$ 0,0018	def
2.4.2.	10	0,002 $\pm$ 0,0009	gh
F-érték	18,86 ***		

*** $P < 0,001$



27. melléklet. Keverőkbe feladott anyagok mennyisége (tonna) (2008.01 - 12.)

28. melléklet. A keverőkbe beadagolt hígtrágya mennyiségi megoszlása

Hígtrágya mennyisége (m³) 2006.10 - 2008.12.	1. keverő	2. keverő	Összesen
október	680	313	993
november	700	280	980
december	380	740	1120
január	840	300	1140
február	1130	0	1130
március	360	840	1200
április	200	950	1150
május	590	740	1330
június	710	740	1450
július	480	860	1340
augusztus	530	870	1400
szeptember	970	900	1870
október	890	990	1880
november	130	1670	1800
december	430	760	1190
január	950	1040	1990
február	560	1060	1620
március	1594	1360	2954
április	1480	1630	3110
május	1340	1890	3230
június	1600	1690	3290
július	2280	1760	4040
augusztus	1040	1810	2850
szeptember	840	610	1450
október	950	1910	2860
november	1540	1340	2880
december	1320	730	2050
Összesen	24514	27783	52297

29. melléklet. A keverőkbe beadagolt szarvasmarha trágya mennyiségi megoszlása

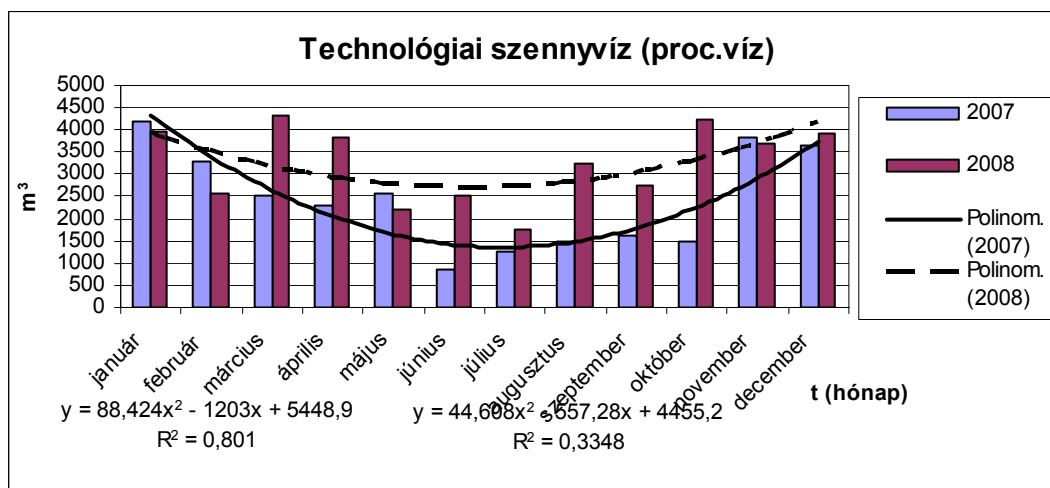
Szarvasmarha trágya mennyisége (t) 2006.10 - 2008.12.	1. keverő	2. keverő	Összesen
október	136	113	249
november	214	176,5	390,5
december	205	224	429
január	332	131	463
február	393,5	38	431,5
március	125	323	448
április	187	245	432
május	205	377	582
június	257	213	470
július	192	463	655
augusztus	209	213	422
szeptember	198	242	440
október	223	200	423
november	18	395	413
december	166,5	254	420,5
január	192	205	397
február	173	189	362
március	222	199	421
április	184	194	378
május	183	181	364
június	174	213	386
július	192	271,5	463
augusztus	209	213	422
szeptember	198	242	441
október	223	200	423
november	170	395	565
december	184	191,5	376
Összesen	5363	6305	11668

30. melléklet. A keverőkbe beadagolt silókukorica mennyiségi megoszlása

Silókukorica mennyisége (t) 2006– 2008.	1. keverő	2. keverő	Összesen
október	169	183	352
november	81	102	183
december	208	223	431
január	626	232	858
február	928	81	1009
március	204	471	675
április	246	362	608
május	143	200	343
június	150	177,5	327,5
július	128	137	265
augusztus	125	132	257
szeptember	145	147	292
október	125	179	304
november	21,5	342	363,5
december	250	314	564
január	257	254	511
február	116	131	247
március	115	80	195
április	58,5	54,5	113
május	71	75	146
június	51	51	102
július	260	252,5	512,5
augusztus	121	131	252
szeptember	8	8	16
október	13	3	16
november	0	0	0
december	162	178	340
Összesen	4781	4501	9282

31. melléklet. A keverőkbe beadagolt szeparált anyag (fermentált szilárd végtermék) mennyiségi megoszlása

Szeparált anyag mennyisége (t) 2006– 2008.	1. keverő	2. keverő	Összesen
december	17	19,5	36,5
január	20	11	31
február	24	2	26
március	18	45	63
április	34,5	57,5	92
május	20	121	141
július	5	5	10
augusztus	12	8	20
szeptember	8	8	16
október	2	2	4
november	6	20	26
december	19	27	46
január	59	59	118
február	63	78	141
március	177	174	351
április	126	119	245
május	63	53	116
június	94	97	191
július	7	7	14
augusztus	0	0	0
szeptember	0	0	0
október	0	0	0
november	30	32	61
december	47	57	104
Összesen	851	1002	1853



32. melléklet. A felhasznált technológiából származó szennyvíz (proc.víz) mennyisége

