

DEBRECENI EGYETEM

**Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma**  
Logisztikai Koordinációs Központ

**KERPELY KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA**

vezető:  
Prof. Dr. Nagy János  
az MTA doktora

Témavezető:  
**Dr. Grasselli Gábor**  
a mezőgazdaság tudomány kandidátusa

**EGY ADOTT GAZDASÁGI SZERKEZETŰ, KISEBB RÉGIÓ SZERVES  
HULLADÉKAIRA ALAPOZOTT BIOGÁZ ELŐÁLLÍTÁSI TECHNOLÓGIA  
KIALAKÍTÁSA**

Készítette:  
Sallai László  
doktorjelölt

Debrecen  
2012

**EGY ADOTT GAZDASÁGI SZERKEZETŰ, KISEBB RÉGIÓ SZERVES  
HULLADÉKAIRA ALAPOZOTT BIOGÁZ ELŐÁLLÍTÁSI TECHNOLÓGIA  
KIALAKÍTÁSA**

Értekezés a doktori (Ph.D) fokozat megszerzése érdekében az **Agrártudományok** tudományterületén a **Növénytermesztés és kertészettudományok** tudományágban

Írta: Sallai László doktorjelölt

A Doktori Iskola neve: Kerpely Kálmán Doktori Iskola

A doktori iskola vezetője: Prof. dr. Nagy János az MTA doktora

Témavezető: Dr. Grasselli Gábor a mezőgazdaság tudomány kandidátusa

A doktori szigorlati bizottság:

**A doktori szigorlati bizottság:**

|        | Név                  | Tud. fokozat |
|--------|----------------------|--------------|
| Elnök: | Dr. Csizmazia Zoltán | CSc          |
| Tagok: | Dr. Patay István     | CSc          |
|        | Dr. Rátonyi Tamás    | Ph.D         |

A doktori szigorlat időpontja: 2011.

**A bíráló bizottság:**

|             | Név | Tudományos fokozat | Aláírás |
|-------------|-----|--------------------|---------|
| elnöke:     |     |                    |         |
| tagjai:     |     |                    |         |
| titkár:     |     |                    |         |
| opponensei: |     |                    |         |

Az értekezés védésének időpontja: 2012. .... .

## TARTALOMJEGYZÉK

|                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| BEVEZETÉS .....                                                                                                                                | 4   |
| 1 IRODALMI ÁTTEKINTÉS .....                                                                                                                    | 8   |
| 1.1 A biomassa előállításának, felhasználásának szerepe, jelentősége .....                                                                     | 8   |
| 1.2 Az energetikai célra hasznosítható biomassa potenciál meghatározása .....                                                                  | 10  |
| 1.3 A biomassa biogáz formájában történő energetikai hasznosítása .....                                                                        | 13  |
| 1.4 A mezőgazdaságban, élelmiszeriparban képződő melléktermékek energiacélú felhasználásával kapcsolatos korábbi kutatások eredményei. ....    | 28  |
| 1.5 A fermentációs kísérletekben használt anyagok fő jellemzői, jelentőségük a fenntartható mezőgazdasági termelés szempontjából .....         | 33  |
| 1.6 Az alkalmazott adalékok legfontosabb jellemzői .....                                                                                       | 35  |
| 1.7 Az állatállomány által termelt szerves trágya energetikai hasznosításának korlátai .....                                                   | 39  |
| 1.8 A biotrágya (a fermentáció után visszamaradt anyag) előnyei .....                                                                          | 40  |
| 2 ANYAG ÉS MÓDSZER .....                                                                                                                       | 41  |
| 2.1 Biomassa potenciál meghatározás a vizsgált üzemméretekben .....                                                                            | 41  |
| 2.2 Az SZTE MGK mintafarm és azon belül a családi méretű tejtermelő kisgazdaság szerves hulladékainak energetikai célú hasznosítása .....      | 49  |
| 2.3 Biomassa és sertéshígtrágya kofermentációja .....                                                                                          | 54  |
| 2.4 A kofermentációs kísérletek értékelése, módszertana .....                                                                                  | 62  |
| 2.5 A kofermentációs kísérletek értékelésénél használt statisztikai módszerek ...                                                              | 63  |
| 2.6 A kofermentációs kísérletekből levonható következtetések .....                                                                             | 64  |
| 3 AZ EREDMÉNYEK ISMERTETÉSE .....                                                                                                              | 65  |
| 3.1 Családi méretű tejtermelő tehenészeti telep szerves hulladékainak kofermentációja .....                                                    | 65  |
| 3.2 A tanüzemben képződő, biogáz előállításra számba vett szerves hulladékok kofermentációja .....                                             | 68  |
| 3.3 Sertéshígtrágya és mezőgazdasági, élelmiszeripari fő- és melléktermékek kofermentációja .....                                              | 72  |
| 3.4 Mezőgazdasági mellék- és főtermékek kofermentációjának lehetséges hatása az egyes számításba vett üzemnagyságok biogázpotenciáljára .....  | 86  |
| 4 MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK .....                                                                                            | 88  |
| 4.1 A családi méretű tejtermelő tehenészeti telep szerves hulladékainak energetikai célú hasznosítására vonatkozó javaslatok .....             | 88  |
| 4.2 Megállapítások az SZTE MGK tanüzem szerves hulladékainak kofermentációjára .....                                                           | 88  |
| 4.3 A mezőgazdasági mellék- és főtermékek kofermentációjára vonatkozó összefoglaló megállapítások .....                                        | 88  |
| 4.4 A mezőgazdasági mellék- és főtermékek kofermentációjának lehetséges hatásai az egyes számításba vett üzemméretek biogázpotenciáljára ..... | 90  |
| 5 AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ EREDMÉNYEI .....                                                                                                             | 91  |
| ÖSSZEFOGLALÁS .....                                                                                                                            | 93  |
| SUMMARY .....                                                                                                                                  | 95  |
| IRODALOM .....                                                                                                                                 | 97  |
| PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN .....                                                                                                     | 105 |
| MELLÉKLETEK .....                                                                                                                              | 107 |
| KÉPJEGYZÉK .....                                                                                                                               | 131 |
| TÁBLÁZATJEGYZÉK .....                                                                                                                          | 131 |
| MELLÉKLETJEGYZÉK .....                                                                                                                         | 132 |
| ÁBRAJEGYZÉK .....                                                                                                                              | 134 |

## **BEVEZETÉS**

### **A téma jelentősége**

Földünk fosszilis energiahordozó készletei végesek, hozzáférhetőségük, kitermelhetőségük idővel egyre nehezebb, használatuk pedig drágább lesz. A fosszilis energiahordozók égetésével összefüggő klímaváltozás mérséklése, illetve megállítása az emberi társadalmak fenntartható fejlődésének az alapja, így az ezzel kapcsolatosan született nemzetközi egyezményekben foglaltak világviszonylatban is nagy kihívást, de egyben elengedhetetlen lépéseket is jelentenek. A problémakör vizsgálata, az energiafelhasználás forrásszerkezetének lehetséges irányváltása, a megvalósításra ajánlható alternatív megoldások gyakorlati alkalmazásának igénye alapján az egyik útként valószínűsíthető a megújuló energiaforrások kiterjedtebb használata. Ez gyakorlatilag kimeríthetetlen, azonban jelenleg a műszaki-technikai megvalósíthatóság miatt még mennyiségileg korlátozott potenciált kínál az energiaellátásban. A fosszilis energiahordozó készletekkel szemben a megújuló energiahordozók - kedvezőbb környezeti terhelés mellett - folyamatos ellátást biztosíthatnak a fenntarthatóság elvének szellemében.

Hazánk természeti adottságaiból kiindulva a jövőben egyik meghatározó megújuló energiahordozónk a biomassa lehet, amelyből átalakítási folyamatokon keresztül nyerhető ki a fogyasztók által közvetlenül hasznosítható energiaféleség. Egy ilyen energiahordozó a biogáz is. A megújuló energia hasznosítási arányának növelésére vonatkozó EU irányelvek megjelenésével Magyarországon is előtérbe került a mezőgazdasági eredetű biomasszára alapozott biogáz üzemek létesítése. Az EU fejlett gazdaságú országainak eddigi gyakorlatában a biogáz üzemek létesítésének és üzemeltetésének célja elsősorban a különböző környezetterhelő hulladékok és melléktermékek ártalmatlanítása volt, az energiatermelés többletként jelentkezett. Ez a tendencia azonban napjainkra az EU-ban és hazánkban is alapvetően megváltozott: biomassa alapú energia-előállító és – hasznosító létesítmények gazdaságos üzemeltetése a cél.

Magyarországon a lebontható biomassa potenciál igen változatos és a létesítendő biogáz üzemek környezetében igen eltérő összetételben áll rendelkezésre. A biogáz üzemek létesítését megelőzően ezért minden esetben problémaként merül fel az optimális üzemi, technológiai paraméterek és a receptúrák behatárolása. A szakirodalmi források is megerősítik azt a feltételezést, hogy az optimális üzemi technológia

megvalósítása érdekében olyan tudományosan megalapozott, megfelelően kidolgozott módszertanon nyugvó kísérletek elvégzésére van szükség, amelyek meghatározzák, hogy a biogáz adott, helyi körülmények között milyen technológiával, milyen alap- és adalékanyagok felhasználásával állítható elő.

### **Célkitűzések**

A biogáz előállítási folyamat bemeneti oldalán biomassa és energia, a kimeneti oldalán biogáz (mint energiaforrás) és a maradék folyékony fázis (biotrágya) található. A betáplált biomassa minősége, összetétele változó, hiszen az alap és adalék anyagok alapvetően inhomogén rendszere valamilyen termelési folyamat mellék-, vagy főtermékei, ill. hulladékai, mely folyamat a mezőgazdasági termelés soktényezős feltételrendszeréből adódóan állandóan változó produktumokat eredményez.

Az állattenyésztés és az állati termékfeldolgozás témakörébe tartozó feladatok - közöttük az állattartó telepek trágyakezelése, a fejőházi mosásnál, a tejtermék előállító üzemekben képződő szennyvizek kezelése is - ma már a legsürgősebben megoldandó környezetvédelmi problémák közé tartoznak hazánkban. A biogáz üzemek a potenciális környezetszennyező forrást jelentő állati trágyák és más mezőgazdasági hulladékok, melléktermékek kofermentációjával valósítják meg az energetikai célú hasznosítást.

**Fő célkitűzésem:** adott kistérség biogáz előállítási célra hasznosítható biomassa potenciáljának felmérésével és elemzésével, valamint az egyes potenciálisan kofermentként rendelkezésre álló mezőgazdasági eredetű biomassa féleségekkel végzendő technológiai kísérletekkel igazolni, hogy a helyi lehetőségek és adottságok összessége, valamint a rendelkezésre álló alapanyagok mennyiségi és minőségi jellemzői határozzák meg minden konkrét esetben a legmegfelelőbb alkalmazható biogáz előállítási technológiai megoldást.

Mivel a kísérleteket egy, már a gyakorlatban is elterjedt folyamatos, mezofil biogázelőállítási technológia szerint kívánom elvégezni, a soktényezős feltételrendszer legfontosabb elemével, a változó szubsztrátösszetétellel végzett kísérleteim egy technológiai folyamat modellkísérleteinek is tekinthetők. A folyamat eredményeként előállítandó megújuló energiahordozó a biogáz, ami sertéshígtrágya valamint teljes növényi biomassa hasznosításából, illetve a fő technológiai folyamat melléktermékeiből, hulladékaiból keletkezik.

## **Célkitűzések részletesen**

A biogáz termelés és hasznosítás minden üzemméretben megfelelő előkészítés esetén egyrészt energetikai hasznosítást tesz lehetővé, ami a fűtévékenység gazdaságosságát javítja, másrészt a hulladékkezelés egy hatékony eszköze. Mivel a megújuló energiákra jellemző módon a biomassza energiasűrűsége is alacsony, ezért felhasználásuk lehetőleg helyben, szállítás nélkül, veszteség, tárolás nélkül kell, hogy történjen. Vizsgálataim az SZTE MGK mintafarmján folyó, családi gazdasági szinten történő mezőgazdasági termelés hulladékaiból, melléktermékeiből kiindulva kistérségi szintre vezetve mérik fel a megújuló energiatermelés lehetőségeit, határozzák meg feltételeit. Ezek a szimulációk igénylik az energetikai célra, azon belül is a biogáz technológiával hasznosítható biomassza potenciál meghatározását.

1. Az SZTE MGK tanüzeme együttesen és külön-külön is mintázza a „családi gazdaság” elméletet, minden eleme a családi farm - elgondolás szerint készült, így alkalmas több, a gyakorlatban is feltételezhető üzemméret modellezésére. Részcélkitűzésem – részben mért, részben irodalmi adatok alapján – meghatározni az 50 tehenes gazdaság, ill. a mintafarm biogáz előállítási célra hasznosítható biomassza potenciálját, majd ugyanezt elvégezni kistérségi szinten is. Az adatok elemzésével kívánom igazolni a helyi feltételek, körülmények biogáz előállítási technikát, technológiát befolyásoló hatását.
2. A biogáz technológia elsősorban a nedves változatában, nagyberuházások, nagybefektetők által terjed, míg az új környezetvédelmi előírások a kisgazdaságok számára csak az almos tartásmódot teszik lehetővé. Az almos trágya szárazanyag tartalma, szalmás jellege, valamint a fejőházi mosóvíz mosó- fertőtlenítő szer tartalma kérdésessé teszi a bevált és általánosan alkalmazott technikákat. Céлом tehát annak bizonyítása, hogy a szalmás trágya - fejőházi mosóvíz szubsztrát energetikai célra hasznosítható, azaz az adott feltételek technológiát befolyásoló hatásának igazolása.
3. A mintafarm-tanüzem az üzemmérettől függetlenül (biogáz technológia tekintetében) változatlanul szarvasmarha, sertés almos trágyák, mosófolyadékok, sajtüzemi szennyvizek kofermentációját jelenti. Céлом annak bizonyítása, hogy a szarvasmarha, sertés szalmás trágya fejőházi mosóvíz, sajtüzemi szennyvíz (savó nélkül) szubsztrát energetikai célra hasznosítható, ill. a hasznosítás feltételeinek körülhatárolása.

4. Míg családi gazdasági méretben a mélyalmos, addig nagyüzemi méretben a hígtrágyás technológia a jellemző kistérségi szinten. Sertéshígtrágyás biogáz előállítási kísérleteim célja annak megállapítása, hogy adott feltételek között, változó minőségi paraméterekkel rendelkező sertéshígtrágya alapanyaghoz adalékolt változatos biomassa féleségek: búzakorpa, – gombakomposzt – silókukorica adalékok kofermentációja során termelődik-e hasznosításra alkalmas minőségű és mennyiségű biogáz, ill. a változó mennyiségű és különböző növényi eredetű adalékféleségek hozamfokozó és minőségjavító hatásának kísérleti igazolása.

5. A búzakorpa, gombakomposzt, silókukorica kísérletek már kistérségi szintre vonatkozóan mintázzák a biogáz technológia hulladékkezelés, melléktermék energetikai célú alkalmazását, tehát a vizsgálatok eredményeinek kistérségi szintre történő adaptációjához szükséges biomassa potenciál, azon belül a biogáz potenciál kistérségi méretű meghatározása. A kofermentációs mérések eredményeivel erre a nagyságrendre vonatkozóan végzek számításokat az elérhető gázhozam tekintetében.

Bár a fermentációs folyamat eredményessége, azaz a lebontás mértéke, a képződő biogáz metántartalma, mennyisége több tényezőtől függ (a degradáció hőmérséklete, a keverés technológiája, beadagolás módja, gyakorisága, a tartózkodási idő, stb.), mégis az állandóan változható és legfontosabb paraméter a szubsztrát összetétele.

A kísérletek várható eredményei lehetőséget nyújtanak a különféle szerves anyagokból keletkező metánmennyiség növelésére, a keletkezés intenzitásának fokozására, valamint stabil gázösszetétel produkálására. A technológia alkalmazásának közvetett eredménye lehet a környezetet szennyező szerves anyagok ártalmatlanítása is. A fermentáció során képződő biotrágya felhasználásának vizsgálatával egy biomasszára alapozott, záródó termelési ciklus megvalósítására törekvő, kapcsolt biogáz előállítási és hasznosítási technológia kialakítását eredményezheti közvetve a kutatás.

## 1 IRODALMI ÁTTEKINTÉS

### 1.1 A biomassza előállításának, felhasználásának szerepe, jelentősége

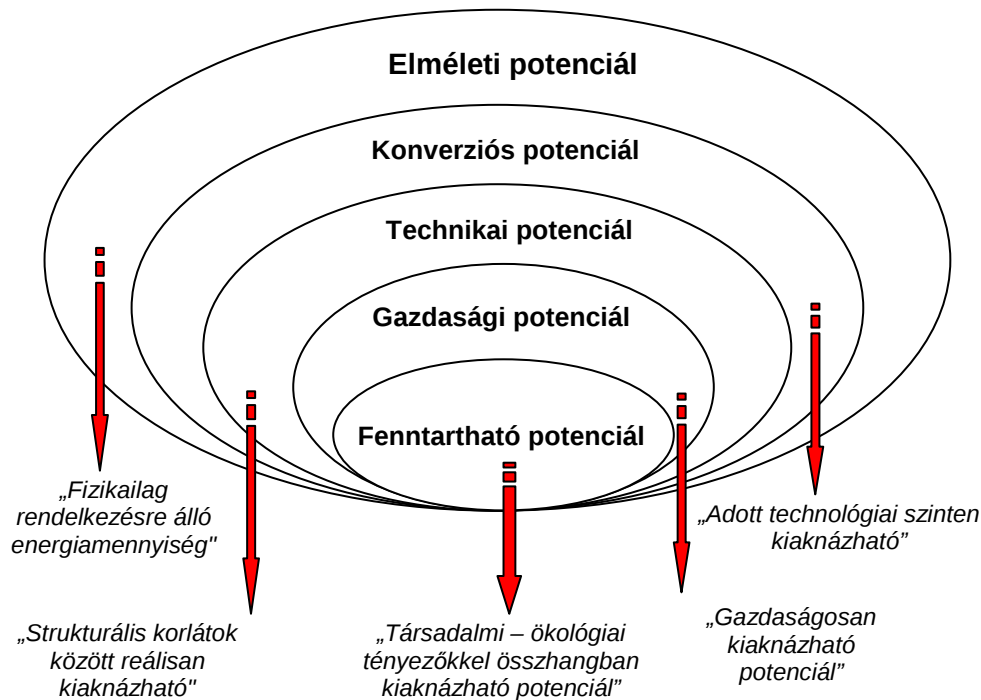
A Bevezetés fejezetben már indokoltam a biomassza potenciál felmérésének szerepét, jelentőségét, amihez nyilvánvalóan hozzátartozik a fogalom definiálása, a számítás, valamint a felhasználás módjának, lehetőségeinek meghatározása is. Az eredmények konkrét biogáz termelőési, metántartalom értékek, amikhez kapcsolódó javaslatokhoz szükséges ismertetni a különböző felhasználási feltételeket, határértékeket.

A biomassza valamely élettérben egy adott pillanatban jelen levő szerves anyagok és élőlények összessége. A biomassza mennyisége megadható az egyedek számában, tömegében, energiatartalmában stb.. A biomassza biológiai rendszerekben, az ökoszisztémában jön létre. Az ökoszisztéma a bioszféra részeként, olyan életközösségi rendszert alkot, melyben a biotóp (biotikus és abiotikus életfeltételek összessége – ökológiai környezet) és a biocönózis (állatok és növények közössége) együttes funkcionálása, dinamikus egysége meghatározott anyag- és energiaforgalom mellett valósul meg. [Láng I.,1985]. Attól függően, hogy az adott biomassza-féleség hol helyezkedik el a biomassza termelési-felhasználási láncban, megkülönböztetünk elsődleges, másodlagos és harmadlagos biomasszát. [Láng I.,1985]. Az elsődleges biomassza a természetes vegetációt – szántóföldi növények, erdő, rét, legelő, kertészeti növények, vízben élő növények – foglalja magába. Nagyságrendileg 50%-ot jelent a teljes biomasszán belül. Ennek 40%-a a dendromassza, míg a növényi fő- és melléktermékek 60%-ot tesznek ki. A másodlagos biomasszát az állatvilág, illetve az állattenyésztés fő- és melléktermékei, hulladékai alkotják. A harmadlagos biomassza magába foglalja a biológiai eredetű anyagokat felhasználó iparok (élelmiszer, takarmány, egyéb) termékeit, melléktermékeit, hulladékait, valamint a települések szerves hulladékait.

Dinya, 2008 szerint energetikai célra használható biomassza potenciálról beszélni (de ez igaz valamennyi megújuló energiaforrásra is!) csak akkor szabad, ha tisztázzuk, hogy a többféle lehetőség közül melyik potenciálra gondolunk. Ezek egymáshoz való viszonyát mutatja az 1. ábra. [Dinya, 2008] Köztük nagyságrendi különbségek vannak: például míg a globális elméleti bioenergetikai potenciál kb. hússzor nagyobb, mint a világ jelenlegi energiaigénye, a konverziós potenciál már csak kb. 40%-át teszi ki – és akkor még messze vagyunk a fenntartható potenciáltól.