33. melléklet. A keverőkbe beadagolt baromfi szennyvíz mennyiségi megoszlása

Baromfi szennyvíz mennyisége (m³) 2006-2008.	1. keverő	2. keverő	Összesen
Október	775,00	550,00	1325
November	610	704	1314
December	370	560	930
Január	1300	730	2030
Február	1760	660	2420
Március	892	1840	2732
Április	1100	1090	2190
Május	1140	1180	2320
Június	2710	1720	4430
Július	2340	2754	5094
Augusztus	1910	1810	3720
Szeptember	1840	2110	3950
Október	1240	1250	2490
November	60	1310	1370
December	960	900	1860
Január	290	460	750
Február	500	240	740
Április	60	20	80
Május	120	80	200
Június	20	160	180
Július	850	430	1280
Augusztus	0	40	40
Szeptember	280	0	280
Október	170	140	310
November	330	500	830
December	170	220	390
Összesen	19977	19968	39945

34. melléklet. A keverőkbe beadagolt tejsavó mennyiségi megoszlása

Tejsavó mennyisége (m³) 2007-2008.	1. keverő	2. keverő	Összesen
Június	530	120	650
Július	200	410	610
Augusztus	360	220	580
Szeptember	220	220	440
Október	440	260	700
November	0	500	500
December	160	120	280
Január	140	170	310
Február	212	290	502
Március	440	180	620
Április	40	40	80
Május	480	540	1020
Június	560	600	1160
Július	680	750	1430
Augusztus	370	460	830
Szeptember	500	260	760
Október	360	420	780
November	360	300	660
December	260	200	460
Összesen	8760	7645	16404

35. melléklet. A keverőkbe beadagolt cukorrépaszelet és –szecska mennyiségi megoszlása

Cukorrépaszelet mennyisége (t) 2007– 2008.	1. keverő	2. keverő	Összesen
Október	2	1	3
November	2	101	103
December	41	43	84
Január	5	5	10
Március	16	11	27
Április	10	10	20
Összesen	76	171	247
Cukorrépa szecska (t) 2007.	1. keverő	2. keverő	Összesen
Július	36,5	46,5	83
Augusztus	24,5	11	35,5
Október	1	0	1
November	0	4	4
December	20,5	20,5	41
Összesen	82,5	82	164,5

36. melléklet. A keverőkbe beadagolt kukorica csővég mennyiségi megoszlása

Kukoricacsővég mennyisége (t) 2008.	1. keverő	2. keverő	Összesen
Január	0	10	10
Február	25	23	48
Március	33	36	69
Április	24	27	51
Május	8	8	16
Összesen	90	104	194

37. melléklet. A keverőkbe beadagolt zöldborsó, zöldbab mennyiségi megoszlása

Zöldborsó mennyisége (t) 2007-2008.	1. keverő	2. keverő	Összesen
Június	74	73	147
Július	57	77	135
Május	5	5	10
Július	3	3	6
Szeptember	4	4	8
Összesen	144	162	306
Zöldbab (t) 2008.	1. keverő	2. keverő	Összesen
Május	19	9	28
Szeptember	86	71	157
Október	3,7	0	3,7
Összesen	108,7	80	188,7

38. melléklet. A keverőkbe beadagolt Tritikálé mennyiségi megoszlása

Tritikálé (t) 2007.	1. keverő	2. keverő	Összesen
Augusztus	57,5	72,0	129,5
Szeptember	70,0	70,0	140,0
Összesen	127,5	142,0	269,5

39. melléklet. A keverőkbe beadagolt konzervgyári melléktermékek és brokkoli mennyiségi megoszlása

Konzervgyári melléktermék (t) 2008.	1. keverő	2. keverő	Összesen
Szeptember	8	9	17
Október	26	35,5	61,5
November	60	210	270
December	4	4	8
Összesen	98	258,5	356,5
Brokkoli (t) 2008.	1. keverő	2. keverő	Összesen
Szeptember	10	5	15
Október	19	20	39
November	7,2	7,2	14,4
December	4	4	8
Összesen	40,2	36,2	76,4

40. melléklet. A biogáz üzemben felhasznált szarvasmarha hígtrágya minőségi paramétereit havi lebontásban

Hígtrágya (m ³)	N%	C%	C/N	Sza.%	Szerv.a.%	pH
2006.október	3,13	38,09	12,18	3,80	1,70	6,34
November	3,13	38,09	12,18	3,80	1,48	6,34
December	3,13	38,09	12,18	3,80	1,47	6,34
2007.január	3,13	38,09	12,18	3,80	1,06	6,34
Február	3,17	38,78	12,23	3,80	1,16	6,54
Március	3,24	39,93	12,32	3,80	1,13	6,81
Április	3,13	38,09	12,18	3,80	0,80	6,34
Május	3,26	40,29	12,34	3,80	1,22	6,90
Június	3,48	43,30	12,44	3,54	1,40	7,57
Július	3,41	42,92	12,76	3,42	1,32	7,73
Augusztus	2,91	42,78	15,03	4,21	1,27	7,22
Szeptember	3,46	41,04	12,30	2,70	0,93	7,92
Október	3,33	42,14	12,96	3,60	1,42	7,73
November	3,41	41,02	12,34	2,78	1,21	7,87
December	3,35	43,45	13,02	3,80	1,75	7,59
2008.január	3,12	43,14	13,95	3,80	1,75	7,27
Február	3,46	43,60	12,59	3,80	1,76	7,74
Március	2,85	36,15	12,70	2,61	0,83	6,55
Április	3,21	43,57	13,70	3,91	0,65	7,31
Május	2,83	34,75	12,29	2,05	0,47	6,38
Június	2,92	42,03	14,62	3,64	0,64	6,95
Július	2,95	42,02	14,49	3,55	0,66	7,14
Augusztus	3,06	39,27	12,89	3,40	0,66	7,19
Szeptember	3,02	39,56	13,15	3,78	0,71	
Október	3,04	39,56	13,09	3,76	0,71	7,03
November	3,04	39,47	13,04	3,68	0,70	7,22
December	2,63	40,63	16,23	4,22	0,65	7,35

41. melléklet. A biogáz üzemben felhasznált szarvasmarha trágya minőségi paraméterei
havi lebontásban

Szarvasmarha trágya (t)	N%	C%	C/N	Sza. %	Szerv.a. %	pH
2006.október	2,11	42,26	20,28	20,55	2,61	
november	2,19	41,81	19,45	20,92	2,69	
december	2,14	42,73	20,15	20,64	2,71	
2007.január	2,08	42,37	20,48	20,09	2,61	
február	2,04	42,20	21,18	19,65	2,46	
március	2,16	41,02	19,32	20,54	2,64	7,13
április	2,11	41,85	20,31	20,50	2,67	7,78
május	2,10	41,09	19,68	21,57	2,83	7,30
június	2,08	36,00	17,74	24,19	3,15	7,60
július	2,24	38,65	17,44	22,51	3,13	7,54
augusztus	2,26	39,23	17,92	26,83	3,80	8,25
szeptember	2,15	36,95	17,72	25,78	3,48	8,06
október	2,29	40,86	18,24	27,17	3,67	6,85
november	1,86	38,47	21,28	18,26	2,24	7,65
december	2,15	42,90	20,38	17,40	2,41	7,61
2008.január	1,88	38,59	20,89	18,60	2,18	8,23
február	2,22	42,25	19,39	17,34	2,37	7,67
március	2,19	42,41	19,69	16,93	2,30	7,56
április	2,03	41,25	20,69	16,30	2,14	7,67
május	2,01	37,38	18,79	21,83	2,78	7,27
június	2,23	40,14	18,24	21,78	3,02	7,66
július	2,17	40,59	18,77	23,98	3,62	6,91
augusztus	2,17	39,70	18,60	22,71	3,17	7,87
szeptember	2,06	39,07	19,54	20,94	3,01	7,69
október	2,19	40,40	18,71	22,57	3,15	8,05
november	2,53	40,03	16,07	20,80	3,25	8,23
december	2,34	43,12	18,53	20,26	2,98	

42. melléklet. A biogáz üzemben felhasznált silókukorica minőségi paramétereinek havi lebontásában

Silókukorica (t)	N%	C%	C/N	Sza.%	Szerv.a.%	pH
2006.október	1,45	45,99	32,20	25,87	2,50	
november	1,41	44,93	32,37	30,89	2,38	
december	1,40	45,46	32,73	26,25	2,29	
2007.január	1,44	45,77	32,50	25,77	2,30	
február	1,55	45,95	31,09	26,87	2,35	
március	1,48	45,54	31,10	26,47	2,48	4,08
április	1,46	45,76	31,80	27,67	2,54	4,12
május	1,53	44,70	29,60	27,45	2,50	4,21
június	2,52	44,95	20,81	26,41	3,21	4,25
július	1,50	45,47	31,01	26,55	2,44	3,85
augusztus	1,68	46,21	28,49	24,25	2,55	4,12
szeptember	1,56	45,92	29,96	27,27	2,65	3,82
október	2,43	47,76	20,16	23,44	3,52	4,53
november	1,98	45,48	23,25	24,23	3,00	3,92
december	2,04	47,11	23,49	25,27	3,27	3,88
2008.január	1,78	47,49	26,68	26,95	2,99	3,92
február	1,72	45,98	27,16	28,30	2,98	3,61
március	1,78	45,04	25,30	23,08	2,57	3,41
április	1,85	46,22	25,24	23,69	2,73	3,91
május	2,02	45,70	23,25	22,04	2,63	4,29
június	2,01	45,72	22,70	27,74	3,49	4,07
július	1,86	45,03	24,30	27,31	2,89	4,22
augusztus	1,79	43,50	24,30	34,68	2,50	3,90
szeptember	1,46	46,62	32,01	24,58	2,76	3,80
október	1,63	46,24	28,45	23,58	3,96	3,92
december	1,67	45,37	27,58	21,72	3,39	3,81

43. melléklet. Baromfiszennyvíz minőségi paramétereinek

Baromfi szennyvíz 2006-2007	C/N	Sza.t.%	Szerv.a.t.%	pH
Átlag ± σ	12,11±0,71	0,57±0,46	0,36±0,12	6,53±0,04
Maximum	13,04	1,07	0,56	6,60
Minimum	10,98	0,09	0,25	6,50
Baromfi szennyvíz 2008				
Átlag ± σ	10,13±1,74	0,09±0,02	0,25±0,05	6,52±0,02
Maximum	12,55	0,11	0,31	6,55
Minimum	8,52	0,07	0,19	6,51

44. melléklet. Technológia szennyvíz (proc. víz) minőségi paraméterei

Proc.víz 2006-2007	C/N	Sza.t.%	Szerv.a.t.%	pH
Átlag $\pm \sigma$	10,92 $\pm$ 0,58	2,27 $\pm$ 0,21	0,61 $\pm$ 0,05	8,17 $\pm$ 0,14
Maximum	12,18	3,16	0,75	8,20
Minimum	8,86	1,59	0,42	7,34
Proc.víz 2008				
Átlag $\pm \sigma$	11,01 $\pm$ 1,73	2,83 $\pm$ 0,62	0,62 $\pm$ 0,09	8,04 $\pm$ 0,42
Maximum	16,80	3,91	0,75	8,98
Minimum	8,74	1,79	0,24	7,34