Ezek szerint a szóba jöhető energetikai potenciálok:

|                                |                                                                       |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Elméleti potenciál:</b>     | Fizikailag rendelkezésre álló energiamennyiség.                       |
| <b>Konverziós potenciál:</b>   | Adott technológiai szinten kiaknázható potenciál.                     |
| <b>Technikai potenciál:</b>    | Strukturális korlátok között reálisan kiaknázható potenciál.          |
| <b>Gazdasági potenciál:</b>    | Gazdaságosan kiaknázható potenciál.                                   |
| <b>Fenntartható potenciál:</b> | Társadalmi – ökológiai tényezőkkel összhangban kiaknázható potenciál. |



1. ábra: Energetikai potenciálok

Forrás: Dinya, 2008

A növénytermesztésben és az erdészetben képződő melléktermékek – melyek teljes mennyisége átalakítható valamilyen formájú energiává – mellett egyre fontosabb szerepet játszik a kifejezetten energiatermelés céljából termesztett főtermékek – erdészeti és szántóföldi energianövények – előállítása is. Az állattenyésztésben és az élelmiszeriparban jellemzően csak a hulladékok és a melléktermékek vehetők számításba energiatermelésre. Az agrárgazdaságban képződő energetikai célra felhasználható alapanyagok mellett fontos és mennyiségében is jelentős forrását jelentik a biomasszának a kommunális és ipari melléktermékek és hulladékok [Bánhegyi, 1993].

A klasszikus megfogalmazás szerint mezőgazdasági tevékenység alatt olyan növénytermesztési és állattenyésztési tevékenységet értünk, amelynek során növényi és állati termékeket állítunk elő élelmiszerfogyasztás, takarmányozás valamint ipari feldolgozás céljából [Szabó, 2001]. A mezőgazdaság tehát nemcsak élelmiszereket és

élelmiszer-alapanyagokat, hanem egyéb nyersanyagokat – takarmány-alapanyagok, ipari- és energetikai nyersanyagok – is előállít, így nemcsak élelmiszeripari, hanem egyéb feldolgozó- és energiaipari tevékenységek számára biztosít alapanyagot [Ángyán, 1999].

Az előbbiekből is kitűnik, hogy az évente megtermelt és képződött biomassa – mely jelentős mennyiségű és gyakorlatilag kifogyhatatlan [Somogyvári, 2007] – sokféle hasznosítási lehetősége behatárolja energiaforrásként történő felhasználását [Bakos, 2004]. A mezőgazdaság fontos jellemzője, hogy – a kertészeti termelés néhány speciális esetétől eltekintve – szorosan és elválaszthatatlanul kötődik a termőföldhöz, valamint – elsősorban a növénytermesztés – jellegénél fogva jelentős mértékben ki van téve az éghajlati és időjárási viszonyoknak. A biomassa-potenciál (elsősorban a primer biomassa, a fitomassa produkció) szempontjából tehát kulcsfontosságú tényezőt jelentenek a talaj és éghajlati adottságok [Ángyán, J.; Menyhért, 1997].

## **1.2 Az energetikai célra hasznosítható biomassa potenciál meghatározása**

Biogáz kísérleteim eredményeinek értékeléséhez feltétlenül szükséges biomassa energetikai célra történő hasznosíthatóságának a kritériumait definiálni a fenntartható fejlődés szempontjait figyelembe véve, mivel ezek befolyásolják az egyes szóbaajhető, alkalmazandó technikai, technológiai megoldásokat.

A biomassa energetikai potenciálját kétféleképpen is értelmezhetjük. Az egyik értelmezés szerint a potenciál a biomassa fogalomkörébe tartozó különböző termékek energetikai hasznosságának, teljesítőképességének mértékét jelenti, míg a másik értelmezésben a potenciál egyfajta hasznosítható lehetőséget, azaz a biomassa energetikai célra történő felhasználásának lehetőségét jelenti.

A biomassa alapvetően 5 nemzetgazdasági szférából származhat. A *növénytermesztésben* és az *erdészetben* képződő melléktermékek teljes mennyisége átalakítható valamilyen formájú energiává, de egyre terjedőben van a speciálisan energetikai célú főtermékek előállítása is (energiaerdő, biodízel, bioetanol). Az *állattenyésztésben* csak a melléktermékek vehetők számításba, elsősorban biológiai elgázosításra, melynek hazánkban nem is annyira az energetikai, hanem inkább a környezetvédelmi (hígrágya-elhelyezés) és talajerő gazdálkodási (biotrágya) vonzata bírhat jelentőséggel. Az élelmiszeriparban - elsősorban a növényolaj-iparban - az igen jelentős saját energiafogyasztást csökkentheti az itt képződő melléktermékek energiává (pl. gőzzé)

alakítása. A kommunális és ipari hulladékok anaerob elgázosítása részben egy fejlettebb technológiai szinten teszi lehetővé ezen anyagok kezelését, részben pedig alkalmas a telepek saját villamos- és fűtőenergia-ellátásán kívül rendszerint fölös mennyiségben elektromos energia előállítására is [Bai, 2005b].

A mezőgazdasági termelés szerkezetét, főbb jellemzőit számos tényező befolyásolja. Ezek tényezők két csoportba sorolhatók: egyik részük a természeti adottságokból következik, másik részük a társadalmi és közgazdasági adottságokból fakad. Az előbbihez tartozik a domborzat, a klimatikus viszonyok, a talaj, a művelési ágak arányai, az utóbbihoz a termelés történelmi hagyományai, a tulajdonviszonyok, a munkaerő- és eszközellátottság, a termékek iránt térben differenciált kereslet, a piaci viszonyok [Pesti, 2009].

A biomassa energetikai hasznosításának tervezésekor elengedhetetlen a felhasználás indokainak, céljainak pontos meghatározása, hiszen ennek függvényében kell kialakítani a legmegfelelőbb termelési rendszereket. A biomassa energetikai felhasználásának egy nemzetgazdaságon belül sokféle indoka lehet [Kazai, 2008]:

- Üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése.
- Importfüggőség kiváltása – önellátás növelése.
- A mezőgazdasági termelés jövedelmezőképességének növelése, diverzifikálása.
- Exportbevételek növelése.
- A külföld nyersanyaggal való ellátása.
- Befektetői igények kielégítése.

Természetesen a fenti indokok, célok különböző súllyal szerepelhetnek egy stratégia megalkotásakor, a fenntarthatóság szempontjából mégis kijelölhetők azok az elvek, amelyek valamelyest predesztinálják a fenti célok rangsorát. Ezek szerint a biomassa energetikai felhasználása mindenekelőtt környezetvédelmi szempontból indokolt, amely mögött az üvegházhatású gázok (ÜHG) csökkentésének lehetősége áll [Cook, J., Beyea, J.: 2003]. Tehát nem célszerű olyan rendszerek kialakítása és működtetése, amelyek több ÜHG kibocsátással járnak, mint a felváltott rendszerek. Fontosak az energetikai függetlenség növelésére irányuló bioenergetikai fejlesztések, amelyek egyben az importkiadások csökkentésével és a külkereskedelmi mérleg javításával járhatnak együtt. Továbbá a vidéki népesség több lábon állását, energetikai függetlenedését, jövedelmének növelését és kiszámíthatóbbá tételét szolgáló fejlesztések növelhetik a vidék megtartó erejét.

**A biomassza energia célú előállításának, felhasználásának kritériumai a fenntartható fejlődés szempontjait figyelembe véve.**

Az energiacélú biomassza előállítás az alábbi kedvező hatásokkal járhat együtt [Bohóczky, 2010]:

- - környezetvédelmi hatás,
- - importfüggőség csökkentési,
- - vidék- és agrárfejlesztési,
- - fenntartható fejlődést segítő,
- - mezőgazdasági területek hasznosítását segítő,
- - helyi életkörülmény javító,
- - helyben maradást biztosító, stb.

A fő cél és a szinergiák együttes megvalósulásának általánosságban is megfogalmazható feltételei vannak. Ilyen a környezeti, társadalmi és gazdasági szempontból egyaránt fenntartható termelés és hasznosítás és az aktuális technológiai szinten megvalósítható legkedvezőbb energiahatékonyság. Ennek érdekében az egyes fenntarthatósági pillérek mentén a termelés és hasznosítás folyamatában az 1. táblázatban foglalt feltételeknek kell teljesülniük. A feltételek mindegyikének megvalósulása az aktuális politikai szabályozástól függ, nem valósul meg magától, vagy a piaci mechanizmusok hatására.

1. táblázat: A fenntartható termelés és felhasználás feltételei

|              | Környezeti feltételek                                                                                                                                 | Társadalmi feltételek                                                                                   | Gazdasági feltételek                                                                                                          |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Termelés     | Fenntartható termelés;<br>energiahatékonyság – termőhelyi körülményekhez illeszkedő növénymix és termeléstechológia;<br>Természetes élőhelyek védelme | Helyi közösségek igényeinek figyelembe vétele; Táj- és rekreációs igények szem előtt tartása            | Jövedelmezőség; Rugalmas termelési szerkezet; Hold-up problémák kezelése;<br>Piaci verseny biztosítása;<br>Méretgazdaságosság |
| Logisztika   | Szállítási szükséglet minimalizálása; a környezetet legkevésbé terhelő szállítási mód alkalmazása                                                     | A helyi közösségek mindennapjait legkevésbé zavaró szállítási mód megválasztása                         | Költséghatékony és biztonságos szállítás                                                                                      |
| Feldolgozás  | Az energiahatékonysági és környezetvédelmi szempontoknak leginkább megfelelő technológia                                                              | A helyi közösségek igényeinek figyelembe vétele az energia autonómia és munkahelyteremtés szempontjából | Jövedelmezőség;<br>Kapacitáskihasználás;<br>Méretgazdaságosság                                                                |
| Felhasználás | A környezeti elemeket és a természetes élőhelyeket legkevésbé terhelő és az energiahatékonysági szempontokat figyelembe vevő infrastruktúra           | Felhasználóbarát technológia; az energiatudatosságot erősítő használat                                  | Megfizethető technológiák.                                                                                                    |

Forrás: Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium: Klímapolitika, A biomassza energetikai alkalmazásának jövője, aktuális problémái 2007

### **1.3 A biomassza biogáz formájában történő energetikai hasznosítása**

A biogáztermeléshez, felhasználáshoz szükséges a biogázképződés folyamatának, energetikai, alkalmazástechnikai jellemzőinek ismerete, mivel tisztítás nélkül kis energiasűrűsége miatt elsősorban a termelődés helyén gazdaságos, biztonságos, fenntartható az úgynevezett decentralizált energiaeellátás.

#### *1.3.1. A biogáz képződése*

A biogáz körülöttünk gyakorta természetes körülmények között spontán módon, a legkülönbözőbb helyeken is keletkezik: a gleccserek belsejében, a mocsarak tömődött alján, a trágyakazlak belsejében, a szemétdépóniákban, a szarvasmarha bendőjében stb.. A biogáz különféle szerves anyagok, megújuló alapanyagok oxigéntől elzárt fermentációjának eredményeképpen mikrobiológiai folyamatokban keletkezik [Kissné 1983] [Braber, 1995]. A fermentáció kifejezést Pasteur vezette be azon mikrobiológiai reakciókra, amelyek során a képződő gázok olyan látszatot keltenek, mintha az anyag forrásban lenne (latin fermentare = forr, erjed, erjedésnek indul, erjedésben van). A biogáz lényegében a természetes szerves anyagokban szénvegyületek formában tárolódott napenergia egy részének közvetett átalakítása anaerob erjesztés révén gáznemű energiahordozóvá [Barta, 2003]. A biogáz gyártás időtartama meglehetősen tág határok között változhat, ezért a biogáz gyártástechnológiája alig tipizálható. Az első biogáz eljárás Humphrey Davy nevéhez fűződik, aki almos istállótrágyával végezte kísérleteit. [Olessák – Szabó, 1984.]

#### *1.3.2. A biogáz tulajdonságai*

A biogáz a földgázhoz hasonló, rendkívül sokoldalúan felhasználható gázhalmazállapotú anyag. Az energiatermelő egység megválasztásánál alapvető követelmény, hogy a rendelkezésre álló biogáz hasznosítása jó energetikai hatásfokkal valósuljon meg [Fenyvesi – Mátyás 2001]. A biogáz a földgázhoz képest eltérő tüzeléstechnikai és összetételbeli sajátosságokkal rendelkezik (2. táblázat), ezért a földgáztüzeléshez képest eltérő feltételrendszert kíván.

2. táblázat: A biogáz tulajdonságai

| <i>tulajdonság</i>             | <i>biogáz</i><br>[~60 % CH <sub>4</sub> /~40 % CO <sub>2</sub> ] | <i>földgáz</i><br>[~96 % CH <sub>4</sub> /~1 % CO <sub>2</sub> ] |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| fűtőérték [MJ/m <sup>3</sup> ] | 21,5                                                             | 34                                                               |
| gyulladási hőmérséklet [ °C]   | 650 ... 750                                                      | 700                                                              |
| normálsűrűség [g/l]            | 1,20                                                             | 0,76                                                             |
| relatív sűrűség [g/l]          | 0,83                                                             | 0,62                                                             |
| kritikus nyomás [bar]          | 75 ... 89                                                        | 80                                                               |
| oktánszám                      | 105 ... 120                                                      | 110                                                              |
| lángsebesség [m/s]             | 0,43                                                             | 0,34                                                             |

Forrás: Kapros, 2009.

A számunkra hasznosítható energiamennyiség alapvetően két tényezőtől függ, egyrészt az egységnyi biomassa mennyiségből kinyerhető, hasznosítható tüzelőanyag féleség mennyiségétől és összetételétől, másrészt az energia átalakító berendezés hatásfokától. A 3. táblázat a biogázban előforduló gázféleségeket és azok előfordulási arányát mutatja. 1 m<sup>3</sup> biogáz hőenergiája (21,5-22,6 MJ/m<sup>3</sup>) tisztítás nélkül megközelítőleg 0,5 liter tüzelő olajat, 1 kg feketeszenet, vagy 0,66 m<sup>3</sup> földgázt képes helyettesíteni. Tisztítás után a földgázzal gyakorlatilag megegyező fűtőértéket képvisel, mely elvileg – megfelelő szerződés, illetve törvényi szabályozás esetén – az országos (vagy helyi) földgázvezetéken keresztül is értékesíthető lenne [Gémesi, 2009]. Az értékesítés másik lehetősége a biogáz komprimálásával nagyobb fűtőérték elérése és ennek a gépkocsi-motorokban történő felhasználása. 4 bar nyomás eléréséhez mintegy 130 MJ/m<sup>3</sup> energiabefektetés szükséges, ugyanakkor a sűrített gáz fűtőértéke (1200 MJ/m<sup>3</sup>) még mindig jóval alacsonyabb a könnyebben összenyomható földgáznál és PB gáznál. Tisztítás nélküli hőenergia előállítás esetén problémát jelenthet viszont az évszakonként ingadozó kereslet, amelyet még tetézik az, hogy az alacsonyabb gépesítettségű üzemeknél a külső hőmérséklet emelkedése a biogáz termelés növekedésével jár.

3. táblázat: A biogáz összetétele

| <b><i>gázfélések<br/>biogázban</i></b> | <b><i>a</i></b> | <b><i>max.</i><br/>[%]</b> | <b><i>min.</i><br/>[%]</b> | <b><i>átlagosan</i><br/>[%]</b>                           |
|----------------------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------|
| $CH_4$                                 |                 | 70                         | 55                         | 66                                                        |
| $CO_2$                                 |                 | 44                         | 27                         | 31                                                        |
| $O_2$                                  | 1               |                            | -                          | egyéb energetikailag<br>használatlan gázok<br>összesen: 3 |
| $N_2$                                  | 1               |                            | 0,1                        |                                                           |
| $H_2S$                                 | 2               |                            | -                          |                                                           |

[Kacz – Neményi, 1998.]; [Jensen – Jensen, 2005.]

Az  $NH_3$  megengedett koncentrációja 100 ppm,  $H_2S$  megengedett koncentrációja 500 ppm a nyers biogázban.

### 1.3.3. A biogáz előállítás biokémiai folyamatai

Az anaerob fermentáció a metánbaktériumok életműködése. A metanogén baktériumokat tekinthetjük a Föld legősibb baktériumainak, csak ott fejtik ki tevékenységüket, ahol oxigén már nincs jelen. [Galler, 1993.] Termelésük határfoka, gyorsasága, eredménye attól függ, hogy mennyiben sikerül e baktériumok számára kedvező életfeltételeket teremtenünk. [Kissné, 1983.] A metánbaktériumok heterotrof növények, szénszükségletüket szerves anyagból fedezik. Tápanyagszállításuk ozmózissal megy végbe, mivel a sejtnedv általában nagyobb koncentrációjú, mint a környezet. Sejtmembránjaik pórusain át a víz és az oldott tápanyagok a sejtek belsejébe juthatnak, a disszimiláció végtermékei pedig kiléphetnek. [Kaltwasser, 1983.]

A 4. táblázatban a biogáz képződésben szerepet játszó összetett szerves vegyületek lebontási útvonalait mutatom be.

A természetben élő különböző baktérium törzsek egy csoportja az oldhatatlan, nagy molekulájú szerves vegyületeket hasznosítja, egyszerűbb, oldható vegyületekké bontja [Alexander 1985]. A mikrobák más csoportjai ezeket a vegyületeket anyagcsere folyamataik során tovább alakítják egyéb intermedierekké, melyek további baktérium törzsek számára szolgálnak tápanyag forrásként.

A lebontás egyes lépései közben a molekulákban tárolt kötések felbontása révén energia szabadul fel, mely a mikrobák növekedésekor, szaporodásakor hasznosul, miközben a molekulák egyre kisebb és egyre inkább redukált formába kerülnek. Az egyes törzsek egy úgynevezett anaerob lebontási láncba szerveződnek, mely egy igen komplex struktúra [Gottschalk 1979]. Az anaerob fermentorokban a metán a legkisebb és legredukáltabb szerves komponens.

4. táblázat: A fermentáció mikrobiológiai összefoglalása

| <i>Kiindulási anyag</i>                | <i>Folyamatszaksz</i>  | <i>Végtermék</i>                   |
|----------------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| komplex szénhidrátok                   | <b>hidrolízis</b>      | egyszerű cukrok                    |
| komplex lipidek                        |                        | zsírsavak                          |
| komplex fehérjék                       |                        | aminosavak                         |
| egyszerű cukrok, zsírsavak, aminosavak | <b>savképződés</b>     | szerves savak (ecetsav), alkoholok |
| szerves savak, alkoholok               | <b>acetát képződés</b> | ecetsav, hidrogén, szén-dioxid     |
|                                        | <b>metanogenezis:</b>  |                                    |
| ecetsav                                | acetotróf              | metán, széndioxid                  |
| hidrogén, szén-dioxid                  | hidrogenotróf          | metán                              |
| metanol                                | metilotróf             | metán, víz                         |

*Forrás: Bagi, 2008, Öllös, 1991; Börjesson és Mattiasson, 2007; Dueblein és Steinhauser, 2008; Pereira, 2009*

#### *Hidrolízis*

A lebontásnak ebben az első fázisában a nagy szénatom számú anyagok, szénhidrátok, fehérjék és zsírok, az exoenzimiek által alacsony szénatomszámú molekulákká, vízben oldódó töredékrészekre bontása történik.

Az anaerob fermentáció során a szubsztrát biomassa lebontásának négy lépését különítjük el, melyek a hidrolízis, a savképző szakasz, az acetát képződés, valamint a metanogenezis (4. táblázat)

#### *Savképző szakasz (acidogenezis)*

A savképző szakaszban a hidrolízis eredményeként keletkező vízoldékony komponensek további degradációja történik fakultatív anaerob és anaerob törzsek segítségével [Zehnder 1988]. A folyamat során szén-dioxid, hidrogén, alkoholok, szerves savak, nitrogén tartalmú vegyületek, valamint kéntartalmú komponensek keletkeznek [Schulz et al., 1982; Graf, 1999; Ottow, 1997]. Az ecetsav fordul elő legnagyobb mennyiségben a szerves savak közül. A széndioxid és a hidrogén közvetlenül ecetsavvá és metánná konvertálódik [Bitton, 1994; Klein és Winter, 2000; Helmeczi, 2005]. A nitrogén és kéntartalmú vegyületek megjelenése a fehérjék

lebontásának köszönhető. Egyes szerves savak (ecetsav, hangyasav), alkoholok (metanol) és nitrogéntartalmú komponensek (metilamin) azok, melyek közvetlenül felhasználhatóak a metanogén mikrobák számára, míg mások indirekt módon hasznosulnak (etanol, vajsav, propionsav).

#### *Acetátképződés (acetogenezis)*

Az acetogén mikroorganizmusok (acetátképzők) a savképződés és metánképződés összekötő kapcsaként szerepelnek. A savképző mikroorganizmusok anyagcsere termékeit az acetogén mikroorganizmusok metanogén úton hasznosítható anyagokká alakítják át, mint pl. ecetsav, hidrogénkarbonát, hidrogén és szén-dioxid [Bagi 2008]. Ebben a szakaszban a mikroorganizmusoknak a reakció kinetikája és a hidrogén, mint kiválasztási termékük gátló hatásának elkerülése miatt a metanogén mikrobáknak szimbiózisban kell élniük, ezért biztosítani kell az acetogén és metanogén fázis mikroorganizmusainak térbeli közelségét. Így a szubsztrát folyamatos keverése szükségtelen, csak az esetleges záróréteg – képződés megakadályozása és az egyenletes hőeloszlás érdekében építenek be keverő berendezéseket [Bagi Z 2007]. Ezekben a reakciókban képződnek az anaerob lebontás utolsó lépéséhez, a metanogén fázishoz szükséges kiindulási anyagok.