45. melléklet. Tejsavó minőségi paraméterei

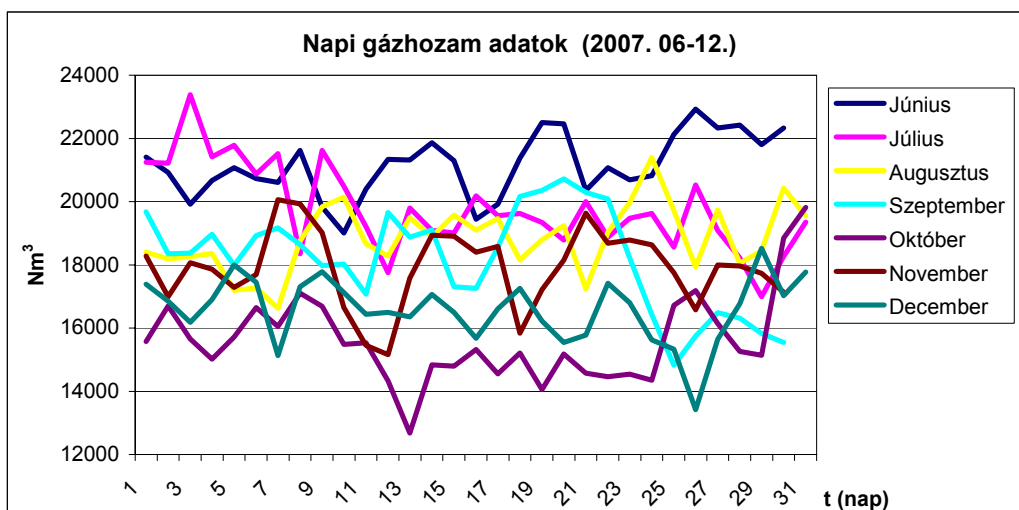
Tejsavó 2006-2007	C/N	Sza.t.%	Szerv.a.t.%	pH
Átlag $\pm \sigma$	10,33 $\pm$ 2,74	3,22 $\pm$ 1,04	0,14 $\pm$ 0,08	3,71 $\pm$ 0,16
Maximum	22,86	6,82	0,40	4,18
Minimum	6,30	1,50	0,07	3,48
Tejsavó 2008				
Átlag $\pm \sigma$	16,04 $\pm$ 5,21	7,11 $\pm$ 4,96	0,18 $\pm$ 0,08	3,83 $\pm$ 0,16
Maximum	22,97	15,98	0,31	4,14
Minimum	7,58	2,37	0,10	3,57

46. melléklet. Fermentorok alapanyagbázisa (2006-2007)

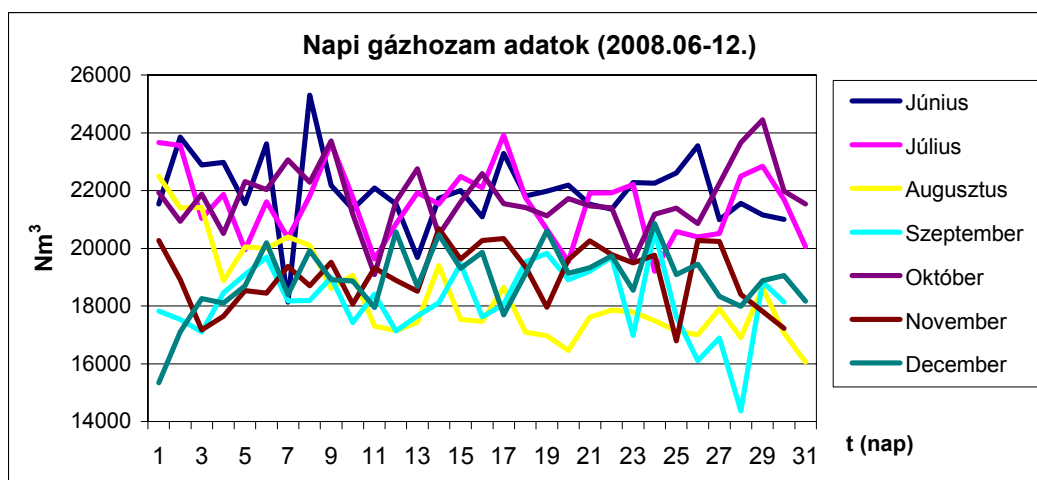
Fermentorokba beadagolt mennyiségek (m³/hó) (2006-2007)									
Dátum	1. keverő	2. keverő	húslé	glicerin	hígtrágya	baromfi szennyvíz	tejsavó	fermentlé	Összesen
október	5340	4330	1365	0	90	0	0	0	11125
november	3590	3603	1024	0	0	320	28	0	8565
december	2977	3455	894	24	390	6	150	0	7895
január	5740	2970	1020	32	650	0	0	0	10412
február	7260	650	1075	47	140	300	0	0	9472
március	1980	5720	1155	99	356	1262	0	0	10571
április	3010	4548	1005	89	100	113	10	0	8875
május	3965	4010	1103	118	0	230	0	0	9425
június	4350	3740	1146	136	130	0	0	0	9502
július	4590	4700	1081	146	0	310	0	0	10827
augusztus	4570	5130	1281	125	0	250	0	0	11355
szeptember	4440	5260	1293	49	0	0	0	260	11302
október	2810	4970	1015	0	0	0	0	0	8795
november	300	10460	1417	9	0	0	18	0	12204
december	4250	5380	1260	27	0	3	0	0	10920
Összesen	59172	68926	17132	899	1856	2794	206	260	151245

47. melléklet. Fermentorok alapanyagbázisa (2008)

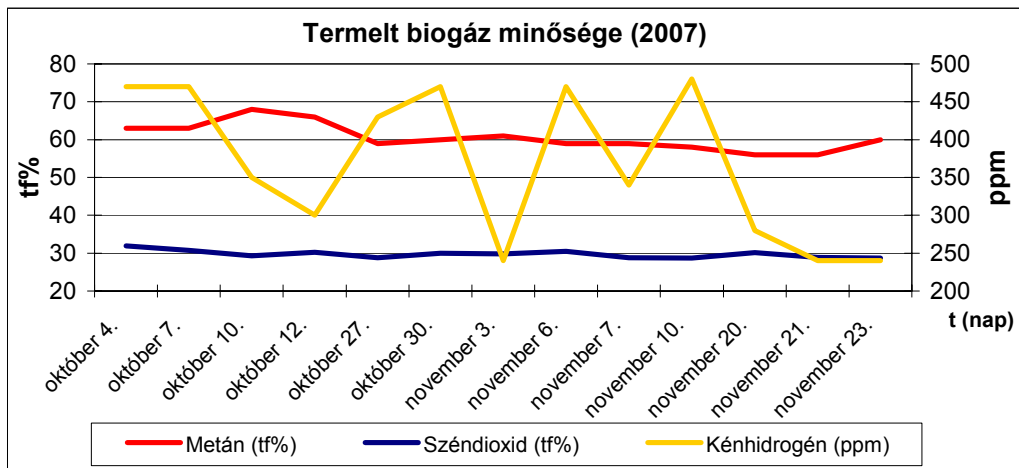
Fermentorokba beadagolt mennyiségek (m ³ /hó) (2008)									
Dátum	1. keverő	2. keverő	húslé	glicerin	hígtrágya	baromfi szennyvíz	tejsavó	Szeperált anyag	Összesen
január	4310	4340	1165	130	0	0	0	0	9944
február	3235	3432	897	76	100	48	10	0	7797
március	5130	5360	1232	128	0	11	0	0	11860
április	4010	4420	1128	129	0	45	154	0	9886
május	3900	4240	1076	119	0	2	0	0	9337
június	4320	4370	1107,7	137,5	0	29,4	3,6	0	9968,2
július	4690	4294	1144,6	168,5	0	0	0	30	10210,6
augusztus	5230	4725	1173	78	0	0	282	60	11407
szeptember	4040	4480	1038,5	66	0	0	57,6	57	9739,1
október	4730	5400	1330,5	208,5	0	0	0	36	11565
november	5290	4780	1262,2	60	0	0	0	21,5	11413,7
december	5000	4960	1259,5	79,5	0	0	0	39	11185
Összesen	53885	54801	13813	1379	100	134	507	244	124312



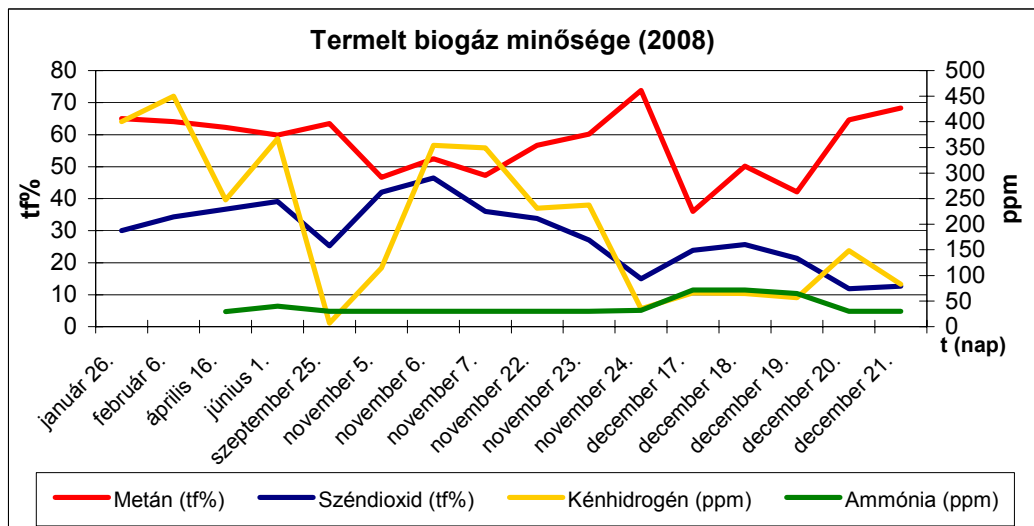
48. melléklet. 2007. június-december közötti időszak napi gáztermelése



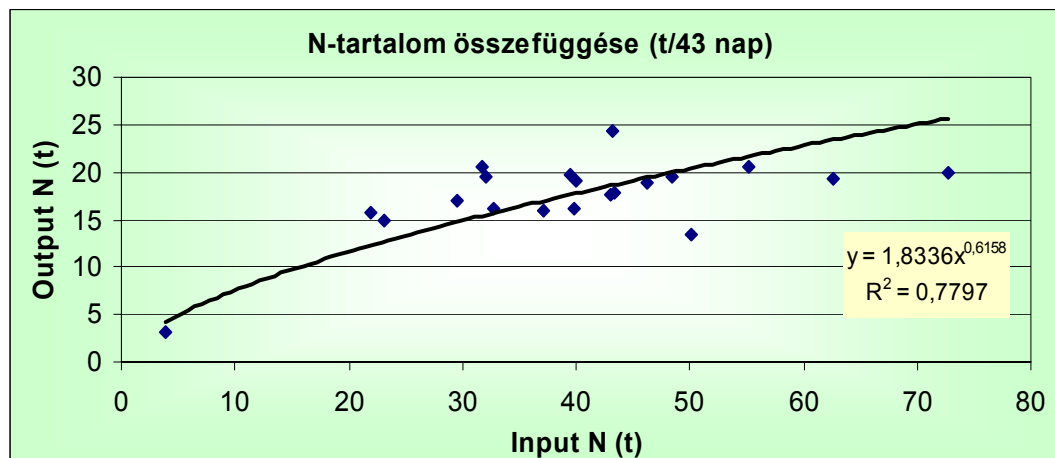
49. melléklet. 2008. június-december közötti időszak napi gáztermelése