#### *Metanogenezis*

A metanogenezis szakaszban metán keletkezik főként ecetsavból, szén-dioxidból és hidrogénből [Zeikus 1977]. Ameddig a metanogén és acetogén törzsek sejtszáma egyensúlyban van a fermentorban, addig a szerves savak megfelelően lebomlanak a rendszerben, melyet az enyhén lúgos pH jelez, amit a nitrogéntartalmú komponensekből felszabaduló ammónia okoz. Az ammónia reakcióba lép a vízzel, ez ammóniumot eredményez, mely lúgos pH-t okoz [Alexander 1985].

A metanogén mikrobák energiaszükségletüket viszonylag egyszerű felépítésű szerves vegyületek lebontásából fedezik. Ezen szubsztrátok egy (hangyasav, metanol, szén-dioxid, szénmonoxid, metilamin), vagy két szénatomosak (ecetsav). Az anaerob fermentorban keletkező metán túlnyomó többsége az ecetsav és a hidrogén felhasználása során keletkezik. Az ecetsav hasítása, valamint a szén-dioxid redukciója eredményeként metán szabadul fel [Zeikus 1977, Reeve 1992].

A propionsav és vajsav fermentációja jóval kevésbé jellemző. A propionsav lebontása két lépésben valósul meg, melyhez két mikroba törzsre van szükség. Az első lépésben a

propionsav hasítása eredményeként metán és ecetsav keletkezik egy szerves savképző törzs és egy metanogén törzs segítségével, majd a második lépésben történik az ecetsav hasítása. A reakció csak akkor megy végbe, ha a hidrogén és hangyasav koncentráció alacsony a közegben, vagyis a metanogén törzsek megfelelően működnek. A propionsav tehát egy kiváló indikátor molekula, ha mennyisége nő az anaerob fermentorban az azt jelenti, hogy stressz érte a mikrobiális rendszert, várható a biogáz fermentáció csökkenése [Zeikus 1977].

A vajsav lebontása szintén két lépésben valósul meg, melyhez szintén két mikroba törzsre van szükség. A vajsav is indikátor molekula, megjelenése nagy mennyiségben a fermentáció nem megfelelő állapotára utal [Zeikus 1977].

Az egyes metanogén törzsek nem képesek az összes szubsztrát típus lebontására, éppen ezért az anaerob fermentorban szükség van számos törzsre a megfelelő biomassa lebontás elérése érdekében. Szubsztrátspecifitás szempontjából három fő csoportot lehet megkülönböztetni: hidrogenotróf metanogének, acetotróf metanogének és metilotróf metanogének [Shima, Warkentin, et al. 2002]

#### *1.3.4. A komplex szerves vegyületek lebontásának összefoglalása*

A zsírok lebontásának eredményeként a keletkező biogázban a metán és szén-dioxid aránya kb. 2:1, míg a fehérjék esetében ez az arány 3:1. Magas fehérjetartalmú szubsztrát alkalmazásakor tehát a biogáz metán tartalma magasabb, azonban a biomassa tömegéhez képest nagy részarányban nem célszerű alkalmazni, ugyanis ekkor számos nitrogén tartalmú intermedier, illetve végtermék (pl. ammónia) jelenik meg, mely a mikrobiális egyensúlyra károsan hat [Zehnder 1988].

A biogáz tehát a mikrobiális fermentáció végterméke (a metánbaktériumok anyagcsereterméke). Keverék, amely döntően metángázból és széndioxidból, valamint kis mennyiségű hidrogénből és kénhidrogénből áll. Energiatartalma a metángáz mennyiségéből határozható meg. [Kaltwasser, 1983.]; [Schulz – Eder, 2005.] A metán a legegyszerűbb telített szénhidrogén, színtelen, szagtalan, nem mérgező gáz. A levegőben elég, egy térfogategység metán elégetéséhez két térfogategység oxigénre van szükség.

A metanogének a rendszer legkényesebb és leglassabban szaporodó komponensei, az egész reakciósor sebességét meghatározó elemek. Ha számukra kedvező körülményeket tudunk biztosítani, azt megnövekedett biogáz termelés formájában hálálják meg [I<sub>1</sub>]. A lebomlási folyamatban azonban más mikroorganizmusok vesznek részt, mint az

adalékolatlan lebomlásnál, ezért a lebomlást intenzifikáló baktériumtenyészet analizálása és elszaporítása a biogáz üzemek gazdaságos üzemeltetése szempontjából mindenképp kívánatos. [Ross – Drake – Walsh, 1996.]

A szénhidrátok, fehérjék, és a zsírok [Bánhegyi, 1993] szerint tekinthetők a biogáz termelődés tekintetében meghatározóknak. Az Mézes, 2011 alapján az 5. táblázat mutatja be a komplex szerves vegyületekből elméletileg nyerhető biogáz mennyiségét, összetételét különböző forrásokból, százalékos arányban és szerves anyagra vonatkoztatva.

5. táblázat: Különböző szerves vegyületek elméleti biogáz hozama és a gáz metántartalma

| Megnevezés   | metán-tart. | biogáz-hozam      | metán-tart.                                              | biogáz-hozam      | metán-tart.                          | biogáz-hozam      | metán-tart.      | biogáz-hozam      | metán-tart.        | biogáz-hozam      |
|--------------|-------------|-------------------|----------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
|              | %           | l/kg szerv. anyag | %                                                        | l/kg szerv. anyag | %                                    | l/kg szerv. anyag | %                | l/kg szerv. anyag | %                  | l/kg szerv. anyag |
| Szénhidrátok | 50          | 900               | 50                                                       | 886               | 50                                   | 790               | 50               | 750               | 50                 | 750               |
| Nyerszsír    | 67          | 1700              | 70                                                       | 1535              | 68                                   | 250               | 72               | 1390              | 68                 | 1250              |
| Nyersfehérje | 70          | 700               | 84                                                       | 587               | 71                                   | 700               | 60               | 800               | 71                 | 700               |
| Forrás:      | Alexa, 2008 |                   | Hawkes, D. L. Polytechnic of Wales, 1980 in Kissné, 1983 |                   | Gruber, 2007, Kleemann és Meli, 1993 |                   | VDI, 2006 nyomán |                   | Fuchs et al., 2009 |                   |

Mézes, 2011

### 1.3.5. A biogáz előállítás jelentősége

A biogáz üzemekben tehát feldolgozhatjuk mindazokat a szerves hulladékokat, amelyek másként energetikai célra nem hasznosíthatók, ugyanakkor a környezetükbe elhelyezve számos környezetvédelmi és egészségügyi problémát okoznának [Scheer, 1991]. A biogáz előállításánál ezeknek az anyagoknak biológiai úton történő fermentációjával az energiatermelés mellett ártalmatlanításukra is sor kerül, méghozzá anélkül, hogy az értékes szerves anyag megsemmisülne. A lebontás után visszamaradó anyag biotrágyaként tápanyag visszaforgatásra jól felhasználható, ezzel kiválthatjuk a környezetterhelést jelentő műtrágya felhasználás jelentős részét. A felhasználható alapanyagok többsége tulajdonképpen veszélyes hulladéknak számít, így olyan anyagokból is hasznos terméket (biogáz, biotrágya) állíthatunk elő, melyek egyébként nagyon magas költséggel lennének kezelhetők, illetve megsemmisíthetők. A biogáz

tehát egy olyan megújuló energiaforrás, melynél a környezetvédelem és az energiatermelés hatékonyan összekapcsolódik [Wellinger, A. et al, 1991]. Ilyen módon a biogáz termelés az állati trágyák, illetve az alkohol előállítási hulladékok kezelésének és hasznosításának egyik formája lehet. A kinyerhető biogáznak köszönhetően a sertéshígtrágya, illetve a szeszfeldolgozási hulladék már nem potenciális koncentrált környezetszennyező veszélyforrásként, hanem biomasszaként jelennek meg [Grasselli, G. 2004]. A különböző megjelenési formájú (folyékony, félnedves, nedves) melléktermékek és hulladékok legelőnyösebb kezelési, újrahasznosítási eljárásának a metanogén kezelés tekinthető, mert az anaerob lebontás nagymértékben csírátlanítja a fertőző környezetterhelő hulladékokat, ezzel egyidejűleg értékes végtermékké (metángáz és komposzt) alakítja [Szekeres L., Lőrincz J., 1961].

A biogáz megítélésének egy másik aspektusa a talajerő fenntartásának szerves anyag szükséglete. Egy természetes ökoszisztémára jellemző a szerves anyag felhalmozódásának és lebomlásának dinamikus egyensúlya. Az ember által befolyásolt ökológiai rendszerekben is akkor biztosítható a természet károsodása nélkül ez a dinamikus egyensúly, ha megteremtjük és fenntartjuk a talaj szerves anyagának megőrzéséhez, szükséges utánpótlásához és azok célszerű lebontásához nélkülözhetetlen feltételeket [Tóth, 2000]. A biogáz termelés során energiatermelés és a talajerő-fenntartás szerves anyag szükséglete egyaránt biztosítható [Makádi et al 2008].

Az előző tények a biogáz energetikai célú előállítását gazdaságilag és környezetvédelmileg is indokolják Magyarországon, hiszen a biogáz előállítás (az anaerob lebontás) a hulladékártalmatlanítás biológiai módszereinek egyike. A különféle biogáz technológiák megvalósulásának színterei a biogáz üzemek. Az utóbbi években számos projekt keretében épültek biogáz erőművek hazánkban. Különböző mezőgazdasági és egyéb szerves hulladékokra alapozva létesültek üzemek a következő helyszíneken: Nyírbátor, Pálhalma, Kaposszekcső, Kaposvár, Kecskemét, Klárafalva, Szarvas, Kenderes-Bánhalma, Csengersima, Dömsöd, Kapuvár és Szeged stb. Ezek a mezőgazdasági biogáz üzemek mezőgazdasági melléktermékek, hulladékok feldolgozását, ártalmatlanítását végzik. A termelt biogázt – egy üzem kivételével - a kiserőművi egységbe vezetik be, ahol villamos energiává alakul, ami utána a kötelező átvételi rendszer keretében az országos hálózatra kerül betáplálásra.

[Réczey, 2007] alapján hazai viszonyok között a biogáz előállítás ott lehet megtérülő, ahol:

- nagyüzemi állattenyésztés biztosít lehetőleg szállítás nélkül fermentálható trágya alapot,
- van a közelben nagyobb település, ahol még nem megoldott a környezetre káros szerves hulladék elhelyezése, vagy olyan ipar, melynek szerves hulladéka kármentesíthető,
- a biotrágya elhelyezése is megoldható mezőgazdasági területen,
- stabil, hitelképes, jövedelmező beruházás.

#### 1.3.6. A biogáz kinyerés feltételrendszere

Biogáz meghatározott körülmények között keletkezik. Előállítására mégis számos eljárás, több tucat technológiai változat, több száz szabadalom stb. alkalmazható. Követelmény a metanogén baktériumok jelenléte, melyek csak oxigénmentes környezetben létezhetnek. A biogáz gyártás alapmodellje az a folyamat, amely a szarvasmarha bendőjében zajlik.

A biodegradációs folyamatok feltételrendszere a következő [Mézes, 2011]:

- levegőtől (oxigéntől) elzárt körülmények, [Graf, 1999; Schulz et al., 1982]
- a lebontandó szerves anyagok, [Van der Berg és Kennedy, 1983; Kovács és Bagi, 2007; Yadvika et al., 2004]
- a szerves anyag – folyadék megfelelő aránya, [Bagi, 2007; Deublein, 2008]
- a mikroorganizmusok kívánatos törzsei,
- a biológiailag meghatározott, optimális hőmérséklet,
- a rövid időtartamú lebontás céljából történő állandó keverés [Freeman – Pyle, 1977]; [Kissné, 1983]. Ez a kitétel azóta módosult a baktériumkonzorciumok állandó kapcsolódásának érdekében.
- a beadagolt szubsztrát alkotó elemeinek megfelelő aránya:
  - C/N arány: 20-30:1, [Karpenstein-Machen, 2005; Parkin és Owen, 1986; Malik et al., 1995; Bardiya és Gaur, 1997]
  - C/N/P nem hidrolizált anyag esetében: 80-250:5:1, [Fuchs et al., 2009]
  - C/N/P illó zsírsavak: 330:5:1 [Fuchs et al., 2009]
  - C/N/P/S arány: 500:15:5:3, [Deublein, 2008]
  - C/N/P/S arány: 600:15:5:1 [Weiland, 2001]
- megfelelő keverés biztosítása, minél nagyobb felület a baktériumok számára [Angelidaki és Sanders, 2004; Kárpáti, 2002].

- kémhatás:
  - 6,5-7,5 [Deublein, 2008],
  - 6,5-8,1 [Graf, 1999],
  - 6,5–8,5, [Bánhegyi, 1993; Bagi, 2007],
  - 7-7,6 [Kaltwasser, 1983]
  - 7-8,5 [Bai, 2007]

A biogáz keletkezése elméletileg +4 .... +98 °C között lehetséges. Természetesen minden hőmérsékleti tartományban a metanogén baktériumok más-más törzse tevékenykedik. A különböző technikai szintet jelentő biogáztelepeken a szokásos lebontási hőmérsékletek alapján zónákra oszthatjuk a lebontási tartományt, úgymint

- pszichrofil zóna, azaz a környezeti hőmérséklet,
- mezofil zóna, azaz a +30 ... +37 °C hőmérséklet tartomány, [Kaltwasser, 1983; Bánhegyi, 1993]
- termofil zóna, azaz +48 .... +53 °C hőmérséklet tartomány [Deublein, 2008].

A biogáz előállításal a természetben folyó spontán biogáz képződést utánozni, sőt uralni is lehet. [Kissné, 1983.] Ha a biogáz-berendezésekben a fermentálandó anyag elsavanyodik, azaz a savbontó baktériumok túlsúlyba kerülnek, leáll a metánképződés folyamata. A zavartalan fermentáció helyreállítható, újabb szerves anyagok adagolásával kell korrigálnunk a különböző baktériumtörzsek arányát. A biomassza-erjesztési eljárás során a nyersanyag jellemzőinek megfelelően két egymással egyenrangú termék keletkezik [Szendrei, 2005] és [Sántha, 1991]. Az energia mellett olyan szerves anyag marad vissza, mely jó minőségű, minden értékes ásványi anyagot megőriz, biotrágyaként hasznosítható [Sántha, 1996], [Bíró - Pacsuta, 2002] és [Szegi, 1967]. A kiejert maradék kórokozó mikroorganizmusokat nem tartalmaz, szaga a komposztéhoz hasonló (nem kellemetlen), állaga laza, könnyen kezelhető, a talajra juttatva könnyen beszívódik, nitrogén-tartalma jól érvényesül, tehát trágyaként alkalmazható. A biotrágya, mint termék fontos tényező a biogáz gazdaságossági megítélésében. A biogáztermelés során az energiatermelés és a talajerő-fenntartás szerves anyag szükséglete egyaránt biztosítható. [Barótfi-Kocsis, 1998.]

### 1.3.7. A biogáztermelés technológiája:

A gyakorlatban alkalmazott biogáz előállítási technológiák sokfélék. A legmegfelelőbben alkalmazható biogáz előállítást a helyi lehetőségek és adottságok összessége, valamint a keletkező, illetve a rendelkezésre álló szerves anyagok mennyiségi és minőségi jellemzői határozzák meg.

Működési mód szerint háromféle technológia különíthető el: a folyamatos (az alapanyag folyamatos ki- és betárolása), a Batch-eljárás (szakaszos ki- és betárolás) és ezek kombinációja. Az alapanyag szárazanyag tartalma szerint megkülönböztethetjük a „száraz” (50 % sz.a.), a „félszáraz” (20-40 % sz.a.) és a „nedves” (1-20 % sz.a.) eljárást.

#### **Ökonómiailag az alábbi előnyökkel járhat az alkalmazásuk:**

*folyamatos eljárás (hígtrágya, szennyvíz):*

kisebb energiavesztés a fermentor fűtésénél, az érkező, ill. távozó szubsztrát hővisszanyerős kezelésével,  
egyszerű, teljesen automatizálható hidraulikus ürítés, töltés.

*szakaszos eljárás (almos trágya):*

nagyobb fajlagos gázkihozatal,

könnyen kezelhető és értékesebb szilárd biotrágya.

Ma a biogáz-termelés legnagyobb potenciális nyersanyagbázisát a folyékony és iszapszerű hulladékok alkotják, ugyanakkor pontosan ezeknek az anyagoknak van legkevésbé megoldva a környezetvédelmi szempontokat is kielégítő elhelyezése. Így a biogáz-előállító létesítmények telepítésénél a folyékony és iszapszerű hulladékok keletkezési helyét (állattartó telepek, élelmiszeripari üzemek, szennyvíztisztító telepek) kell alapul venni.

Ezt indokolja az a tény is, hogy a legkiforrottabb biogáz-termelő eljárások a viszonylag nagy nedvességtartalmú folyékony (85-92 %) és félszáraz (75-85 %) alapanyagok erjesztésére alakultak ki. Mindkét technológiánál a hígtrágya, szennyvíziszap stb. képezheti az alapanyag bázisát és a szilárd komponensek (hulladékok, melléktermékek, mg-i főtermékek stb.) elsősorban keverőanyagként kerülnek a folyamatba. A fő tömeget a folyékony, iszapszerű hulladékok alkotják, amelyek azonban átlagosan 2-4 % szárazanyag-tartalommal rendelkeztek. A kis szárazanyag-tartalmú alapanyagok felhasználása gazdaságossági szempontból nem előnyös (nagy tömeget kell melegíteni) ezért célszerű szilárd komponensekkel (pl. szilárd hulladékok, melléktermékek) keverni. Így elérhető az optimális szárazanyag tartalom, és a szilárd hulladék is biogáz forrásként hasznosul. A megfelelő nedvességtartalmat tehát olyan hulladék-anyagok bekeverésével

célszerű beállítani, amelyek a biogáztermelés alapanyagának, a kevert, betáplált masszának biztosítják a 20-30:1 C:N arányt, és a fermentatív mikroszervezetek üzemi körülmények között le tudják bontani, metánképzésre alkalmassá tudják tenni. (A szalma C:N aránya 100:1 körül van, a háztartási szemété 40:1 körüli. A mezőgazdasági melléktermékekkel (pl. szalma, kukoricaszár) való bekeverést több technológia javasolja, főleg a hígtrágyák erjesztéséhez. Ezzel kapcsolatban célszerű meggondolni, hogy a nagy cellulóztartalmú hulladékokban levő cellulóz lebontását végző *Clostridium cellulosolvens* működése 65°C körül optimális, amit csak a termofil eljárás biztosít. Az erjesztendő massa C:N arányát szélesíti, ami bizonyos mértékig előnyös lehet, de túlzottan tág C:N arány sokkal hátrányosabb, mint a szűk arány. Ugyanakkor azt is figyelembe kell venni, hogy pl. a szalma közvetlen eltüzelésével kétszer annyi energiához lehet jutni, mint biogáz előállítás és hasznosítás révén. Így a szilárd energiahordozóként is számba vehető mezőgazdasági melléktermékeket csak a szükséges esetben és mértékben célszerű bekeverni.

#### 1.3.8. A biogáz energetikai hasznosítása

A biogáz energetikai hasznosítása, illetve semlegesítése az alábbiak szerint történhet a metántartalom függvényében:

Gázmotoros hasznosítás:  $\text{CH}_4 > 45\%$

Gázfáklyás égetés:  $\text{CH}_4 > 25\%$

Biofilter:  $\text{CH}_4 < 4\%$

Nem katalitikus oxidáció:  $1,5\% < \text{CH}_4 < \sim 30\%$

Az oxidáció 1,5 % alatt is lehetséges támasztó gáz hozzákeverése mellett.

Tekintetbe véve, hogy a metán ÜHG gázként huszonegyszeres hatású a széndioxidhoz viszonyítva, bárhol, bármilyen koncentrációban fordul is elő, környezetvédelmi szempontból semlegesíteni, oxidálni kell.

A biogáz hasznosításának általános lehetőségei:

- Hőtermelés
- Villamos energiatermelés
- Kapcsolt energiatermelés, villamos energia és hő együttes előállítása
- $\text{CO}_2$  értékesítés
- Gáztisztítás, értékesítés
- Tüzelőanyag cella

A megfelelő megoldásról mindig a helyi adottságok és a gazdaságosság alapján kell dönteni [Hódi, 2008.]