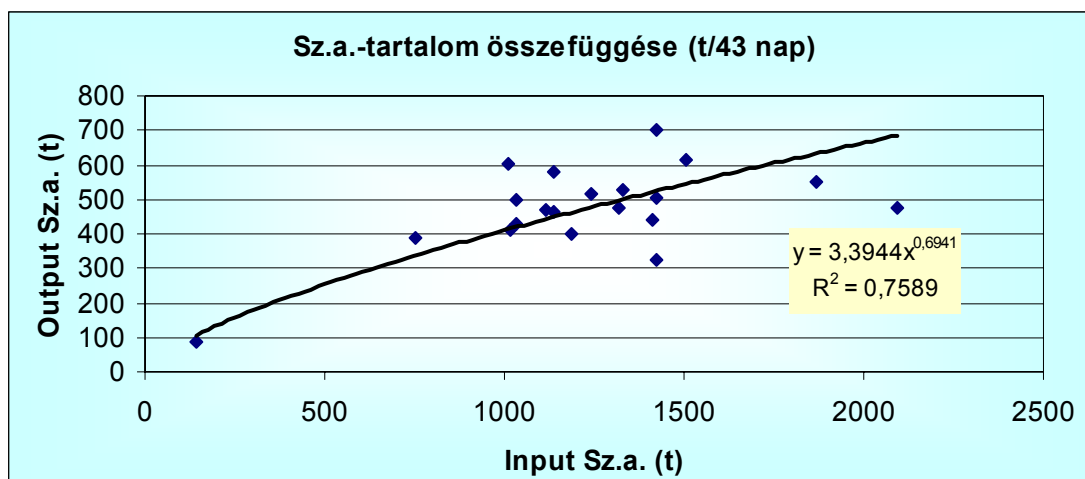
50. melléklet. A termelt biogáz minősége (2007)



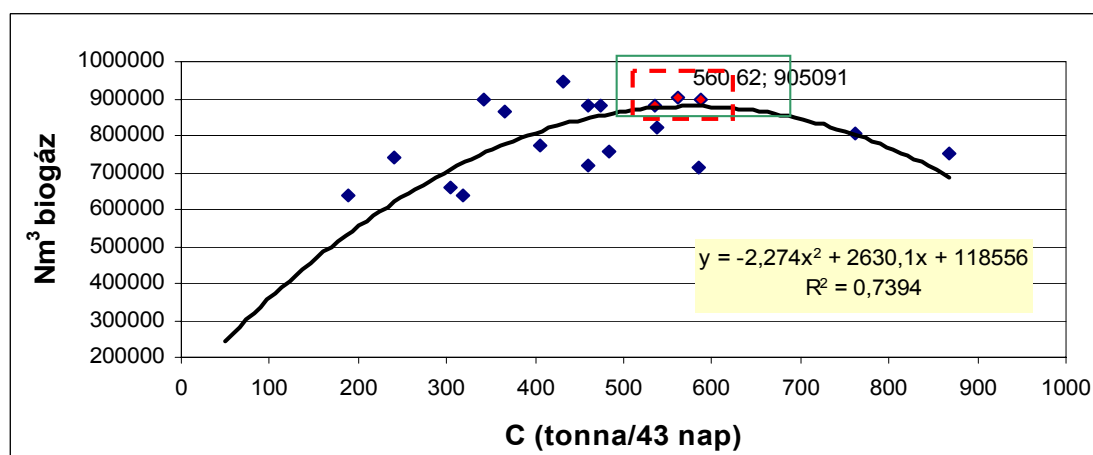
51. A termelt biogáz minősége (2008)



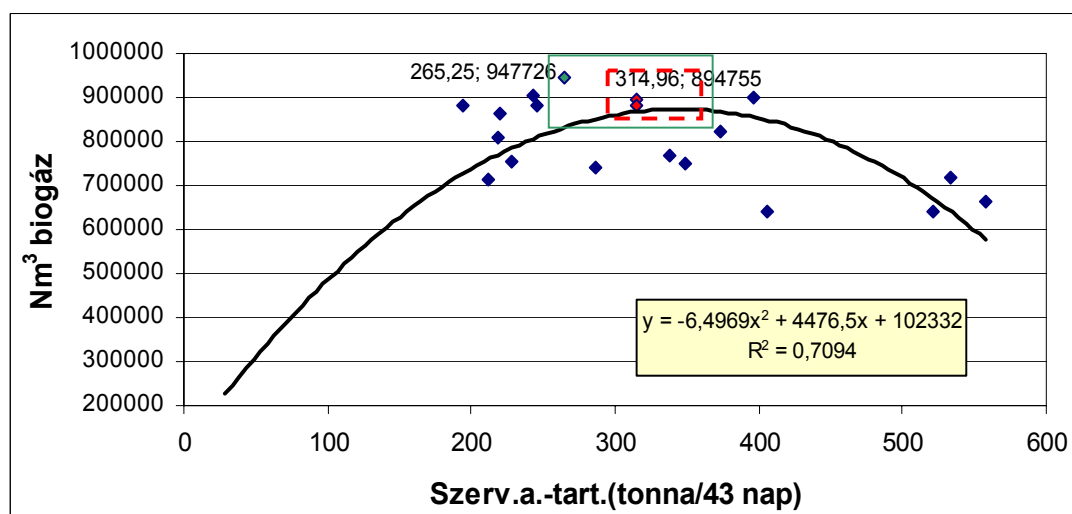
52. melléklet. Az alapanyagok és a fermentált végtermék N-tartalma közötti összefüggés



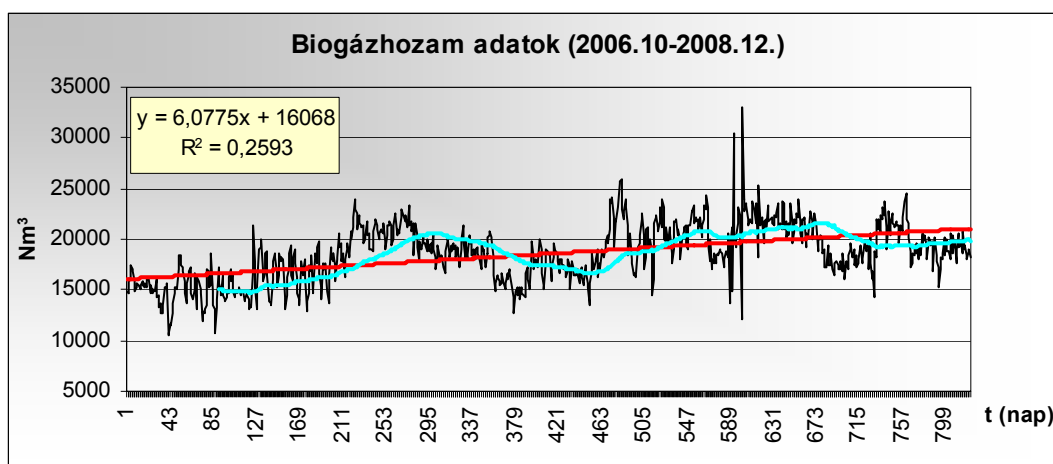
53. melléklet. Az alapanyagok és a fermentált végtermék szárazanyag-tartalma közötti összefüggés



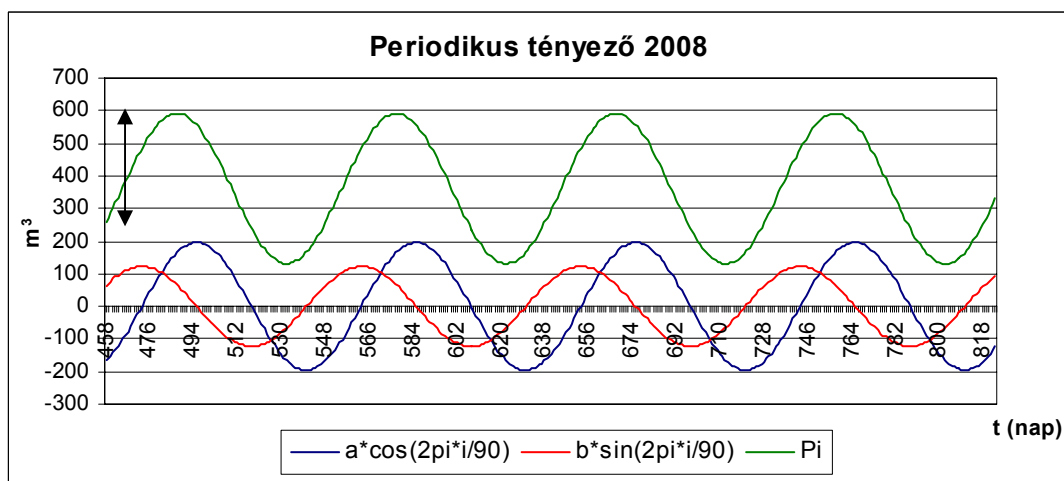
54. melléklet Input szén-tartalom (t) és a biogázhozam (Nm³) összefüggése



55. melléklet. Input szervesanyag-tartalom (t) és a biogázhozam (Nm³) összefüggése



56. melléklet. 2006. október-2008.december között termelődött napi gázmennyiség (Nm^3)



57. melléklet Biogáz-hozam periodikus tényezőjének meghatározása (2008)

11. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN

Tudományos közlemény idegen nyelvű, hazai lektorált folyóiratban:

- Bíró, T., **Mézes, L.**, Tamás, J. (2007): The examination of poultry feather digestibility for biogas production. *Cereal Research Communications*. Supplement. **35. 2.** ISSN: 0133-3720. pp. 269-272. (IF: 1,19)
- **Mézes, L.**, Bíró, T., Tamás, J. (2008): Results of biogas production experiments based on agricultural and food industry wastes. Tamás J., Csépi N.I., Jávorski A. (szerk.) "Natural resources and sustainable development." *Acta Agraria Debreceniensis*. Supplement. ISSN: 1588-8363. pp.297-303.
- Bíró, T., **Mézes, L.**, Hunyadi, G., Petis, M. (2008): Effects of biomass recipes on the output liquid phase of biogas production. *Cereal Research Communications*. Supplement. **36. 5.** ISSN: 0133-3720. pp. 2071-2074. (IF: 1,19)

Tudományos közlemény magyar nyelvű lektorált folyóiratban:

- **Mézes L.**, Bíró T., Tamás J., Petis M. (2007): Baromfi toll feltárhatóságának vizsgálata biogáz célú hasznosításhoz. *Acta Agraria Debreceniensis*. Különszám. **26.** ISSN: 1587-1282.113-118.
- **Mézes L.**, Bíró T., Tamás J., Petis, M. (2007): Baromfi toll hőkezelése és mikrobiális előkezelése biogáz célú hasznosításhoz. *Acta Agraria Debreceniensis*. **27.** ISSN: 1587-1282. 215-219.
- **Mézes L.**, Bíró T., Petis M., Tamás J. (2008): Keratin-tartalmú hulladékok üzemi méretű biológiai előkezelése. *Acta Agraria Debreceniensis*. **30.** ISSN:1587-1282. 59-65.
- **Mézes L.**, Bíró T., Petis M. (2009): A C/N arány és a biogázhozamok összefüggésének vizsgálata a Nyírbátori Biogáz Üzemben. *Acta Agraria Debreceniensis*. **35.** ISSN: 1216-9560. 63-68.
- **Mézes L.** (2010): A vágóhídról származó baromfi toll fizikai és kémiai kezelése. *Acta Agraria Debreceniensis*. **42.** ISSN: 1216-9560.51-56.

Nemzetközi lektorált konferencia kiadvány:

- **Mézes, L.**, Bíró, T., Juhász, Cs., Hunyadi, G. (2008): Innovative technology for biogas production from pig slurry. Koutev, V. (ed.). *13th RAMIRAN International Conference*. „Potential for simple technology solutions in organic manure management”. ISBN: 978-954-9067671-6-3. pp. 331-334.

- **Mézes, L.,** Bíró, T., Hunyadi, G., Tamás, J., Petis, M. (2009): The poultry feather digestility nad utilisation for biogas production. Kuntz, A. (ed.). *I. International Symposium on Animal Waste Management*. Florianópolis, Santa Catarina State, Brazil. CD. Proceeding. pp. 218-223.