### *1.3.9. A biogáz tüzeléstechnikai sajátosságai*

Az energetika összetett rendszer. Ennél fogva az energetikai átalakulás rendszerszemléletű gondolkodást kíván. A biogáz előállítása és tüzeléstechnikai alkalmazása egyike a fosszilis energiahordozók részbeni kiváltására szolgáló, megalapozott műszaki háttérrel rendelkező megoldásnak. A biogáz potenciálisan szinte mindenütt rendelkezésre álló energiahordozó. Előállítási költsége európai viszonylatban 3–6 eurocent/kWh nagyságrendet képvisel, így a mennyiségi korlátok figyelembevételével reálisan tekinthető a földgáz alternatívájának. A tisztításnak, dúsításnak ugyanakkor jelentős költségvonzata van. Az EU átlagszámai szerint ez az üzem kapacitásától függően 1,5–4 eurocent/kWh értékre becsülhető. Hálózatba táplálás esetén a költségek még tovább nőhetnek (kompresszor alkalmazása, járulékos minőségellenőrzési műveletek). A gázelőkészítés technológiai elemei és változatai ismertek. Az kiválasztandó technológia a biogáz előállításához felhasznált szubsztrát függvénye.

A beruházási és fenntartási költségek vonatkozásában jelentős különbségek vannak, továbbá fontos mérlegelési szempont a képződő nyersgáz volumene. A Fraunhofer Institut (2009) tanulmánya szerint a tisztítás fajlagos költségei vonatkozásában >2 eurocent/kWh különbség van a kisüzemek (200 Nm<sup>3</sup>/ó) és az >1000 Nm<sup>3</sup>/ó kapacitású üzemek esetében. Tekintettel arra, hogy a hazai állattartó telepek mellett telepített biogáz üzemek az 1 MW alatti villamos teljesítményű üzemméret kategóriába eshetnek (250-350 Nm<sup>3</sup>/ó), a tisztítás beruházási költségei relatíve magasabbak. Ezért különös figyelmet kell fordítani a megfelelő, költséghatékony technológia kiválasztására. Mindezek figyelembevételével a tisztítatlan, ún. nyers biogáz közvetlen eltüzelése továbbra is elterjedten alkalmazott műszaki megoldás. A 30 %-nál alacsonyabb metántartalommal a biogáz már stabil tüzelésre nem alkalmas (Fogarassy, et al. 2008). Amennyiben a biogáz metántartalma 50-65 % között van, abban az esetben jól használható gázégőkben önállóan vagy földgázzal keverve.

A biogáz összetétele az alapanyag és az előállítási technológia függvényében tág határok között változik. A tüzeléstechnikai alkalmazás szempontjából meghatározó metántartalom estenként a 40% értéket sem éri el, más esetekben a 70%-t is meghaladja. A kiinduló anyag sajátosságaiból adódóan a gázelegyben korrozív, ill. toxikus hatású agresszív komponensek is megjelennek [Kerek – Bodnár, 1992]. A biogáz-tüzelésre

gyakorolt hatásuk értékelésénél a korrozív hatás a gázellátásnál, a tüzelőberendezésnél és a füstgázelvezető-rendszerénél egyaránt jelentkezhet. Szükséges a biogáz nedvességtartalmának csökkentése a kezeletlen (nyers) állapotban történő közvetlen felhasználás esetén is. A cseppfolyós állapotban jelenlevő víz is fejt ki eróziós hatást. Csökkenti a földgáztüzeléshez képest egyébként is alacsonyabb láng hőmérsékletet, és reagálva a biogáz aktív komponenseivel savkorrozíót idéz elő még a tüzelési zóna előtti szakaszon is. A gáz harmatpontját célszerű a jellemző téli hőmérséklet alá csökkenteni. A fenti két szennyeződés mértéke a biogáz előzetes kezelésével viszonylag egyszerűen csökkenthető egy elfogadható szint alá. A biogáz kénhidrogén-tartalma az égési folyamatban  $\text{SO}_x$  vegyületté oxidálódik, és az elkerülhetetlenül jelenlevő vízgőzzel reagálva kénes, ill. kénsavat képez. A korrozíós hatás csökkentése érdekében öntöttvas, korrozíóálló acél, ill. a kéményeknél műanyag védőcső alkalmazása ajánlott. A távozó füstgáz hőmérsékletének harmatpont feletti értéken tartása ugyancsak csökkenti a korrozíós veszélyt – de egyben a berendezés hatásfokát is. A biogázok jellegzetes szennyezője a sziloxan. A szilikát alapú származék magas hőmérsékleten üveges lerakódást képez a tüzelőkamra felületén [1. kép]. A nagysebességű áramlás hatására ebből rétegdarabok válhatnak le, ami gázmotorok esetében azok tönkremenetelét eredményezhetik. A nyers gáznak kazánban (kemencében) történő eltüzelése esetén a lerakódás hatásfok csökkenést eredményezhet, de a fenti káros eróziós hatás lényegesen kisebb.



1. kép: Lerakódások a kiserelt kazánbetéten, szennyvíztelepi biogáz esetében.

*Forrás: saját felvétel*

A biogázok előállítási módjuktól függetlenül szerves szennyező anyagok széles skáláját tartalmazzák. A fentebb már említett nem kívánatos komponenseken túlmenően klorin és fluorin származékok, halogénezett szénhidrogének, benzén, toluén, ethanal, formaldehid szennyezők találhatók a gázban jellemzően  $10\text{--}50 \text{ mg/Nm}^3$ , de csúcsban akár több száz  $\text{mg/Nm}^3$  koncentrációban. A nyersgáz széndioxid részarányának

növekedése csökkenti a fűtőértéket, és így értelemszerűen a lánghőmérsékletet is. A jelenség a szénmonoxid képződés irányába hat. 40–45% metántartalom alatt már szükséges lehet égéslevegő előmelegítést vagy a tüztér előzetes felfűtésére szolgáló kiegészítő tüzelőberendezést alkalmazni. A megoldásnak gyújtás-, ill. lángstabilizáló hatása is van. Alacsony fűtőértékű gázok esetén célszerű vegyes tüzelést, esetleg a tüzelőanyag földgázzal történő dúsítását alkalmazni. A földgázalapú kiegészítő tüzelés feltételeinek kiépítése biogáz esetében egyébként is ajánlatos az esetleges térfogatáram vagy jelentősebb fűtőérték változás hatásának kiküszöbölése érdekében [Kapro, 2009].

#### *1.3.10. A biogáz energetikai felhasználása kapcsolt villamos energiatermeléssel*

- Gázmotor
- Kombinált ciklusú gázturbinával megvalósított kogeneráció (gáz-gőz körfolyamat)
- Nyílt ciklusú gázturbinával megvalósított kogeneráció (hőkiadás a hőhasznosító kazánból)
- Mikro-gázturbina (egységteljesítmény max: 100 kW)

#### *1.3.11. A biogáz motorikus hasznosítása*

A közlekedési célú energiafogyasztás részarányának világméretű növekedése azonban ráirányította a figyelmet a megújuló energiaforrások belsőégésű motorokban történő hasznosításának fontosságára, valamint a megújuló energia – kistérségi energiafogyasztás forrásszerkezetének megváltozása következtében – megnövekedett szerepére. [Selmeci, 1998.]; [Kerek – Riba, 1999.]

A biogáz hasznosításának alternatívái a gázmotor, illetve a gázturbina. A gázmotorok szűkebb villamos teljesítmény tartományban (~30 kW–10 MW) alkalmazhatók, ebben a tartományban a gázmotorok hatásfoka jobb, mint a gázturbináké. Kisebb energiatermelő egységekben történő alkalmazásuk további előnye a viszonylag alacsony beruházási és üzemköltségük [Goldstein, 2006.] Gázmotoros hasznosítás lehetséges, ha a biogáz képes kielégíteni a motorikus égés kritériumait. Legfontosabb feltétel, hogy a biogázban a  $\text{CH}_4 > 45 \%$ , de a gyakorlatban kívánatos, hogy a metántartalom meghaladja a 60 %-ot.

A biogásznak, mint motorhajtó anyagnak gázmotorokban történő hasznosítására két megoldás kínálkozik:

- a hajtóanyag illesztése a motorhoz (ipari megoldás), vagy
- a motor illesztése a hajtóanyaghoz (helyi megoldás) [Nagy – Meggyes, 2007.]

Kis villamos teljesítmények esetén (200 kW...5 MW) hagyományosan a gázmotorok, míg nagyobb teljesítmények esetén (> 5 MW) a gázturbinák alkalmazása terjedt el. Az utóbbi években azonban már megjelentek a kis villamos teljesítményű (30 kW...500 kW) mikro gázturbinák is. A mikro turbinák kapcsolt hő- és elektromos energia előállító (CHP) erőművek. Az említett erőművet, abszorpciós hűtőkörrel kiegészítve, trigenerációs energia rendszert (CCHP) kapunk. A CCHP rendszer négy különböző energiaformát állít elő egymással kapcsolatban, esetenként szimultán: gőzt, elektromos energiát, meleg vizet, hűtött hűtőfolyadékot. A gázturbina alkalmas földgáz, depónia gáz (akár 35% metántartalom esetén is), biogáz, gázolaj, kerozin tüzelésére. A mikro turbina képes sziget üzemben és a hálózati üzemben is működni.

#### **1.4 A mezőgazdaságban, élelmiszeriparban képződő melléktermékek energiacélú felhasználásával kapcsolatos korábbi kutatások eredményei.**

##### *A kofermentációs kísérletek célja, jelentősége*

Petis [Petis, 2009] tanulmánya szerint a biogáztermelés csak akkor versenyképes a hagyományos energiahordozókkal szemben, ha komplex előnyeivel vesszük figyelembe, és a társadalom számára nyújtott előnyökkel arányosan támogatjuk.

Kalmár et al 2002a kutatási - fejlesztési célkitűzései közé tartozott a nagyüzemi sertéstartó telepeken keletkező hígtrágyának mikrobiológiai módszerekkel szabályozott ásványosodási folyamata során keletkező biogáz zárt láncú hasznosítási technológiájának kifejlesztése, a megvalósítás kísérleti eszközrendszerének kialakítása, a kifejlesztett technológia megvalósítása egy adott referenciahelyen.

A kísérleti fermentorrendszer kialakítása után [Kalmár et al. 2007] a kutató csoport tevékenysége az állati trágyára alapozott biogáz-előállítás során az alap és adalékanyagoknak, valamint az alkalmazott technológia paramétereinek függvényében változó kiejert trágya összetételéből kiindulva a tápanyag-visszapótlási célú hasznosítási technológiák megalapozására, a kiejert trágyával tápanyag-visszapótlási célú kísérletek végzésére irányult.

Valamely vállalkozás hosszú távú gazdasági sikere a piaci viszonyokhoz történő rugalmas alkalmazkodás képességén is múlik, ami a mezőgazdaság, pontosabban az állattenyésztés tekintetében a tenyésztett állatfajok által is meghatározott. A nagyüzemi sertéstartás hígtrágyás technológiája gazdaságossági szempontból, valamint az épületek, technológiai berendezéseket figyelembe véve nagyüzemi méretekben uralkodó marad, a koncentráltan képződő hígtrágya problémájával egyetemben [Kalmár et al 2002a]. Az

energiatermeléssel egybekötött, környezetbarát trágyahasznosítás mezőgazdasági, élelmiszeripari melléktermékek, hulladékok kofermentációjával még gazdaságosabbá teheti a termelést [Kalmár et al 2003]. Míg a szarvasmarha emésztőrendszeréből adódóan az anaerob fermentáció sikeressége nyilvánvaló, addig a sertéshígtrágyával történő, félüzemi méretű, tudományos igényű kofermentációs kísérletek előzetes elvégzése nélkülözhetetlen [Kalmár et al 2002b]. A biogáz üzemben minden „takarmányozási” hibának a hőmérséklet stabil szinten tartása miatt súlyos költségvonzata van, tehát egy kistérség gazdálkodási lehetőségeit figyelembe véve fel kell készülni a lehetséges receptúrák vizsgálatával a helyi viszonyokra jellemző főtermékek, melléktermékek, hulladékok esetleges alkalmazására [Kalmár et al 2004].

Az alapanyagok természetes lebomlási folyamatának lassúsága miatt a keletkező biogáz hasznosításához mindenképp a keletkezés intenzitásának fokozására van szükség, mert a természetes körülmények között keletkező biogáz összegyűjtése nem lenne gazdaságos. A biogáz hozam növelése céljából kifejezetten erjesztéshez termesztett növényeket (adalékként) kell alkalmazni [Kalmár - Nagy 2008].

A mezőgazdaságban, élelmiszeriparban képződő melléktermékek energiacélú felhasználásával kapcsolatos korábbi kutatások eredményeit a következőkben foglalom össze.

Mata-Alvarez et al., 2000. kutatásai szerint a trágyák és a különféle növényi eredetű anyagok kofermentációjában a trágyák biztosítják a tárolási térfogatot és a tápanyagok széles körét, miközben a magas széntartalmú növényi eredetű adalékanyagok egyensúlyban tartják a szubsztrát (a betáplált biomassa) C/N arányát. Kísérleteikkel kimutatták a kofermentáció pozitív, szinergikus hatását magasabb fajlagos metánhozamok tekintetében. Ugyanakkor megfigyelték, hogy a növényi eredetű adalékanyagok a fermentáció során a biomassa felső rétegére felúsznak, vagy hab formájában jelentkeznek. Ezek a nem kívánt folyamatok azonban keveréssel elkerülhetők.

[Braun, 1982.] és [Zubr, 1986.] a biogáz összetételét, illetve a metánhozamot befolyásoló tényezők közül elsődlegesen az alapanyagok típusait (szénhidrátok, proteinek, zsírok, cellulózok, hemicellulózok) és azok lebomlási tulajdonságait vizsgálták. Müller et al., 2003. különböző szubsztrátok (sertéshígtrágya alapon takarmányrépa, szudánifű, cukorrépa levél, kukorica, gabona magvak, adalékok) anaerob lebonthatóságát vizsgálták. Megállapították, hogy a lebomlási arány mechanikus,

termikus, kémiai, illetve enzimatisz előkezelő eljárásokkal fokozható. Az előkezelés azonban nem minden esetben párosul metánhozam növekedéssel [Amon T. et al.,2007]. *Lehtomäki et al.*, 2006. tanulmánya a trágya és néhány növényi eredetű adalékanyag (zabszalma, cukorrépa-szelet, fűszilázs stb.) fermentációjával foglalkozva megállapítja, hogy a növényi eredetű adalékanyagok kofermentációjával magasabb metánhozamok érhetők el, mint pusztán trágya fermentációja révén, amely annak a ténynek köszönhető, hogy a növényi eredetű adalékanyagok szerves szárazanyag tartalma könnyebben lebomlik, mint a trágyáé [Arthurson 2009]. A trágya biztosítja a tároló képességet és a tápanyagokat, míg a növényi eredetű adalékanyagok magas széntartalma a fermentorba táplált alapanyag megfelelő C/N arányáról gondoskodik. A magas cellulóz és lignocellulóz tartalmú szerves anyagok rossz hatásfokkal bomlanak, csak előzetes kezelés, hidrolizálás esetén nem rontják a biodegradációt [Baader 1978]. Kísérleteik során megfigyelték, hogy cukorrépaszelet adalékolás hatására nagyobb mennyiségű kénhidrogén képződik a biogázban.

*Kárpáti*, 2002. szerint a metántermelés intenzitása a metanogén baktériumok aktivitásának a közvetlen mértéke, s mint olyan, a rothasztó teljesítményének igen érzékeny, jellemző mutatója. A metántermelés sebességének arányosnak kell lenni a folyadékfázis tápanyag-összetételével, valamint a rendszer fajlagos terhelésével. A gyors változása azt jelzi, hogy a metanogén baktériumok aktivitásával történt valami. Tartós csökkenése minden esetben üzemeltetési problémát jelez. A termelt gáz összetétele és hozama is olyan jellemzők, melyek hasznosak lehetnek az anaerob rendszer stabilitásának a megítélésére [Baadstorp, L.: 1997.].

*Svensson et.al.*, 2007. magas szárazanyag tartalmú búzaszalma ágyon végeztek anaerob lebontó kísérleteket és vizsgálták a búzaszalma hatásait. Kísérleti eredményeik igazolták, hogy a szalma biztosítja a folyamatos szerves anyag utánpótlást. A 30 % szerves szárazanyag tartalomnak megfelelő növényi eredetű adalékanyagot tartalmazó biomassa metántermelése magasabb az önmagában trágya fermentációjához viszonyítva. Azonban az adalékanyagok arányának tovább növelése a metántermelés csökkenését vonja maga után.

A nyereségérdekelt biogáztermeléshez azonban könnyen bomló magas széntartalmú alapanyagok szükségesek, az alacsony tápanyag tartalmú anyagokat csak puffer anyagnak használjuk. A biogáztermelés akkor a leggazdaságosabb, ha az alapanyag ellátás a helyben lévő mezőgazdasági és élelmiszeripari hulladékokra és melléktermékekre épül. [Petis, 2007.]

6. táblázat: Monoreceptúrás sertéshígtrágya fermentálási eredmények

|                                   |                                                                       | Kezelt [4,5 kg hígtrágya + 0,5 kg oltóanyag (10%)] |                    | Kezeletlen [csak 5 kg hígtrágya] |                    |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|
|                                   |                                                                       | 1. fermentor, 52°C                                 | 2. fermentor, 35°C | 3. fermentor, 52°C               | 4. fermentor, 35°C |
| Maximális egyhetes gáztermelés    | dm <sup>3</sup> /nap                                                  | 5,46                                               |                    |                                  |                    |
|                                   | dm <sup>3</sup> biogáz/<br>dm <sup>3</sup> fermentor-<br>térfogat/nap | 1,09                                               |                    |                                  |                    |
| Max. CH <sub>4</sub> koncentráció |                                                                       |                                                    |                    | 72,2 % (29. nap)                 |                    |
| Max. CO <sub>2</sub> koncentráció |                                                                       |                                                    |                    | 36,8% (8. nap)                   |                    |
| Hidraulikus tartózkodási idő      |                                                                       | 25 nap                                             |                    | 31 nap                           |                    |

*Forrás: Mézes, 2011. Oltóanyagként a nyírbátori biogáz üzemből származó fermentlevet használt fel.*

Mézes, 2011. szerint pusztán sertéshígtrágya Batch rendszerű fermentációjánál akár 72,4 - 72,5% metántartalmat is el lehet érni, a baktériumos kezelés és a termofil hőmérséklet gyorsabb felfutást, rövidebb hidraulikus tartózkodási időt eredményezett (baktériumkezeléssel 25 nap, baktériumkezelés nélkül 31 nap) (termofil baktériumkezelt 5,46 dm<sup>3</sup>/nap- 5 liter/fermentor = 1,09 dm<sup>3</sup>biogáz/dm<sup>3</sup>fermentortérfogat/nap). Az eredmények laboratóriumi, 5 dm<sup>3</sup> hasznos térfogattal rendelkező fermentoros mérésekre vonatkoznak (6. táblázat). A kezelt fermentáció szárazanyag tartalma a hozzáadott oltóanyag miatt nagyobb volt. A végtermékek száraz- és szerves anyag tartalma nagyobb mértékben csökkent az oltott, mint a kontroll kísérletekben. Az oltott, rövidebb, 49 napos tartózkodási idővel lefutó fermentáció esetében szűkebb volt a C/N arány, mint a kontrollban, ami 56 napos tartózkodási idővel működött. 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 (7. táblázat). Az alapanyagok könnyen feltárható széntartalma metánná és szén-dioxiddá alakult át, míg a nitrogén kigázosodott, ill. egy részét a baktériumok használták fel sejtjeik felépítéséhez [Mézes, 2011].

7. táblázat: Az eredeti hígtrágya és a végtermék száraz- és szerves anyag tartalma

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

Forrás: Mézes, 2011.

Mézes, 2011. szerint  $10 \text{ m}^3$  fermentor térfogattal, Batch-rendszerű, szakaszos üzemmódban folytatott kísérletek sertéshígtrágya optimális hőmérséklete mezofil,  $37^\circ\text{C}$ -os, légköri nyomáson, a metánkoncentráció 62% volt,  $1,1 \text{ dm}^3\text{biogáz}/\text{dm}^3$  fermentor térfogat/ nap 10 napos csúcstermeléssel (8. táblázat). 28 napos ciklus tekinthető optimálisnak,  $200 \text{ m}^3$  biogáztermelés várható szakaszos,  $290 \text{ m}^3$  folyamatos üzemmódban ( $10\text{m}^3$  - fermentortérfogat). A fermentáció során keletkező biogáz fűtőértéke átlagosan  $19,3 \text{ MJ/kg}$  volt.

8. táblázat: Sertéshígtrágya biogáz hozama, mezofil,  $10\text{m}^3$  fermentortérfogathoz

| Mezofil hőmérséklet, üzemmód, $10\text{m}^3$ – es fermentor | Várható biogáz hozam, egy ciklus alatt ( $\text{m}^3$ ) | Várható biogáz hozam, naponta $\text{m}^3/10\text{m}^3$ fermentor térf./nap | Fermentor térfogatra számított napi biogáz hozam ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ fermentor térf. /nap) |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Szakaszos                                                   | 200                                                     | 7,14                                                                        | 0,71                                                                                             |
| Folyamatos                                                  | 290                                                     | 10,36                                                                       | 1,04                                                                                             |

Forrás: Mézes, 2011.