- Kamarád, L., **Mézes, L.,** Gabauer, W., Braun, R., Kirchmayr, R. (2009): Monitoring and operating efficiency of biogas plants in Austria. *Conference proceedings of International Conference Construction and Operation of Biogas Plants*. Třeboň, Czech Republic. 15.-16. October. ISBN-978-80-254-5455-8. pp.43-47.

Magyar nyelvű lektorált konferencia kiadvány:

- Bíró T., **Mézes L.,** Petis M., Kovács L. K., Bagi Z., Hunyadi G. (2008): A baromfi toll, mint biogáz alapanyag. Kiss T., Somogyvári M. (szerk.). *Via Futuri 2007*. A biomassza alapú energiatermelés. BIOKOM Kft. Pécs. ISBN: 978-963-06-5993-2. 156-163.

Nemzetközi nem lektorált konferencia kiadvány:

- **Mézes, L.,** Bíró, T., Petis, M., Hunyadi, G. (2008): The practical coherences of biogas production based on mixed compositions in South-Nyírség Region of Hungary. In: *IV. World Congress of Agronomists and professional in Agronomy*. Madrid, Spanyolország, 2008.10.28-2008.10.30. Madrid. pp. 152-156.

Magyar nyelvű nem lektorált konferencia kiadvány:

- **Mézes L.,** Thyll Sz., Bíró T. (2008): Kutatási eredmények a mezőgazdasági és élelmiszeripari hulladékokra alapozott biogáz-előállítás terén. Tóth G. (szerk.). *50. Jubileumi. Georgikon Napok*, Keszthely. CD Kiadvány. ISBN: 978-963-9639-32-4. 7-12.

- **Mézes L.** (2011): Baromfi vágóhídi hulladékok mennyisége, a baromfi toll hasznosításának lehetőségei. *XVII. Ifjúsági Tudományos Fórum*. Keszthely. CD Kiadvány. ISBN: 978-963-9639-42-3.

- Bíró Gy., **Mézes L.,** Nyírcsák M., Tamás J., Borbély J. (2011): Laboratóriumi anaerob fermentációs rendszer irányítástechnikai fejlesztése. *XVII. Ifjúsági Tudományos Fórum*. Keszthely. CD Kiadvány. ISBN: 978-963-9639-42-3.

Előadás hazai konferencián, magyar nyelven:

- **Mézes L.,** Bíró T., Hunyadi G. (2007): Sertéstelepek biogáz-ellátásának egy lehetséges technológiai alternatívája. *Országos Környezetvédelmi Konferencia*. Tanulmánykötet. Balatonfüred. pp. 68-76.

- **Mézes L.** (2007): Baromfi toll feltárhatóságának vizsgálata biogáz célú hasznosításhoz. *IV. Jedlik Ányos Szakmai Napok*. Absztrakt. Veszprém. 48.

Ismeretterjesztő publikáció:

- Bíró T., **Mézes L.**, Petis M., Kovács L. K., Bagi Z., Hunyadi G., Tamás J. (2008): A baromfi toll biogáz-alapanyagként történő hasznosítása. Pápa Á. (szerk.). *Bioenergia. Bioenergetikai szaklap*. Szekszárdi Bioráma Kft. Szekszárd. **3. 1.** ISSN: 1788-487X.18-21.

NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem, Agrár- és Gazdálkodástudományi Centrum, Mezőgazdasági-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Karán a Kerpely Kálmán Növénytermesztési, Kertészeti és Regionális Tudományok Doktori Iskola keretében készítettem el a Debreceni Egyetem, AGTC, MÉK doktori (PhD) fokozatának elnyerési céljából.

Debrecen, 2011.....

.....
a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítjuk, hogy Mézes Lili doktorjelölt 2006-..... a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításunkkal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javasoljuk.

Debrecen, 2011.....

.....
témavezető aláírása

.....
témavezető aláírása

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet mondok konzulenseimnek Dr. Bíró Tibornak (Károly Róbert Főiskola, Környezettudományi Intézet), Prof. Dr. Tamás Jánosnak (DE, AGTC MÉK, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet) és az Intézet munkatársainak a kutatásban, az eredmények elemzésében és az értekezés elkészítésében nyújtott segítségükért.

Ezúton köszönöm Prof. Dr. Sinóros-Szabó Botond és Dr. Maróti Gergely opponensi észrevételeit és szakmai javaslatait, mellyel hozzájárultak a doktori értekezés végleges formájának elkészítésében.

Megköszönöm Dr. Petis Mihálynak a BátorTrade Kft. vezetőjének, hogy lehetővé tette kutatásaimat és biztosította a szükséges feltételeket, illetve a Nyírbátori Regionális Biogáz Üzem dolgozóinak, hogy segítséget nyújtottak a kutatásaim során felmerült kérdések tisztázásában.

Külön köszönet Víg Róbertnek a statisztikai értékekben nyújtott segítségét, Prof. Dr. Kovács L. Kornélnak és Dr. Bagi Zoltánnak, hogy rendelkezésemre bocsátották a *Bacillus licheniformis* KKI törzsét, illetve a fenntartásához szükséges ismereteket.

Köszönet illeti továbbá a Bécsi Agráregyetem, Környezetbiotechnológiai Intézet (IFA, Tulln) Biogáz Projektcsoport (Prof. Dr. Rudolf Braun) munkatársait, hogy lehetővé tették számomra vizsgálataim elvégzését.

Hazai kutatásaim a Baross Gábor (2-2005-0047) és az Asbóth Oszkár Programok (OMFB 00873/2006) segítségével, külföldi kutatásaim az Erasmus program és az MTA-FVM Fiatal Agrárkutatók Motivációs Ösztöndíj Programjának támogatásával valósultak meg.