Tukacs et al, 2010. laboratóriumi és félüzemi méretekben – technológiatervezés céljából – végzett biogáz előállítási kísérleteik alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a laboratóriumi kísérletekben időben előbb jelentkeztek a fermentációs folyamattal kapcsolatos problémák, így ezek alapján prognosztizálhatóvá váltak a kísérleti üzemből várható változások. Ugyanakkor mind a laboratóriumi, mind pedig a félüzemi kísérlet fajlagos biogáz hozama, illetve metánhozama szinte azonos.

A kapcsolt villamos energiatermelő beruházások a környezetkímélő, s egyben gazdaságos megoldások szűk csoportjába tartoznak. A hazai biogáz-előállítási kísérletek és tapasztalatok lehetővé és egyszersmind indokolttá is teszik a komplex, biomasszára

alapozott, kapcsolt biogáz előállítási és hasznosítási technológia kialakítását. [Baas, 2003.]

A gombatermesztés mellékterméke – a letermést követően – viszonylag nagy cellulóztartalmú *komposzt*. György, 2005. eredményei alapján megállapítható, hogy a nedves biogáz előállítási technológiák alkalmazása esetén alkalmas lehet a fajlagos biogáz hozam fokozására. Vizsgálatai a letermett gombakomposzt hasznosítási lehetőségeire irányultak. A fermentáció javítására mikrobiológiai oltóanyagok (cellulózbontó, N megkötő baktériumok) kerülhetnek felhasználásra.

Az 9. táblázat a sertéshígtrágya energiatermelő képességének növelésére használható mezőgazdasági melléktermékek, hulladékok lényeges paramétereit tartalmazza.

9. táblázat: Különféle szerves anyagok jellemzői

| <i>biogáz előállításra használt szerves anyagok</i> | <i>szárazanyag tartalom [%]</i> | <i>C/N arány</i> | <i>pH [egység]</i> |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------|------------------|--------------------|
| sertéshígtrágya                                     | ~13,5                           | ~13              | ~7                 |
| korpa                                               | ~88                             | ~87              | >7,4               |
| gombakomposzt                                       | ~35                             | ~85              | 6,9                |
| cukorcirok présmaradvány                            | ~42                             | ~32              | -                  |
| zöld állapotú cukorcirok                            | ~29,8                           | ~25              | ~4,5               |
| szőlőtörköly                                        | ~17,9                           | ~21              | ~3,9               |
| gyümölcstörköly                                     | ~10                             | ~20,5            | ~4,3               |
| kukoricatörköly                                     | ~29,6                           | ~22,5            | ~5                 |
| silókukorica                                        | ~21,2                           | ~27              | ~3,8               |
| búzaszalma                                          | 94-96                           | ~ 120            | ~7                 |

Forrás: [Nagy – Meggyes, 2008.]; [Jóri – Rádics, 2008.]

## 1.5 A fermentációs kísérletekben használt anyagok fő jellemzői, jelentőségük a fenntartható mezőgazdasági termelés szempontjából

### 1.5.1. A szarvasmarha almos trágyák legfontosabb jellemzői

Az állattenyésztésben folyamatosan és jelentős mennyiségben termelődik trágya, amely nem megfelelő felhasználás esetén jelentősen terheli a környezetet. A hagyományos, almozásos tartás esetén keletkező almos trágya a bélsárnak, a vizeletnek és az almozásra felhasznált alomanyagoknak szilárd halmazállapotú keveréke. Az állattenyésztésnek értékes mellékterméke, amely hosszú időn keresztül szinte kizárólagos forrása volt a talaj-táperő visszapótlásának. A szarvasmarha almos trágya legfontosabb jellemzőit a 10. táblázat tartalmazza.

10. táblázat: Szerves hulladékok biogáztermelése

| Nyersanyag          | Gázhozam, $V_g$ , l/kg szerves szárazanyagra vonatkoztatva | Közepes gázhozam, $V_g$ , l/kg szerves anyagra. vonatkoztatva |
|---------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| sertétrágya         | 340. . . 550                                               | 445                                                           |
| szarvasmarha trágya | 90...310                                                   | 200                                                           |
| baromfitrágya.      | 310. . . 620                                               | 465                                                           |
| lótrágya            | 200. . . 300                                               | 250                                                           |
| juhtrágya           | 90. . . 310                                                | 200                                                           |

\*Megjegyzés: 20 napos erjesztés esetében, Forrás: [Kaltwasser, 1983]

#### 1.5.2. A sertés hígtrágyák legfontosabb jellemzői

A nagyüzemi állattartás iparszerű körülmények között valósítja meg az állattenyésztést, lehetővé téve a legjobb tenyésztési eljárások és módszerek hatékony alkalmazását. A hazai gyakorlatban jellemző sertéstelepeken nagy mennyiségű hígtrágya keletkezik. A hígtrágya az almozás nélküli állattartás jellegzetes, folyékony halmazállapotú mellékterméke, amely állati bélsárból és vizeletből, elcsurgó vízből és technológiai vízből, valamint kis mennyiségű egyéb hulladékból áll. Az állati bélsár és vizelet, vagyis az ürülék összetétele, és mennyisége az állatok kora, testsúlya, neme, és hasznosítási iránya, a takarmányozás és az itatás módja, az időjárás, a tartási körülmények stb. függvényében változik. A naponta ürített bélsár a sertés testsúlyának 5%-a a vizelet mennyisége, a bélsár mennyiség 100%-ára tehető [Barótfi (szerk.) 2000]. A hígítási aránytól függően megkülönböztetünk:

- teljes trágyát (bélsár és vizelet, minden más anyag nélkül);
- kövér trágyát (bélsár, vizelet, technológiai víz és csurgalék víz 1:1 arányú keveréke);
- sovány trágyát (ürülék és víz 1:1 aránynál nagyobb, de 1:4-nél kisebb keveréke);
- továbbhígított trágyát (az ürülék és a víz aránya 1:4-nél nagyobb, és 1:10-nél kisebb).

[Barótfi (szerk.) 2000]

A kövér sertéshígtrágya fontosabb minőségi mutatóit a 17. melléklet, a sovány hígtrágyáét pedig a 18. melléklet tartalmazza.

A hígtrágya szilárd és híg részből áll, a szilárd rész kiszűrhető ülepítéssel, illetve valamilyen szétválasztó berendezéssel. Szétválasztás után a szilárd rész ugyanúgy kezelhető, mint az almos trágya. A híg részt szuszpenzióknak nevezzük, amit öntözésre használnak fel. A hígtrágya elhelyezése és hasznosítása nagy problémát jelent, mert nagy beruházást igényel a megfelelően szigetelt tározók kialakítása. A hígtrágya

tápértéke nagy, a növénytermesztési ágazatban a természetes anyagcsere-körforgalomba kell kerülnie.

### 1.6 Az alkalmazott adalékok legfontosabb jellemzői

A biogáz előállításra valamennyi szerves anyag (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. [Kutasi, 2007] [Kasza, 2007]. Az élelmiszeripari melléktermékek és hulladékok keletkezése szempontjából a feldolgozott nyersanyagok alapján az iparágak alapvetően két nagy csoportba sorolhatók: a növényi eredetű, illetve az állati eredetű terméket feldolgozó iparágak. A növényi eredetűek tovább bonthatók a feldolgozott növényféléstől függően. [Bai et al, 2002]

Gabonabázison alapuló

- malomipari
- sütőipari
- söripari

Ipari növények bázisán alapuló

- cukorgyártásból származó
- édesipari
- növényolaj-ipari
- szeszipari
- dohányipari

Zöldség-gyümölcs nyersanyagbázison alapuló

- bortermelési
- tartósító ipari melléktermékek.

A biogáz előállításra alkalmas ipari melléktermékek és hulladékok főbb jellemzőit (szárazanyag-, szerves anyag, nitrogéntartalom, C:N arány, fajlagos gázhozam) a 2. melléklet mutatja.

*A kísérletekbe adalékanyagként bevont anyagok:*

- a a mezőgazdasági főtermékek közül hazánkban hagyományosan termesztett takarmánynövény a silókukorica
- b a korpa, mint élelmiszeripari melléktermék
- c letermelt laskagomba táptalaj, mint hulladék.

A hullámzó gazdasági, piaci viszonyok rákényszeríthetik a mezőgazdasági vállalkozásokat, hogy adalékként főtermékeket is alkalmazzanak energia előállításra. A következőkben ezek jelentőségét, legfontosabb jellemzőit ismertetem.

#### *1.6.1. A gombakomposzt energetikai célú hasznosíthatósága*

A hazai kertészeti termelés egyik legeredményesebb ágazatává vált a gombatermesztés és ezzel szoros összefüggésben igen intenzíven és eredményesen fejlődik a komposztgyártás [Somosné, 2010]. Minden hosszú távon is működni kívánó termelő hangsúlyt fektet arra, hogy úgy hozza létre gombakomposzt előállító, gombatermesztő egységeit, hogy azok megfeleljenek a hatályos környezetvédelmi előírásoknak. A gombakomposzt előállítása összességében környezetbarát tevékenység, hiszen a gombakomposzt előállítása során nagy mennyiségű mezőgazdasági melléktermék gazdaságos feldolgozására van lehetőség. A folyamat során azonban hazánkban komoly problémát okoz az üzemek által kibocsátott ammónia mennyisége és az így létrejövő szagmisszió, bűzszennyezés. A letermelt gomba táptalaj környezetkímélő kezelésének egyik módja lehet kofermentként történő hasznosítása, mely során anaerob körülmények között, energiatermeléssel egybekötve kerülnek vissza a természeti körforgásba az immár a növények által közvetlenül felvehető formában az eredetileg veszélyes hulladéknak számító szerves anyagok. A laskagombafélék a Föld csaknem valamennyi mérsékelt övi és szubtrópusi erdejében előfordulnak, általában fán (faanyagon) élnek. Élet- és táplálkozásmódjuk szerint a fehérkorhasztó fajok közé tartoznak [Vetter, 1999], és mint ilyenek képesek a faanyag, növényi rostok lignin és cellulóztartalmát is hasznosítani szénforrásként. Ennek a tulajdonságának köszönhetően a laskagomba termesztésben szinte mindenféle mezőgazdasági szerves anyag felhasználható termesztési táptalajként [Kang, 2004]. A laskagombafélékhez tartozó fajok igen értékes gombák az emberiség számára, miután kellemes ízük miatt sokan szívesen fogyasztják, jelentős mennyiségben tartalmaznak gyógyhatású komponenseket, a micélium intenzív növekedésű, valamint nem igényelnek különleges termesztési körülményeket [Gregori, Svagelj és Pohleven, 2007].

A letermelt gomba táptalaj (tallusz és a szubsztrátum együttese) hasznosítására egyre nagyobb figyelmet fordítanak, mivel a nagyüzemi gombatermesztés hatására lokálisan nagy mennyiségben keletkezik. A laskagomba termesztés melléktermékét (hulladékát) többféleképpen hasznosítják. Felhasználják más gombafajok szubsztrátumának alapanyagaként, valamint állati takarmányként is [Stamets, 1993; Szili, 2008]. Az állati

takarmányt nemcsak letermett alapanyagból, hanem különböző lignocellulóz tartalmú hulladékokból a *Pleurotus spp.* alkalmazásával is állítottak elő [Babos, 1986; Zadrazil, 1993].

A letermett laskagomba szubsztrátum biogáztermelésben történő felhasználása a környezetvédelmi szempontok erősödésével párhuzamosan került előtérbe. Az anaerob lebontás elősegítésének érdekében *Basidiomycoták*-kal kezelték az alapanyagokat a 80-as években. Japán kutatók azt találták, hogy a magas cellulóztartalmú anyagok gombával átszőve növelték a biogáz kihozatalt [Rajaratnam, Shashireka és Bano, 1992]. Metha, Gupta és Kaushal, 1990 letermett táptalajt használtak biogáztermelésre, kísérleti rendszerükben rizsszalmán termesztett *Pleurotus florida* letermett táptalaját alkalmazták.

A gombakomposzt csirketrágyát, szalmát, tőzeget, letermett gombamaradványokat (tönkmaradvány, micélium, gomba) és esetenként lótrágyát tartalmaz.

Összetétele 35%-os szárazanyag tartalomnál átlagosan:

0,80% nitrogén, 0,60% foszfor, 0,90% kálium, 0,30% magnézium és 3,0% kalcium, pH-értéke 6,9.



2. kép: Alapanyag betáplálás (letermett táptalaj) a Pilze-Nagy Kft. biogáz-üzemében  
Forrás: Somosné, 2010.

#### 1.6.2. A silókukorica jellemzői

A növényi alapanyagok nitrogénben szegények, ellenben magas emészthető szénhidrát tartalommal rendelkeznek [O'Sullivan, 1997]. Az egyik legkedveltebb, legfontosabb és nem utolsósorban legolcsóbb termesztett takarmánynövényünk a silókukorica. Alacsony fehérje- és magas emészthető szénhidrát-tartalmának (290 g/kg) köszönhetően igen jól és viszonylag hosszú ideig tartósítható silózással [Mézes, 2011]. A silókukorica további

előnye, hogy csaknem minden talajtípuson termesztethető, sok helyen még akkor is, ha ugyanott valamilyen oknál fogva (pl. be nem érés miatt) szemes kukorica nem vethető. A technológiai folyamatok, a betakarítás, a silózás és a silókitermelés jól gépesíthető. Az üzemi vetéstervbe könnyen beiktatható. Csapadékosabb termőhelyeken vagy öntözött körülmények között alkalmas a korán lekerülő növények (őszi takarmánykeverék, őszi árpa) utáni másodvetésre, tehát a kettőstermesztés megvalósítására. Azok a kukoricafajták is termesztethetők silónak, amelyek a teljes érés időszakában kisebb szárszilárdságúak. A betakarítás időpontja - általában - a szemes kukoricáét megelőzi, ami az őszi munkacsúcs csökkentésében alig felbecsülhető jelentőségű. Biogáztermelés szempontjából a 20%-os szárazanyag tartalmú növény éretlen. 22%-os szárazanyag tartalomtól a növény metántermelő potenciálja egyre jobban növekszik (ca. 370 Nl/kg szerves szárazanyag tartalom). 35%-os szárazanyag tartalomtól felfelé viszont a metánképzési potenciál csökkenő tendenciát mutat. 30%-os szárazanyag tartalomnál a kukorica silózhatósága már optimális. A fajlagos metánképzés optimuma 30 és 35%-os szárazanyag tartományban van. A kukorica állapota a csőképzés kezdetén a legmegfelelőbb a biogáztermelésre. Abban az esetben, ha a növényben a csőrész 55% feletti, már kevésbé alkalmas silózásra és biogáztermelésre. Alacsony szárazanyag tartalom esetén a kukorica silózáskor túlzott silólé képzésre hajlamos, a szagképzése erős és a silózási veszteségek nagyon jelentősek lehetnek [Szabó, 2007].

#### *1.6.3. A búzakorpa legfontosabb jellemzői, energetikai hasznosítása*

A búzakorpa energetikai célú feldolgozásához meg kell említeni a melléktermék – képződés forrását, jellegét, nagyságrendjét, a hulladék fő jellemzőit.

A malomipar egyszerű, mintegy „vonalas” technológiával dolgozó ipar. Tevékenysége három fő területet ölel fel:

- Gabonafélék szárítása, tárolása, készletezése
- Kenyérgabonák őrlése, hántolása, készletezése, forgalmazása
- Keveréktakarmányok gyártása

A melléktermékek a tisztítás, őrlés közben keletkeznek. Többségük jó, majdnem abrak értékű takarmány. A malomipari melléktermékek alapvetően négy csoportba sorolhatók: gabonakorpák, takarmánylisztek, csírák, egyéb malomipari melléktermékek. [Bai et al, 2002]

### *A korpa*

A lisztkészítés során a gabona magvak legkülső rétegéből – a maghéjból – keletkezik a korpa. Összetételük és táplálóértékük a fajtától, a kiörlés mértékétől, a gyommagvak és a koptatópor mennyiségétől, valamint a fertőzöttségüktől (pl. kőüszögspóra) függ.

A technológiai feldolgozás során az alapanyagból képződött melléktermékek %-os értéke a következő:

|                                        |                                                               |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1. Búza, rozs őrlésekor:               | kb. 23% korpa<br>3-5% takarmányliszt<br>0,3 % búza-rozs csíra |
| 2. Rizs hántolásakor:                  | kb. 35% takarmányliszt                                        |
| 3. Étkezési kukoricadara készítésekor: | kb. 30% kukoricaliszt<br>0,3% kukoricacsíra                   |
| 4. Magtisztítási hulladék:             | a feldolgozott alapanyag 5-8%-a. [Bai et al, 2002]            |

### *A búzakorpa minőségi jellemzői:*

|                              |                                                                               |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Keményítőtartalom:           | 22%                                                                           |
| Hamutartalom (% m/m )        | 4,6-6,5                                                                       |
| Nedvességtartalom legfeljebb | 13%                                                                           |
| Szemcseméret                 | 500 µm-en legalább 20%, 200 µm-en legalább 4 % essen át [Simon (szerk.) 2000] |

### **1.7 Az állatállomány által termelt szerves trágya energetikai hasznosításának korlátai**

Az állatállomány által termelt szerves trágya energetikai hasznosítását a kiejert biotrágya elhelyezésének területigénye és az elhelyezés időbeni szabályozása korlátozza. A szerves trágyák közül jelentősebb szennyező forrást a hígtrágya jelenti – elsősorban a túlzott vízfelhasználásból eredő nagy volumenű termelődés miatt. Hazánkban különösen a sertéstartás potenciális vízszennyező hatása jelentős a hígtrágya szakszerűtlen, gondatlan tárolása-, kezelése-, hasznosítása, illetve elhelyezése következtében. A korszerűtlen nagyüzemi telepeken koca férőhelyenként naponta képződő 0,2-0,5 m<sup>3</sup> hígtrágya növényi tápanyagtartalma alacsony, így trágyaként való felhasználása nem célszerű. Szennyvízként kezelve viszont biológiai oxigénigénye (BOI<sub>5</sub>) értéke 10-180-szorosa, kémiai oxigénigénye (KOI<sub>k</sub>) 8-60-szorosa a kommunális szennyvizének. Magas a különféle baktérium- és csíraszám is, igen gyakran szalmonellával is fertőzött. Még bonyolult és drága mechanikai-, kémiai- és biológiai tisztítás után sem lehet elérni a megkívánt tisztítás fokát, ezért az élővízbe való bevezetése tilos. Lényeges tehát, hogy a hígtrágya hasznosításhoz nitrátérzékeny

területeken legalább 300 m<sup>3</sup>-ként 1ha saját rendelkezésű földterület legyen a 170 kg/ha nitrát terhelés miatt.

### **1.8 A biotrágya (a fermentáció után visszamaradt anyag) előnyei**

A fermentáció után visszamaradt anyag sokkal jobban alkalmazható talaj szerves anyag utánpótlás biztosítására, mint az istállótrágya, mert:

- az anaerob kezelés során az értékes nitrogén tartalom megőrződik,
- az elfolyó anyag savassága csökken, a pH értéke 7-ről 8-ra emelkedik,
- istállótrágya esetében a C/N arány 30-50%-kal csökken, tehát a keletkező termék alkalmas közvetlen mezőgazdasági alkalmazásra,
- a folyamatban a foszfor és kálium tartalom a növények számára könnyen felvehető állapotba kerül,
- a gyommagvak csírázóképesége mezofil folyamatban csökken, termofil folyamatban gyakorlatilag megszűnik,
- a termék sokkal kevesebb kellemetlen szaganyagot tartalmaz és könnyen vízteleníthető.

A fermentáció eredményeként a hulladék elhelyezéssel járó közegészségügyi problémák csökkennek, mert:

- az anaerob fermentáció során az emberre veszélyes patogén baktériumok jelentős része elpusztul (termofil folyamatban teljes fertőtlenítés következik be),
- a termék térfogata számottevően csökken, tehát könnyebben és biztonságosabban tárolható,
- a környezetet szennyező anyagok koncentrációja csökken az anaerob fermentáció után.

## **2 ANYAG ÉS MÓDSZER**

### **2.1 Biomassza potenciál meghatározás a vizsgált üzemméretekben**

#### *2.1.1. Az SZTE MGK mintafarm és azon belül a családi méretű tejtermelő kisgazdaság energetikai célra hasznosítható biomassza potenciáljának meghatározása*

A vizsgálat helye a Szegedi Tudományegyetem Mezőgazdasági Főiskolai Karának tanüzeme. Fő célja az oktatás gyakorlati részének hallgatókkal történő elsajátíttatása. A tanüzem az alábbi feltételek között működik:

**Területe:** 447 ha, ebből szántó: 375 ha,

gyep: 48 ha,

erdő: 1 ha

A 375 ha szántó mellett, mintegy hetven hektáron holland típusú szarvasmarhatelep, évi 600 hízósertés kibocsátására alkalmas sertéstelep, ugyancsak holland mintára épített kecsketenyésztési mintafarm, higiénikus fejőházi technológiával, valamint az őshonos magyar kendermagos fajtafenntartó telep található. A kecskefarm különböző okok miatt nem működik, a mélyalmos kendermagos telep trágyamennyisége a felúszó és nehezen bontható tolltartalma, a szennyezett, ülepedő, poros alom miatt nem számítható az energetikai célra alkalmazható biomassza lehetőségek közé. A juhászat mélyalmos tartási rendszere nem teszi lehetővé a trágya energetikai hasznosítását. A tehenészeti mintafarm létrejötte után, II. fázisban került sor a tejfeldolgozó üzem létesítésére, amely holland technológia alapján készült. A tejfeldolgozó üzem termékei: sajt, joghurt, túró és tejföl. 2001-től – felújítás és bővítés után – az üzem a kecsketej feldolgozására is alkalmassá vált.

#### **A szarvasmarha telep**

1991 nyarán készült el a holland-magyar államközi együttműködés eredményeképp az 50 tehenes családi méretű mintagazdaság. 1991. november 22-én érkezett meg az 50 db fekete-tarka holstein-fríz 4-7 hónapos vemhes üsző. A fejőház 2 x 4-es halszállkás elrendezésű, alsó tejvezetékes, eredeti kialakításban NO PULSE rendszerű kollektor-pulzátorral.

#### **A sertéstelep**

A telepen nincs rácspadozat, a telep minden részegységében almozás történik.

11. táblázat: Az SZTE MGK mintafarm állatállománya

|                   | Szarvasmarha | növendék | anyakoca + kan | hízó | Juh | Baromfi |
|-------------------|--------------|----------|----------------|------|-----|---------|
| Állatlétszám (db) | 47           | 44       | 20+2           | 231  | 538 | 652     |

**A családi méretű, 50 tehenes tejtermelő tehenészeti telep energetikai célra hasznosítható biomassza potenciálja**

A családi méretű, 50 tehenes tejtermelő tehenészeti telepen képződő, energetikai célra hasznosítható szerves hulladék mennyiséget az állománylétszám és irodalmi adatok (10. táblázat, 13. táblázat) alapján számítottam ki. A koncentráltan képződő almos szarvasmarha trágya napi mennyisége irodalmi adatok alapján 2162 kg, 10 dm<sup>3</sup> napi szerves anyag kg-ra vonatkoztatott fajlagos értékkel számítva 51,9 Nm<sup>3</sup> biogáz, 21 MJ/Nm<sup>3</sup> fűtőértékkel számítva 1089,9 MJ hőenergia képződik. Ez 33%-os villamos hatásfokkal, 24 órás működést feltételezve 99,3 kWh villamos energiát, 4,14 kW villamos teljesítményt biztosít (12. táblázat). A villamos energiatermelés hulladék hőjét hasznosítva átlagosan napi 239,8 MJ hőenergia, 2,78 kW hőteljesítmény állhat rendelkezésre.

12. táblázat: A családi méretű tejtermelő tehenészet szerves hulladékaiból történő biogáz előállítás várható energiamérlege, [Mátyás-Pazsiczki, 2000]

|                                                                    |        |                    |
|--------------------------------------------------------------------|--------|--------------------|
| A naponta képződő biogáz mennyiség                                 | 2,594  | Nm <sup>3</sup>    |
| A fejlődött biogáz fűtőértéke 60% CH <sub>4</sub> tartalom mellett | 21     | MJ/Nm <sup>3</sup> |
| A fejlődött biogáz hőenergia egyenértéke                           | 54,482 | MJ/nap             |
| A reaktor önfenntartó hőigénye (30%)                               | 16,344 | MJ/nap             |
| A fejlődött biogáz villamos energia egyenértéke                    | 15,047 | kWh/nap            |
| Másodlagosan hasznosítható hőenergia (22%)                         | 11,99  | MJ/nap             |
| A villamos energia-előállítás vesztesége (15%)                     | 8,172  | MJ/nap             |
| Hasznosítható villamos energia (33%)                               | 17,98  | kWh/nap            |
| Felhasználható villamos teljesítmény                               | 0,207  | kW                 |
| Rendelkezésre álló hőenergia átlagosan                             | 11,99  | MJ                 |
| Rendelkezésre álló hőteljesítmény átlagosan                        | 0,139  | kW                 |

1 Nm<sup>3</sup> biogáz (21MJ) villamos energia egyenértéke: 0,278 kWh/MJ\*21MJ=5,8 kWh

## Az SZTE MGK mintafarm energetikai célra hasznosítható biogáz potenciálja

A tanüzemben képződő, energetikai célra hasznosítható szerves hulladék mennyiséget az állománylétszám és irodalmi adatok (10. táblázat) alapján számítottam ki (13. táblázat).

13. táblázat: Tanüzemi napi átlagos szerves hulladéktermelődés, valamint a belőle elméletileg előállítható biogáz mennyiség.

|                | Állat-<br>lét-<br>szám<br>(db) | Trá-<br>gya<br>(kg/<br>nap/<br>db) | Száa.<br>tart.<br>(%) | Szea.<br>tart.<br>(%) | Összes<br>trágya-<br>mennyi-<br>ség (kg/<br>nap) | Összes<br>szea.<br>(kg/ nap) | Fajl.<br>gázkép-<br>ződés.*<br>(l/kg<br>szea./nap) | Elméleti<br>gázmeny-<br>nyiség<br>Nm <sup>3</sup> /nap |
|----------------|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| szarvasmarha** | 47                             | 46                                 | 15                    | 12                    | 2162                                             | 259,44                       | 10                                                 | 2,59                                                   |
| növendék       | 44                             | 32                                 | 15                    | 12                    | 1408                                             | 168,96                       | 10                                                 | 1,69                                                   |
| anyakoca+kan** | 20+2                           | 15                                 | 11                    | 8                     | 330                                              | 26,4                         | 22,25                                              | 0,59                                                   |
| hízó**         | 231                            | 7                                  | 11                    | 8                     | 1617                                             | 129,36                       | 22,25                                              | 2,88                                                   |
| Juh            | 538                            | 2                                  | 33                    | 23                    | 1076                                             | 247,48                       | 10                                                 | 2,47                                                   |
| Baromfi        | 652                            | 0,053                              | 21                    | 18                    | 34,6                                             | 6,228                        | 23,25                                              | 0,14                                                   |
| Összesen:      |                                |                                    |                       |                       | 6768                                             |                              |                                                    | 10,37                                                  |

\*Megjegyzés: 20 napos erjesztésre vonatkozóan [Kaltwasser, 1983]

\*\*reálisan számbavehető trágyaféleségek

Az istállózási és kitrágyázási technológiákból következően csak a nagy tömegben, koncentráltan képződő trágyaféleségeket veszem figyelembe a biogáz képződés tekintetében, tehát a tejelő szarvasmarha állományt és a sertéstelep trágyatermelését.

A koncentráltan képződő almos szarvasmarha és sertés trágya napi mennyisége irodalmi adatok alapján 4109kg, melynek a 13. táblázat fajlagos gázképződés értékeivel számítva 6,06 Nm<sup>3</sup> a gáztermelése, melynek irodalmi adatokkal és 21 MJ/Nm<sup>3</sup> fűtőértékkel számított 127,37 MJ hőenergia a számított hőegyenértéke. Ez 33%-os villamos hatásfokkal, 24 órás működést feltételezve 0,48 kW villamos teljesítményt biztosít (14. táblázat). **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** A villamos energiatermelés hulladék hőjét hasznosítva átlagosan napi 28,02 MJ hőenergia, 0,32 kW hőteljesítmény állhat rendelkezésre.

14. táblázat: A tanüzemben reálisan számba vehető szerves hulladékokból történő biogáz előállítás várható energiamérlege irodalmi adatok alapján [Mátyás-Pazsiczki, 2000]

|                                                                    |         |                    |
|--------------------------------------------------------------------|---------|--------------------|
| A naponta képződő biogáz mennyiség                                 | 6,06    | Nm <sup>3</sup>    |
| A fejlődött biogáz fűtőértéke 60% CH <sub>4</sub> tartalom mellett | 21      | MJ/Nm <sup>3</sup> |
| A fejlődött biogáz hőenergia egyenértéke                           | 127,365 | MJ/nap             |
| A reaktor önfenntartó hőigénye (30%)                               | 38,21   | MJ/nap             |
| A fejlődött biogáz villamos energia egyenértéke                    | 35,175  | kWh/nap            |
| Másodlagosan hasznosítható hőenergia                               | 28,02   | MJ/nap             |
| A villamos energia előállítás vesztesége (15%)                     | 19,105  | MJ/nap             |
| Hasznosítható villamos energia (33%)                               | 11,61   | kWh/nap            |
| Felhasználható villamos teljesítmény                               | 0,4835  | kW                 |
| Rendelkezésre álló hőenergia átlagosan                             | 28,02   | MJ                 |
| Rendelkezésre álló hőteljesítmény átlagosan                        | 0,3245  | kW                 |

#### 2.1.2. Hódmezővásárhely kistérség energetikai célra hasznosítható biomassza potenciálja

A kistérség biomassza-potenciáljának értékelése szempontjából fontos klímaparaméter az ún. energetikai agrárpotenciál, mely az egy hektárra eső biomassza-produkció alapján rangsorolja a különböző térségeket. E mutató alapján a Hódmezővásárhelyi kistérség a legkedvezőbb besorolású térségben található. A kistérség területének mezőgazdasági termelésre való alkalmasságát komplex módon – domborzati és talajparamétereket, valamint klímaparamétereket figyelembe véve – fejezi ki az ún. agráralkalmassági mutató. A mutató alapján a kistérség területének 78%-a a legmagasabb minőségi kategóriába tartozik, jóval felülmúlva ezzel a megye (50,3%) és az ország (33,45%) hasonló kategóriába tartozó területeinek arányát. Mindezek alapján a Hódmezővásárhelyi kistérség kiváló természeti-földrajzi adottságokkal rendelkezik a mezőgazdasági és erdészeti tevékenységeket illetően, ami a biomassza-termelés szempontjából kimagaslóan kedvező feltételeket jelentenek. A kistérség tájszerkezetének leghangsúlyosabb elemei a mezőgazdasági területek, amelyek a teljes terület 83,4 % - át jelentik. A CLC50 nomenklatúrája szerint nagytáblás szántóföldek a jellemzően 10ha-nál kisebb méretű szántóföldi táblákból álló területek.

A nagytáblás szántóföldek jóval nagyobb arányban vannak jelen, mint a kistáblás szántóterületek, területi arányuk a szántó művelési ágban: 68/32. Természetszerűen a kistáblás szántók elsősorban a települések körül, illetve az útvonalak mentén jellemzőek, ezektől távolabb helyezkednek el a nagyüzemi gazdálkodás szempontjából kedvező méretű, nagytáblás szántók.

## Növénytermesztés

A földterület használatának módjáról ad áttekintést a földterület művelési ágak szerinti megoszlása (3. melléklet). A melléklet adatai szerint a kistérség földterületének legnagyobb arányú használati módja – összefüggésben a növénytermesztés kedvező agroökológiai feltételeivel – a szántó. Mindez alapjául szolgálhat a szántóföldi növénytermesztés jelentős biomassa-produkciójának. A szántóföldi növénytermelés szerkezetéről ad áttekintést a vetésszerkezet. A kistérségben kialakult vetésszerkezet legfontosabb jellemzője, hogy a szántóföldi növénytermelésben a gabonafélék, ezen belül is a búza és a kukorica vetésterülete a meghatározó. A 2000. évi Általános Mezőgazdasági Összeírás kistérségi adatait, valamint a 2005-ös Csongrád megyei adatokat felhasználva a szántóföldi növénytermelés szerkezete a 4. mellékletnek megfelelően modellezhető. A 4. mellékletben szerepeltetett növényi kultúrák a szántóterület 88%-át, illetve a vetésterület 93%-át teszik ki.

A kistérség biomassa potenciáljának kalkulációja, becslése a statisztikákban megtalálható termelési adatokból, szakirodalomból vett együtthatókkal végzett számítással történt. A kistérségben rendelkezésre álló biomassa mennyiségét a földhasználat alapján számíthatjuk. A földhasználat alapján úgy lehet energetikai célra használható biomassa mennyiséget számítani, ha a termény átlagos éves hozamát és a keletkező melléktermék hányadát is figyelembe vesszük. A melléktermékek hozamát, biomassa-potenciálját nagymértékben befolyásolja a főtermék hozama. Mennyiségüket arányszámok segítségével a főtermék alapján számíthatjuk. Kalászosok esetében a melléktermék, a szalma mennyisége a szem-szalma arány alapján kalkulálható, melynek értéke 1:0,5-1. Az arányszám értéke, ami alapján a szalma mennyiségét becsültem 0,7.

Kukorica esetében a képződő kukoricaszár, hasonlóan a szalmához a szem-szár arány alapján becsülhető, melynek értéke 1:0,8. Ezt egészíti ki a csutka, mely a csöves kukorica mennyiségének kb. 10%-a. Az előbbieket, valamint a kukorica szemtermés mennyisége alapján megbecsülhető a kukorica-ágazatban képződő melléktermékek mennyisége. Minthogy azonban egyes melléktermékeket (mint például a szalmát almózásra) egyéb célra is használnak, így ezek nem jelennek meg az energetikai célra rendelkezésre álló mennyiségben. A termelés melléktermékei viszonylag pontosan meghatározhatók, de az, hogy ezeket milyen célra használják fel, csak becsülni lehet. A becsléshez tájékoztató adatként lehet kezelni az állatállomány adatait (16. táblázat). Más kérdés, hogy az így hasznosított melléktermék is megjelenhet energetikai alapanyagként. A vetésterületének nagysága miatt szintén nagy mennyiségben képződik

melléktermék a napraforgó és a repce termesztéséhez kapcsolódóan. A napraforgómaghoz 1:2:1 szem-szár-tányér arány alapján mintegy kétszeres mennyiségű napraforgószár és ugyanannyi tányér, repcénél kétszeres mennyiségű szalma becsülhető melléktermékként. A napraforgónál a melléktermék mennyisége tehát kb. 200%-al meghaladja a főtermék mennyiségét, a borsótermesztésnél pedig a szem-szalma arány alapján a főtermék mennyiségével megegyező borsószalmát jelent. Vetésterületéhez képest a magas fajlagos hozam eredményeként szintén jelentős mennyiségű melléktermék képződik a cukorrépa-termesztés során is. A főtermék hozamát, valamint a répa-répafej 1:0,8-1 arányát figyelembe véve főtermék kb. 90%-a leveles répafej képződik melléktermékként.

### **A kistérség fontosabb szántóföldi termésmennyiségéből előállítható energia**

Hódmezővásárhely kistérségben található mezőgazdasági biomassza energetikai hasznosítása a fontosabb szántóföldi termésmennyiségből, ugyanezen termékek melléktermék mennyiségéből, és az erdészeti fő és melléktermékekből, szőlő és gyümölcs nyesedékek, nád és gyepterületek tájvédelmi körzetek termékeinek energetikai hasznosítását foglalja magában.

A kistérség fontosabb szántóföldi növények termésmennyiségéből előállítható energia gabonafélék tekintetében bioetanol előállítás formájában történhet gazdaságos módon. Olajos növények tekintetében a biodízel előállítása merülhet fel. A silókukorica, lucerna energetikai hasznosítására a biogáz előállítás alkalmazható [15. táblázat].

15. táblázat: A szántóföldi növénytermesztés melléktermékeinek energetikai hasznosítása

| Főtermék/ melléktermék          | Termésmennyiség (t) | Fűtőérték (GJ/t) | Potenciális hőenergia(GJ) |
|---------------------------------|---------------------|------------------|---------------------------|
| <i>Kalászosok/szalma/</i>       | 56.683              | 13,5             | 765200                    |
| <i>Kukorica /szár+csutka/</i>   | 65.251              | 13,5             | 880800                    |
| <i>Napraforgó /szár+tányér/</i> | 24.570              | 11,5             | 282500                    |
| <i>Repce/szalma/</i>            | 2.455               | 15.3             | 37500                     |
| <i>Borsó/szalma/</i>            | 1.280               | 14.8             | 18900                     |
| <i>Összesen</i>                 | 150.239             | -                | 1.984.900                 |

*Forrás: saját számítás, Barótfi, 1993*

### **Az állattenyésztés fő- és melléktermékeinek biomassza potenciálja és energiacélú hasznosítása**

Az állattenyésztésben képződő biomassza-produkciót alapvetően a termelőalapok, azaz az állatállomány nagysága határozza meg. A kistérségben található állatállomány nagysága, az AMÖ 2000 adatait (2000. március 31-ei állapot) korrigálva az országos állományi létszám 2000-2006 közötti változásának mértékével a 6. mellékletnek

megfelelően kalkulálható. Az országos trendeket figyelembe véve a kistérség összes állatállománya cca. 10%-al csökkent 2000. évi állapotokhoz képest.

16. táblázat: Hódmezővásárhely kistérség jelenlegi becsült állatállománya

| Megnevezés         | Sertés-<br>állomá-<br>mány<br>(db.) | Szarvas-<br>marha<br>állomány<br>(db.) | Tyúk-<br>féle<br>(db.) | Egyéb<br>baromfi<br>(db.) | Juh<br>állomá-<br>ny (db). | Ló<br>állomá-<br>ny<br>(db). | Állatállomá-<br>ny<br>összesen<br>(db). |
|--------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|
| Hódmezővásárhely   | 43355                               | 12730                                  | 72149                  | 115337                    | 8691                       | 584                          | 252847                                  |
| Mártély            | 1558                                | 146                                    | 4686                   | 16125                     | 1517                       | 28                           | 24061                                   |
| Mindszent          | 6242                                | 1555                                   | 64704                  | 7197                      | 677                        | 101                          | 80475                                   |
| Székkutas          | 14939                               | 1624                                   | 12162                  | 2972                      | 2058                       | 229                          | 33984                                   |
| Kistérség összesen | 66094                               | 16055                                  | 153701                 | 141630                    | 12944                      | 942                          | 391367                                  |
| Állategység        | 7534,7                              | 12843,6                                | 1537                   | 1747,8                    | 924,2                      | 753,6                        | 23804                                   |

Forrás: KSH adatok alapján saját kalkuláció

Az állományi adatokat felhasználva a termelési paraméterek alapján becsülhető az évente előállított állati termék mennyisége.

**Sertés:** az évente előállított 133-134 ezer db vágóállat mennyisége mintegy 13.342 tonna, amit kiegészít a selejtezett állatok 550 tonnányi mennyisége.

**Szarvasmarha:** évente cca. 46.500 tonna tejet állítanak elő a kistérségben, amit kiegészít a selejtezett állatok 1.200-1.300 tonna/év, valamint a vágómarha-termelés 1.000-1.100 tonnás mennyisége.

**Baromfi:**

- Tojástermelés: az egy év alatt termelt 14 millió db tojás mennyisége a kistérségben mintegy 795 tonna.
- Vágóbaromfi-termelés: pecsenyecsirke-termelés cca. 820 tonna + a selejtbaromfi becsült mennyisége 20-30 tonna.
- Az egyéb baromfifajok (liba, kacs, pulyka) termelése a kistérségben nehezen becsülhető, kalkulációját számos tényező nehezíti. A termelés feltételezett mennyisége lúdtenyésztésben: 1000 tonna, kacsatenyésztés: 60 tonna és pulykatenyésztés: 1800 tonna.

**Juhtenyésztés:** az évente előállított mintegy 10 ezer db bárány mennyisége cca. 200 tonna.

Az állattenyésztési főágazatban előállított másodlagos biomassza magába foglalja az állatállományt, valamint a termelés során képződő fő- és melléktermékeket. A másodlagos biomasszából azonban csak a melléktermékek (trágya) vehetők figyelembe energetikai hasznosításra. Az állattenyésztésben melléktermékként képződő szerves

trágya mennyiségét az állatlétszám és a fajlagos trágyahozam alapján becsülhetjük. A 17. táblázat: a kistérségben található állatállomány által termelt trágyamennyiséget mutatja be az egyes ágazatoknak megfelelően.

17. táblázat: Az állatállomány által termelt éves szerves trágya mennyiség a kistérségben

| Megnevezés                      | Szarvas-marha | Sertés | Tyúkfélé | Liba  | Kacsa | Pulyka | Juh   | Ló.  | Összesen |
|---------------------------------|---------------|--------|----------|-------|-------|--------|-------|------|----------|
| Állatállomány (db.)             | 16055         | 66094  | 153701   | 59396 | 6906  | 71828  | 12944 | 942  | 387866   |
| Fajlagos trágyahozam (t/év*db.) | 10            | 1      | 5*       | 11*   | 8*    | 10*    | 0,6   | 8    |          |
| Trágyatermelés (t)              | 160546        | 66094  | 769      | 653   | 55    | 718    | 766   | 7536 | 244137   |

\*t/1000 db. Forrás: Ábrahám, 1980; Bai, 2005a; Fenyvesi et al., 2003; Loch, 1999; Posta, 2002; Szendrő, 2003; Vántus, 2003; Barótfi, 1993, valamint KSH adatok alapján saját kalkuláció

Az állati melléktermékből biogáz előállítással nyerhető energia kiszámítása irodalmi adatok figyelembevételével történt. Az állattenyésztés különböző ágazataiban (a lótarás hobbi jellegéből következően az itt található trágya kivételével) az itt képződő szerves trágya mennyisége a táblázat tanúsága szerint kistérségi szinten, évente mintegy 237 ezer tonna, ami 30-40 t/ha-os trágyadózissal számolva kb. 7000 ha-os terület (a kistérség összes területének 10%-a) szerves trágyázásához elegendő. Hódmezővásárhely kistérségben a gazdasági állatok ürülékéből kinyerhető energia éves értéke olajegyenértékben 1701913,7 kg olaj/év, biogáz fűtőértékben 71480,4 GJ/év, villamos egyenértékben 19871,5 MWh/év [5. melléklet].

Hódmezővásárhely kistérség biomassza potenciálját tételesen, fő- és melléktermék, valamint hulladék kategóriákba sorolva tartalmazza a 6. melléklet. A hódmezővásárhelyi kistérség teljes biomassza készlete 1,23 millió tonnára tehető, melyből az újra felhasználható (regenerálódó, újratermelhető), energetikai célra ténylegesen javasolható biomassza mennyisége mintegy 464.000 t/év, a 6. melléklet adatai alapján. Az előbbieken részletezett biomassza-készlet energiában kifejezett mennyisége a főbb hasznosítási formáknak megfelelően a 18. táblázatban került összefoglalásra, a 7. mellékletben pedig részletezésre.

18. táblázat: A hódmezővásárhelyi kistérség energiában kifejezett biomassza potenciálja a főbb hasznosítási formáknak megfelelően

| Hasznosítási irány            | bioetanol előállítás | biodízel előállítás | biogáz-termelés | közvetlen hőhasznosítás | Összesen:   |
|-------------------------------|----------------------|---------------------|-----------------|-------------------------|-------------|
| részarány az összeshez képest | 77,0                 | 2,2                 | 13,3            | 7,5                     | 100,0       |
| energia (GJ)                  | 4 815 643,0          | 134 434,6           | 831 551,4       | 469546,2                | 6 251 175,0 |

Forrás: Saját kalkuláció

Az újratermelhető hányad optimális felhasználási módokat alapul véve 1,3 PJ energiamennyiségnek felel meg. Ebből a biogáztermeléshez felhasználható állati trágya mennyisége: szarvasmarha: 160550 t/év, sertés: 66094 t/év, istállózott baromfi (tyúkfélék): 768,5 t/év. Ezek energiatartalma 0,63 PJ/év nagyságrendű, ebből a sertés trágya biogáz hozama adalékolás nélkül 1764710m<sup>3</sup>/év; 7211,7 MWh/év; 0,026PJ/év.

## **2.2 Az SZTE MGK mintafarm és azon belül a családi méretű tejtermelő kisgazdaság szerves hulladékainak energetikai célú hasznosítása**

### **2.2.1. A szarvasmarha telep szerves hulladékainak energetikai célú hasznosítása**

*A kísérlet célja:*

A kísérlet első, közvetlen célja volt annak megállapítása, hogy a fejőházban a fejőberendezés, a tejhűtő tisztítására használt mosó-fertőtlenítő szerekben dús szennyvíz megakadályozza-e a trágya anaerob lebontását, csökkenti-e a metánképződést.

A 19. táblázat tartalmazza a szarvasmarha almos trágyához adalékolt fejőházi szennyvíz paramétereit.

19. táblázat: A szarvasmarha fejőházi szennyvíz paramétereit

|                        |                              |
|------------------------|------------------------------|
| szárazanyag tartalom   | 1,52 g/l.                    |
| szerves anyag tartalom | 0,592 g/l                    |
| ammónium               | 67,8 mg N/liter              |
| foszfát                | 77 mg PO <sub>4</sub> /liter |
| pH                     | 6,8                          |

Az első sorozatban 20. táblázat szerinti két receptúrát állítottam össze a termelő szerves hulladék arányában, almos szarvasmarha trágya és fejőházi szennyvíz összetétellel. A szalmás trágyaféleségek szárazanyag tartalmának meghatározásánál mért adatokat a 19. melléklet, a sertés almos trágya szerves anyag tartalmának izzítással történő mérésének paramétereit a 20. melléklet, a szarvasmarha almos trágya adatait pedig a 21. melléklet tartalmazza.

20. táblázat: Az almos szarvasmarha trágya és fejőházi szennyvíz kofermentációja során, a képződés arányában betárolt anyagok jellemzői két receptura esetében

| <b>Szarvasmarha almos trágya</b>       | <b>III. fermentor<br/>(2007.11.02.)</b> | <b>IV. fermentor<br/>(2007.11.03.)</b> |
|----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| Betárolt mennyiség                     | 12734 g                                 | 14137 g                                |
| Szárazanyag tartalom (21,3%)           | 2715 g                                  | 3014 g                                 |
| Szerves anyag tartalom (12,9%)         | 1648 g                                  | 1829 g                                 |
| <b>szarvasmarha fejőházi szennyvíz</b> | 37266 g                                 | 35863 g                                |
| szárazanyag tartalom (1,52 g/l)        | 56,6 g                                  | 54,5 g                                 |
| szerves anyag tartalom (0,592 g/l)     | 22,1 g                                  | 21,2 g                                 |

A tehenészeti telep fejőházi szennyvizének kísérleteim alapján nem volt mérhető gáztermelése, így az elméleti biogáz potenciál számításánál nem vettem figyelembe az egyébként is csekély szerves anyag tartalmát.

21. táblázat: A családi méretű tejtermelő tehenészeti telep szerves hulladék képződés arányában összeállított szubsztrát jellemzői és elméleti biogáztermelése

|                                                  |       |       |
|--------------------------------------------------|-------|-------|
| Betárolt mennyiség (kg)                          | 50    | 50    |
| Szárazanyag tartalom (%)                         | 5,43  | 6,03  |
| Szárazanyag tartalom (kg)                        | 2,715 | 3,015 |
| Szerves anyag tartalom (%)                       | 3,3   | 3,66  |
| Szerves anyag tartalom (kg)                      | 1,65  | 1,83  |
| Elméleti biogáztermelés (Ndm <sup>3</sup> /nap)* | 16,5  | 18,3  |

\*Megjegyzés: 10 l/kg \* nap szerves szárazanyaggal számítva, [Shulz 2001] [Kaltwasser, 1983]

### 2.2.2. A tanüzemben képződő, biogáz előállításra számba vehető szerves hulladékok kofermentációja

A kísérlet célja:

A kísérlet célja annak megállapítása, hogy a tanüzem egyes gazdálkodó egységeinek a termelődés arányában összemért szerves hulladékaiból álló szubsztrát anaerob fermentálásával képződik-e megfelelő összetételű és mennyiségű biogáz.

22. táblázat: A betárolt anyagok minőségi összetétele

|                                    | A szubsztrát összetétele (kg) | Száa. tart. (kg) | Sze.a. tart. (kg) | Száa. tart. (%) | Sze.a. tart. (%) | Sze.a. tart. száa.-ra vonatkoztatva (%) | Elméleti gáztermelés Ndm <sup>3</sup> /d |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|
| Szarvasmarha                       | 14,5                          | 3,09             | 1,88              | 21,32           | 12,94            | 60,68                                   | 18,8*                                    |
| Sertés                             | 8,2                           | 1,84             | 1,32              | 22,49           | 16,06            | 71,40                                   | 29,4**                                   |
| Sajttüzemi szennyvíz (savó nélkül) | 23,4                          | 0,0187           | 0,0096            | 0,08            | 0,041            | 51,25                                   |                                          |
| Fejőházi szennyvíz                 | 3,9                           | 0,0059           | 0,0023            | 0,15            | 0,06             | 40,00                                   |                                          |
| Összesen                           | 50                            | 4,96             | 3,21              | 9,92            | 6,41             | 64,62                                   | 48,2                                     |

\* 10Ndm<sup>3</sup>/nap; \*\*22,25 Ndm<sup>3</sup>/20nap[Kaltwasser, 1983]

A sajttüzemi szennyvíz nem tartalmaz tejsavót, mert a tejsavó értékesítése folyamatosan megoldható, de természetesen akadhatnak olyan gazdasági viszonyok, hogy az energetikai hasznosítás is szóba jöhet. A szennyvíz összetételét akkreditált laboratóriumi vizsgálati jegyzőkönyv formájában a 16. melléklet, szűkített formában pedig a 23. táblázat tartalmazza.

23. táblázat: A sajttüzemi szennyvíz paraméterei

|                             | mért érték | mértékegység | módszerazonosító    |
|-----------------------------|------------|--------------|---------------------|
| <i>Fizikai vizsgálatok:</i> |            |              |                     |
| elektromos vez.képesség:    | 1475       | US/cm        | MSZ EN 27888:1998   |
| <i>Kémiai vizsgálatok:</i>  |            |              |                     |
| pH                          | 4,40       |              | MSZ 260-4:1971      |
| Nitrit                      | <0,02      | mg/L         | MSZ 260-10:1985     |
| Nitrát                      | <1         | mg/L         | MSZ 260-11:1971     |
| Ammónium-nitrogén           | 35,70      | mg/L         | MSZ ISO 7150-1:1992 |
| Kémiai oxigénigény KOI (Cr) | >20000     | mg/L         | MSZ ISO 6060:1991   |
| Összes foszfor              | 60,60      | mg/L         | MSZ 260-20:1980     |
| Foszfát                     | 215        | mg/L         | MSZ 448-18:1977     |
| BOI <sub>5</sub>            | >4400      | mg/L         | MSZ ISO 5815:1998   |
| Kjeldahl-nitrogén           | 137        | mg/L         | MSZ EN 25663:1993   |
| Összes oldott anyag         | 2250       | mg/L         | MSZ 448-19:1986     |

### 2.2.3. A szarvasmarha szerves trágyás kísérletek módja, eszközrendszere:

A tejtermelő tehenészeti telep szerves hulladékaival végzett kísérletek jellemzői:

kézi keverés (napi öt alkalommal),  
szakaszos üzemmód,  
mezofil (38°C) hőmérséklet.

### Szárazanyag tartalom meghatározás:

A betárolt anyagok szárazanyag tartalmát szárítószekrényben 105°C fokon, tömegállandóságig szárítottam.

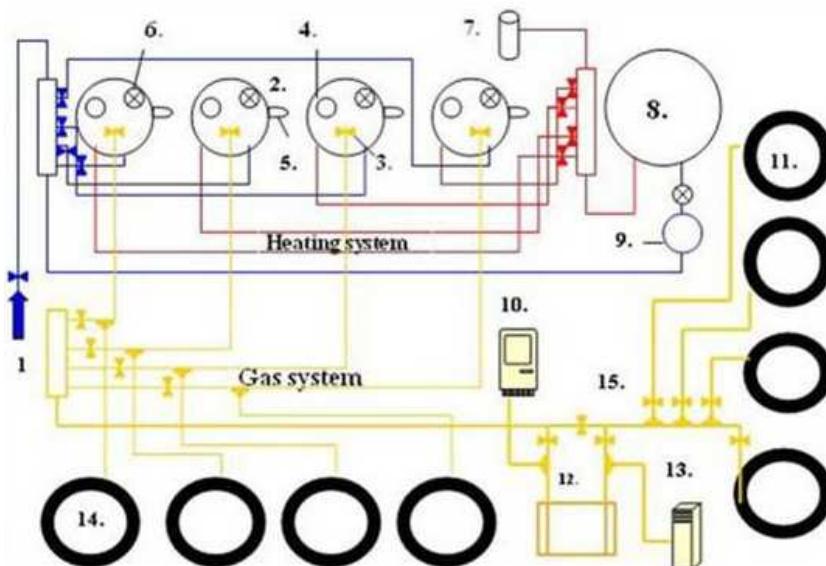
### Szerves anyag tartalom meghatározás:

A szerves anyag tartalmát 700°C –on, levegő jelenlétében történő hevítés során fellépő izzítási veszteségből, az almos trágya – szennyvíz keverék eléggé inhomogén jellege miatt tömegarányos jelleggel, híg fázis – szilárd fázis minták alapján számítottam.

### Gázképződés paramétereit:

A gázfejlődést naponta mértem normál gázmennyiség mérővel (8. melléklet), a metántartalmat pedig Dräger X-am 7000 hordozható gázanalizátorral vizsgáltam ().

Az 2. ábra a vizsgálatok számára megépített fermentor rendszert ábrázolja.



2. ábra: Saját kialakítású biogáz laboratórium vázlata, fűtéssel, elő- és utótárolásra alkalmas gázgyűjtéssel, gázmérővel

1. Fűtőrendszer feltöltő csatlakozás; 2. fermentor; 3. gázcsonk; 4. szubsztrátum-feltöltő csonk; 5. Kierjesztett anyag leeresztő csap; 6. hőmérő; 7. nyomáskiegyenlítő tartály; 8. bojler; 9. keringető szivattyú; 10. gázelemző készülék; 11. A termelődő gáz tárolása vizsgálatra, felhasználásra; 12. gázmérő; 13. gázelemző készülék; 14. Mennyiségmérés előtti gáztároló tömlő; 15. golyós csap

### A biogáz laboratórium kialakítása

A megújuló energiaforrásokra épülő erőmű beruházás kockázatát csökkentendő laboratórium létrehozása csak akkor lehet eredményes, ha valóban az üzemi viszonyokat megvalósító technikát készítünk.

A biogázhozamot befolyásoló tényezőknek megfelelően a kísérletek elvégzéséhez speciális eszközrendszerre, a laboratóriumi méretektől eltérő méretű, már az üzemi körülményeket reprezentáló fermentorok kialakítására van szükség. Fontos

követelmény a kísérleti jellemzők változtathatóságának megoldása, a keletkező gázmennyiség mérése és összegyűjtése és a gázmintavétel megoldása összetétel vizsgálathoz [Kalmár, et al, 2006]. Munkahelyemen, az SZTE MGK Takarmányozástani és Műszaki Intézetének műhelyében, a mezőtúrral funkcionálisan azonos, saját fejlesztésű eszközökkel végeztem párhuzamos kísérleteket (2. ábra).

A laboratórium alapvető eszközrendszerét a 4 db. fűthető, kézi keverőszerkezettel, a szubsztrátum feltöltő - leeresztő csapokkal, csonkokkal, a termelődő biogáz kinyerésére szolgáló csatlakozásokkal ellátott fermentorok jelentették. A laboratórium kialakításánál a kereskedelemben kapható szerelvényeket alkalmaztam, falra kerültek a későbbiekben felszerelésre kerülő keverő motorok és a fűtés energiaigényét mérő fogyasztásmérők, a gázgyűjtő és elosztó csapok, az egyetlen gázmennyiség mérő, valamint a elektromos vízmelegítő. A fűtés szabályozására fermentoronként is van lehetőség, a hőmérsékletet egyszerű, mechanikus hőmérőkkel ellenőrzöm. A fermentorokban termelődő gáz folyamatos gyűjtése gumitömlőkben történik, mivel nem áll rendelkezésünkre megfelelő mérőeszköz tekintettel a lassú, kis intenzitású folyamatra. Eredetileg a gázmérő utáni elkülönített tárolás lehetőségét is megteremtettem (14.) úgy, hogy visszafelé is mérhető a gázmennyisége, mivel fűtőérték alapján meg lehetne becsülni a gáz metántartalmát. Ebben a mérési sorozatban megállapíthattuk, hogy a rendszer ellenállása és valószínűleg tömítetlenségi veszteségei miatt az utólagos elkülönített tárolásnak nincs jelentősége, a gázóra (12) nem tudja mérni újból körbejáratva a gázt.

#### *A kiejedt anyag vizsgálatának módszere*

A tömegméréseket GIBERTINI EUROPE 1700 típusú, 0,01 g pontosságú mérleggel végeztem (9. melléklet). A kiejedt anyagot nedvességtartalma, szivattyúzhatósága alapján híg és szilárd fázisra osztottam, külön-külön megmértem, ill. kiszámítottam a szárazanyag és szerves anyag tartalmát. A két fázis tömeg tekintetében egyforma mennyiséget képviselt az egészen belül (31. táblázat).

A kísérlet eszközei egy automatizált keverőrendszerrel bővültek, napi 8 alkalommal, 1 perces időtartamban, módosított keverőlapát elhelyezéssel történt a szubsztrát homogenizálása (11. melléklet).

## 2.3 Biomassza és sertéshígtrágya kofermentációja

### 2.3.1. A sertéshígtrágya – adalék kofermentációs kísérletek célja

A félüzemi méretű fermentoros kísérletek célja annak igazolása, hogy a különböző adalékanyagok különböző mértékben növelik a termelt gáz mennyiségét és metántartalmát a választott anyagtól, a beadagolt mennyiségtől, a szerves – szárazanyag tartalomtól és a C/N aránytól függően.

### 2.3.2. A biogáz előállítási kísérletek során alkalmazott anyagok

Biogáz előállítási kísérleteim során alkalmazott *alapanyag* a sertéshígtrágya.

A nagyüzemi állattartó telepek trágyakezelési problémaköréhez tartozó feladatok komplex megoldásának halogatása következtében, ma már a legsürgősebben megoldandó környezetvédelmi problémák között van hazánkban is a sertéstelepi hígtrágyakezelés. A szakosított sertéstelepeken hazánkban a tényleges sertésállomány függvényében évente 8-11 millió m<sup>3</sup> hígtrágya keletkezik (65 kg-os sertés esetében ~7 kg/nap kövér trágya) [Kalmár, et.al. 2005]. Az állattartó telepek törekednek a hatályos törvényekben és jogszabályokban előírt minimumkövetelmények betartására, de a „fenntartható mezőgazdaság” riói elve, a mezőgazdasági termelés során keletkező melléktermékek környezeti károsodás nélküli visszaforgatása a jelenleg alkalmazott szétválasztás nélküli, fázisbontásos és tisztításos hígtrágya kezelési technológiákkal azonban még nem valósul meg.

### 2.3.3. Az alkalmazott kofermentek legfontosabb jellemzői

A kísérletekbe adalékanyagként bevont anyagok:

- a mint klasszikus takarmánynövény, a silókukorica
- b a búzakorpa, mint élelmiszeripari melléktermék
- c letermett laskagomba táptalaj, mint hulladék.

A biogáz előállításra alkalmas ipari melléktermékek és hulladékok főbb jellemzőit (szárazanyag-, szerves anyag, nitrogéntartalom, C:N arány, fajlagos gázhozam) a 2. melléklet mutatja. Az előzőekben bemutattam a biogáz képződésben részt vevő anyagok a termelődést leginkább befolyásoló jellemzőinek súlyát, szerepét. A 24. táblázat tartalmazza a vizsgálatok során alkalmazott mezőgazdasági hulladékok biogáztermelést befolyásoló paramétereit.

24. táblázat: A vizsgálatok során kofermentként alkalmazott melléktermékek biogáztermelést befolyásoló paraméterei

| <i>Jellemzők, mértékegységeik</i> | <i>sértés-hígtrágya</i> | <i>korpa</i> | <i>siló-kukorica</i> | <i>letermett laskagomba táptalaj</i> |
|-----------------------------------|-------------------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| pH [egység]                       | 6,8-7,2                 | 7,4          | 3,8                  | 6,5                                  |
| C/N arány                         | 5-10                    | 88           | 51,4                 | 30                                   |
| szárazanyag tartalom [%]          | ~4                      | 87           | 31,23                | 90,91                                |
| szerves sz.a. tartalom [%]        | ~3,8                    |              | 29,48                | 25                                   |

#### 2.3.4. A fermentációs kísérletek technológiája, a kísérletsorozatok menete

a) A kísérleti fermentorok feltöltése, a kezeléskombinációk beállítása

A gyakorlatban legelterjedtebb, folyamatos (rátöltéses) rendszer laboratóriumi szimulációja a homogén, állandó minőségű alapanyag igény miatt költségesebb, viszont üzemi körülmények között sem mindig lehetséges. Szilárd összetevők anaerob betárolása is körülményesebb, a keverés sem mintázza a méretbeli különbségek miatt az üzemit. Jól reprodukálhatók a folyamatszakaszok, mint az indítás, terhelésváltoztatás, receptura váltás, bizonyos szakvélemények szerint minden egyes napi méréskombináció külön kísérletnek minősíthető. A kezeléskombinációk menete a biogáz üzemek technológiáját követve időt biztosít baktériumkonzorciumok kialakulására, biztosítja a rendszer stabilitás vizsgálatát, a mért eredmények megbízhatóságát. A fermentáció folyamatát a 25. táblázat szerinti szakaszokra bonthatjuk [Kalmár et al 2006].

25. táblázat: A kofermentációs kísérletek technológiája

| Sorszám         | 1.             | 2.                              | 3.                | 4.                        |
|-----------------|----------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------|
| Folyamatszakasz | Stabilizálódás | Rátöltéses üzem, friss anyaggal | Felfutási időszak | Összehasonlító kísérletek |
| Kezelés         |                | Rátöltéses üzem, friss anyaggal |                   |                           |
| Időtartam       | 7 nap          | 14 nap                          | 21 nap            | 21 nap                    |

b) Mintavételezés a 2.3.6 pontban leírtak szerint.

c) Az elvégzett mérések, vizsgált paraméterek

1. Hígtrágya ill. biotrágya összetétel főbb jellemzői a folyamat elején és végén helyszíni, ill. laboratóriumi vizsgálatokkal

2. A fermentorokban lévő hígtrágya hőmérsékletének, oldott oxigéntartalmának, pH-jának, redox potenciáljának ellenőrzése 24 óránként- a metanogének optimális életfeltételeinek ellenőrzéséhez

3. A keletkezett biogáz mennyiség regisztrálása 24 óránként

4. A termelt biogáz %-os összetétele (helyszíni mérés esetén: CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, egyéb)

#### 2.3.5. A fermentációs kísérletek eszközszerrendszere

Magyarországon a létesítendő biogáz üzemek környezetében a lebontható biomassza potenciál igen változatos és üzemenként eltérő összetételben áll rendelkezésre. Ezért is indokolt az üzemek létesítése előtt az optimális üzemi technológiai paraméterek és a receptúrák behatárolása céljából minden esetben az üzemi körülményeket reprezentáló, növelt léptékű kísérletek elvégzése [Kalmár - Nagy 2006.]. A maximális metánhozam elérését célzó technológiai paraméterek behatárolásához egy olyan speciális eszközszerrendszer szükséges, amely segítségével az üzemi körülményekhez hasonló feltételek mellett – a biogáz keletkezési folyamatát befolyásoló tényezők változtatásával és az összes szükséges jellemző mérésével – elvégezhető a rendelkezésre álló biomasszával a kísérletsorozat. A kísérletek elvégzéséhez a Szolnoki Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Fakultásán rendelkezésre állt az üzemi körülményeket reprezentáló félautomata kísérleti eszközszerrendszer (3. kép). A laboratóriumban a biogáz keletkezés folyamatát befolyásoló technológiai paraméterek változtatása elvégezhető. A kísérleti fermentorok méretére ható tényezők figyelembe vételével kezelésenként ~ 50 dm<sup>3</sup> hígtrágya keveréket tudunk beadagolni. A fűthető térben elhelyezett, kézi erővel mozgatható, légmentesen zárható, hőszigetelt kísérleti fermentorokkal (3. kép) egyszerre 9 kezeléskombináció hatásának vizsgálata lehetséges [Kalmárné et al 2007].



3. kép: Kísérleti fermentor rendszer

Forrás: Kalmárné et al 2007

### **Az eszközrendszer elemei:**

kísérleti fermentorok  
keverő berendezések  
gázgyűjtő tározók  
gázmérők  
fűtőelemek  
mérőeszközök.

A biomassa komplex hasznosításának célja egyrészt a gázhozam fokozása, másrészt a visszamaradt kiejert biomassza mezőgazdasági (tápanyagpótló anyagként) történő hasznosítása.

A **C/N tartalom és arány** mérésével tudjuk ellenőrizni a bemenő és a kimenő biomassa összetételét és a fenti céloknak való megfeleléseit. A Vario Max CN elemvizsgáló makro elemzésekre (5g mintamennyiségig) alkalmas. A készülék működési elve a 900-1150 °C-on történő elégetéssel végzett szerves anyag analízis. Az elégetéssel kombinált gázanalíziskor a készülék optimalizálja az elégetés időtartamát biztosítva ezzel a tökéletes égést, majd a gázok egyes komponenseit adszorbeálva-deszorbeálva lehetővé válik az elemek pontos és gyors meghatározása (12. melléklet).

A **szárazanyag tartalom** meghatározása LP 321/3 szárítószekrényt, ill. izzítókamencét használtunk.

A kísérletek folyamán a mintavételezés után a különböző mintákban a lebontás során végbemenő változásokat mintavételenként a 26. táblázat szerinti paraméterek mérésével követtük nyomon.

A HYDROLAB elektromos mérőszondákat (13. melléklet) a kísérletek során a **vezetőképesség, oldott oxigén, pH, szalinitás (sókoncentráció), és redoxpotenciál** meghatározására használtuk.

A NANOCOLOR 300 D spektrofotométerrel (14. melléklet) **a kémiai oxigénigényt határoztuk meg.** A kémiai oxigénigény (KOI) a szennyvízben lévő, erős oxidálószerrel oxidálható oldott és szuszpendált szerves anyag térfogategységenkénti - szabvány által előírt körülmények közt meghatározott – oxigénigénye. A KOI magába foglalja az összes - adott körülmények között oxidálható – szerves- (biológiailag bontható és bonthatatlan szerves anyag) és az oxidálható szervetlen anyag mennyiségét is.

A GA45 gázanalizátorral a **keletkezett biogáz összetételét** mértük a fő összetevők (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, CO, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) vonatkozásában (15. melléklet).

*A méréseknél alkalmazott műszerek:*

26. táblázat: A kísérletsorozat folyamán mért paraméterek, használt mérőeszközök, módszer, gyakoriság

| Sorsz. | Mért paraméter                              | Eszköz, méréshatár, pontosság                                                                                                                                                                                   | Módszer                                                                                                                                                           | Megjegyzés                                        |
|--------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1.     | Fermentor hőmérséklete (°C)                 | digitális hőmérő, 30 – +300 °C, 1 tizedesjegy                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                   | 24 óránként                                       |
| 2.     | Fejlődő gázmennyiség (dm <sup>3</sup> /nap) | Baigengas zähler NB6 gázóra, 0,4 m <sup>3</sup> /h – 6 m <sup>3</sup> /h, 3 tizedes jegy                                                                                                                        |                                                                                                                                                                   |                                                   |
| 3.     | Gázösszetétel %                             | GA45 Infra-red Gas Analyser (gázkromatográf),<br>CH <sub>4</sub> : 0-100 tf%; 0,1 %<br>CO <sub>2</sub> : 0-100 tf%; 0,01 %<br>±0,07 tf% O <sub>2</sub> : 0-25 tf%; 0,01 %<br>H <sub>2</sub> S: 0-100 ppm; 1 ppm | elektrokémiai módszer<br>CO: 0-20000 ppm; 1 ppm<br>NO <sub>2</sub> : 0-1000 ppm; 1 ppm<br>H <sub>2</sub> : 0-50 ppm, 1 ppm;<br>NH <sub>3</sub> : 0-200 ppm, 1 ppm |                                                   |
| 4.     | Vezetőképesség (mS/cm)                      | 0-100 mS/cm, 4 tizedes-jegy                                                                                                                                                                                     | elektrometria                                                                                                                                                     | 24 óránként                                       |
| 5.     | Oldott oxigén (mg/l)                        | 0 – 20 mg/liter, 0,01 mg/liter                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                   |                                                   |
| 6.     | pH                                          | 2 – 12 egység, 0,01 egység                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                   |                                                   |
| 7.     | Szalinitás (PSS)                            | 0 – 70 pss, 0,01 pss                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                   |                                                   |
| 8.     | Redoxpotenciál (mV)                         | -999 – 999 mV, 1 mV                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                   |                                                   |
| 10.    | KOI <sub>k</sub> (mg/l)                     | Nanocolor 300 D digitális Filter Photometer, fotometrikus pontosság                                                                                                                                             | fotometria                                                                                                                                                        | szakmai szempontok alapján kiválasztott mintákból |
| 11.    | Szárazanyag tartalom                        | MIM LP-321/3 szárító szekrény 30 – 220 °C; ±0,5 °C                                                                                                                                                              | szárítási módszer, 105 °C-on végzett 3 órás szárítás, naponta                                                                                                     |                                                   |
| 12.    | szerves elem analízis [g]                   | Elementar VarioMAX CN Analyser<br>0,02 – 150 mg N<br>0,02 – 400 mg C<br>pontosság < 0,3 %                                                                                                                       | égetési módszer, alkalmanként                                                                                                                                     | 24 óránként                                       |

*Forrás: Nagy, V. 2010.*

A felszabaduló gáz az ideiglenes tároló tömlőben szobahőmérsékletű volt, a mérés, vizsgálat után eltávolítottuk, szűrésre, tisztításra nem került sor, a Nm<sup>3</sup> térfogatot számítással határoztam meg.

### 2.3.6. A méréseknél alkalmazott mintavételezési technológia

A fejlődött gázból történő mintavétel (a gázösszetétel mérését) gázlefúvás előtt történt, amikor a fermentorban még túlnyomás van, vagyis a gázszelepek kinyitása előtt. Így

elértük azt, hogy a fermentorban lévő túlnyomás megakadályozza a levegő bejutását, méréskor a tényleges gázösszetételt mértük, nem okoz zavart az egyébként kialakuló vákuum miatt kinyíló szelepeken keresztül kiáramló levegő visszaszívása. A méréshez elhasznált (mintavevővel kivett) minta mennyiségét hozzáadtuk a naponta fejlődő gáz mennyiségéhez (0,7 liter/ gázösszetétel mérés).

*A szubsztrátból történő mintavételt a fermentorokból gázlefúvás előtt, hogy a fermentorban legyen túlnyomás, mert így a minta könnyebben kifolyik - közvetlenül a keverés befejezése előtt, vagy közvetlenül a keverők leállása után végeztük. A kivett minta mennyisége 2,5 liter, ami azt jelenti, hogy a napi csere mennyisége a fermentor térfogat 5 %-a, így a kb. 50 liter hasznos fermentor térfogat miatt 20 nap alatt cserélődik. A fermentor tartalom egészének a szárazanyag tartalmához a mintát akkor vettük, amikor a fermentor tartalom összetétele minden ponton azonos, vagyis amikor a keverő már jól felkeverte, de még nem ülepedett vissza.*

*A kiejert anyag laboratóriumi vizsgálata*

A kiejert anyagból elvégeztük az összes K,P,N tartalom meghatározását, ami a lebomlás mértékéről, ill. a kiejert anyag mezőgazdasági hasznosíthatóságáról adhat információt.

A leengedett 2,5 liter mintából 1 literes mérőhengerbe töltöttük 1 litert, és figyeltük, hogy milyen fázisokra és mennyi idő alatt válik szét a kiejert anyag. Hat nap után vettünk mintát a szárazanyag tartalom, izzítási maradék,  $KOI_{cr}$ , C/N és a további mérésekhez. A vizsgálatokat az alábbi módszerekkel, a KVI-PLUSZ Környezetvédelmi Vizsgáló Iroda Kft. laboratóriumában végezték el, az összes oldható toxikus elem- és nehézfém-tartalom meghatározása az EPA METHOD 610 alapján zajlott. A minták összes foszfor- és kén-tartalmának mérése induktív csatolású plazma atomemissziós (ICP-AES) módszerrel, az E-5.4.-MU-01.szabvány szerint történt.

*A méréshez használt készülékek:*

Perkin Elmer Optima 5300 DV típusú ICP-OES készülék

Pharmacia LKB Ultrospec típusú UV-VIS spektrofotométer

#### *A szárazanyag tartalom mérése (háromszoros ismétléssel)*

A szárazanyag tartalom méréséhez szükséges mintamennyiség 3\*100 ml, mert 3 főzőpohárban (háromszoros ismételéssel) kb. 100-100 ml-t mértünk. A szárazanyag meghatározásához kivett mintamennyiség után maradt - a fermentorból származó - mintát a vezetőképesség, pH, stb. vizsgálatára alkalmaztuk.

A kivett mintát jól összekeverve a minta kódjával ellátott főzőpohárba öntöttünk kb. 100 ml-t. Ezt megismételtük még kétszer (összesen így egy fermentorból 3 mintánk lesz). A mintákat szárítószekrényben 105°C-on súlyállandóságig (kb. 12-24 óra) szárítottuk.

#### *Izzítási maradék mérése*

A szárazanyag tartalom mérése után maradt porított mintákból végeztük el. Az előre felfűtött (650°C) izzítókemencében a kb. 2 g. mintákat tartalmazó tégelyeket és kb. 2 óra hosszáig izzítottuk.

#### *C/N arány mérése (3-szoros ismételéssel)*

A szárazanyag tartalom mérése után maradt a porított mintákból a műszer használati utasításának megfelelően történt.

#### *KOI<sub>Cr</sub> mérése (ismétlés nélkül)*

A szárazanyag tartalom mérése után maradt porított mintából végeztük el.

Bemérés: kb. 0,1 g tesztcsőenként

Teszt: KOI 15 000

A KOI<sub>Cr</sub>-t mg O<sub>2</sub>/kg szárazanyagban adtuk meg.

#### *2.3.7. A visszaforgatásos kísérletek technológiája*

A nedves technológia előnye gépesíthetőség, a szivattyúzhatóság, az automatizálhatóság, viszont nagy mennyiségű folyadékot kell fűteni, hőn tartani, és ami a legnagyobb feladat, tárolni, elhelyezni. A kiejert anyag visszaforgatásával egyrészt fűtési energiát takarítunk meg, másrészt az esetlegesen ki nem erjedt fázist újrahasznosítjuk, ill. még hasznosítható baktériumokat tartalmazó fermentlével oltjuk be a szubsztrátot. Visszaforgatásos kísérleteinkben annak a lehetőségét vizsgáljuk, hogy csupán a mezőgazdaságban, vagy az élelmiszeriparban megtalálható növényi eredetű fő- és melléktermék, hulladék energetikai céllal történő alkalmazása működhet-e a sertéstelepi hígtrágya folyamatos rendelkezésre állása, utánpótlása nélkül. A kísérletek 20 napos hidraulikus tartózkodási időt szimulálva 5 %, azaz 2,5 liternyi mennyiséget cserélünk. Míg a kiengedett 2,5 liter „kierjedt” anyagot minden fermentorból külön

hordókba gyűjtjük hat napig, addig az adalékanyagokat előző nap vízben áztatva, majd a térfogatot kiegészítve 2,5 literre adagoljuk a fermentorba. Hat nap után a víz helyett az összegyűjtött kierjedt anyagból, a folyadékfázisban történik a minták beáztatása és a felöntést is ezzel végezzük (minden fermentorhoz a saját hulladékát használva). Így kevesebb vizet használtunk fel, kevesebb hulladék keletkezett.

### 2.3.8. A sertéshígtrágya kísérletek technológiája, az alkalmazott alapanyag – adalék receptúrák

#### Letermett laskagomba táptalaj és sertéshígtrágya kísérletek technológiája, az alkalmazott alapanyag – adalék receptúrák.

A kísérletsorozat alatt alkalmazott hozamfokozó adalékanyagok:

- 100 % letermett laskagomba táptalaj (GK)
- 75 % letermett laskagomba táptalaj + 25 % silókukorica (KS)
- 50 % letermett laskagomba táptalaj + 50 % silókukorica

A kísérletek egy részében kontroll jelleggel, kétféle szárazanyag tartalmú sertés hígtrágyát vizsgáltunk, 3,4 %, ill. 4,6 % szárazanyag tartalommal. Különböző mértékben (30g, 100g szárazanyag) terheltük a fermentorokat, valamint a silókukorica (KS) - gombakomposzt arányok változó receptúrákat képviselnek. A kísérleti keverékek összetételét a 27. táblázat: tartalmazza. A rátöltéses technológiánál a napi 5% kierjedt anyag leeresztés, hígtrágya utántöltés a napi rendszeres műveletek része.

27. táblázat: Letermett laskagomba táptalaj, silókukorica kísérletek paraméterei, adalékolása.

| Paraméter                                             | 1.                | 2.                | 3.        | 8.           | 9.           |
|-------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-----------|--------------|--------------|
|                                                       | fermentor         |                   |           |              |              |
| 5 tf. % hígtrágya+g/fermentor /nap szárazanyag adalék | csak 5% hígtrágya | csak 5% hígtrágya | 30        | 100          | 100          |
| Terhelés (g/ fermentor/ nap) gombakomposzt            |                   |                   | 33 (100%) | 55 (50%)     | 83 (75%)     |
| Terhelés (g/ fermentor/ nap silókukorica)             |                   |                   |           | 110,3 (50%)  | 55,14 (25%)  |
| Adalékösszetétel (száa.arány)                         |                   |                   | 100% GK   | GK/KS 50:50% | GK/KS 75:25% |

#### Búzakorpa és sertéshígtrágya kísérletek technológiája, az alkalmazott alapanyag – adalék receptúrák.

Az üzemi körülményeknek megfelelő paramétereket az előzőekben ismertetett kísérleti fermentorokban biztosítottuk. A hazai sertéstelepeken alkalmazott trágyaeltávolítási

technológiák miatt a kikerülő hígtrágya szárazanyag-tartalma 3-4 % körüli, amiből következően a folyamatos (rátöltéses) technológiát reprezentáló kísérleteket folytattunk. A kísérletek elvégzésére 2 fermentort töltöttünk fel, ezekben változtattuk a technológiai feltételeket. Az összehasonlíthatóság miatt először a fermentorokban közel hasonló kiindulási feltételeket alakítottunk ki (28. táblázat).

28. táblázat: Kísérleti kezeléskombinációk malomipari korpa adalékkal

| S.sz. | Folyamat szakasz                                     | Idő-tartam | Kezelések fermentoronként                                                            |          | megjegyzés |                                                                      |
|-------|------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|----------------------------------------------------------------------|
|       |                                                      |            | 2.                                                                                   | 3.       |            |                                                                      |
| 1.    | Stabilizálódás                                       |            | Összetétel: 50% friss hígtrágya; 25% trágya a tárolóból; 25% iszap a tárolóból       |          |            | Azonos körülmények<br>32 – 37 °C közötti hőmérséklet, eltérő eljárás |
| 2.    | Rátöltéses üzem, friss anyaggal                      | 7 nap      | naponta 6,6 tf % friss sertéshígtrágya rátöltés                                      |          |            |                                                                      |
| 3.    | Rátöltéses üzem, friss anyaggal, (felfutási időszak) | 15 nap     | 6,6 tf % friss anyag rátöltése                                                       |          |            |                                                                      |
|       |                                                      |            | korpa-adalék 60g/nap (45g sz.a.)                                                     | kontroll |            |                                                                      |
| 4.    | Összehasonlítható kísérletek, rátöltéses üzem        | 15 nap     | Összetétel: naponta 6,6 tf % friss anyag rátöltés (1,2,3 – sertéshígtrágya; 4 – víz) |          |            |                                                                      |
|       |                                                      |            | korpa- adalék 60g/nap (45 g sz.a.)                                                   | kontroll |            |                                                                      |
| 5.    | visszaforgatott anyag                                | 15 nap     | Naponta 6,6 tf % visszaforgatott anyag rátöltés                                      |          |            |                                                                      |
|       |                                                      |            | korpa adalék 60g/nap (45 g sz.a.)                                                    | kontroll |            |                                                                      |

A fermentorokban rátöltéses biogáz-előállítási technológiát modelleztünk oly módon, hogy a fermentortérfogat **6,6 tf %**-ának megfelelő kierjedt trágyát és vizet kiengedtünk és ugyanannyi frisset utántöltöttünk. A kiengedett anyagot hordónként összegyűjtöttük. Ezen felül az 1. a 2. és 4. sz reaktorokba 60g mennyiségű malomipari korpát adagoltunk naponta. (Ennek szárazanyag tartalma mintegy **45 g**.) Ettől kezdve a reaktorok folyamatos üzemben, állandó napi terheléssel működtek, azonos hőmérsékleten. Később egy trágyatakarékos rendszert modellezve továbbra is kiengedtük a fermentortérfogat 6,6 tf %-át, de a reaktorokba az előzőleg külön összegyűjtött kierjedt trágyát, fermentumot forgattuk vissza (28. táblázat).

## 2.4 A kofermentációs kísérletek értékelése, módszertana

Szempontok:

- a termelődött gázmennyiség
- metántartalom,

- a kiejedt szubsztrát száraz-, szerves anyag tartalma
- az alapanyagként használt sertéshígtrágya és az adalékok kofermentációja során a trágya változó tulajdonságainak a teljesítményt befolyásoló hatásának kiszűrésére létrehoztam egy *együtthatót*, a metántermelést osztva a kontroll metántermelésével. Így a különböző időpontokban esetlegesen jelentkező trágya minőségváltozásának hatását ki tudom küszöbölni.
- A vizsgált paraméterek, ill. a mért paraméterek változásának tendenciája alapján bírálom el egy receptúra, illetve a fermentációs technológia (rátöltött mennyiség, gyakoriság, keverés, az adalékok szükséges előkezelése, stb.) alkalmasságát a teljesítmény fokozás tekintetében.

## 2.5 A kofermentációs kísérletek értékelésénél használt statisztikai módszerek

A kofermentációs kísérletek statisztikai elemzésére Excel táblázatkezelő és **SPSS for Windows 18.0** statisztikai programot használtam. Az adatokat varianciaanalízis, valamint független két-mintás t-próba módszerével elemeztem. A homogenitást a Levene teszttel vizsgáltam. A csoportpárok összehasonlításakor a Tamhane-tesztet (heterogenitás esetén) és a LSD-tesztet (homogenitás esetén) alkalmaztam. A változók közötti összefüggés-vizsgálatokat korreláció-analízissel (Pearson-féle korrelációs együttható) és regresszió-analízissel végeztem.

Az adatok feldolgozásához szükséges biometria számításokat és jelöléseket [Sváb, 1981; Huzsvai, 2004-2010; Sajtos és Mitev, 2007] által megfogalmazottak figyelembevételével alkalmaztam.

a) Független kétmintás t-próbát használtam az alábbi kísérletek értékelésénél, ill. a csoportok függetlenségének vizsgálatánál Levene tesztet. A nullhipotézis az volt, hogy a két beállítás (szarvasmarha telep: 5,43%; 6,03% száa. tartalom, szarvasmarha almos trágya + fejőházi mosóvíz; **tanüzemi szerves hulladékkeverék** frissen, ill. fél évig tárolt formában) biogáztermelése, illetve metántartalma megegyezik egymással.

b) Független kétmintás T-próbát alkalmaztam a két különböző szárazanyag tartalmú **sertés hígtrágya kontroll**, valamint a letermelt laskagomba komposzt, a komposzt + különböző arányú silókukorica kofermentációja, búzakorpa biogáztermelése és a biogáz metántartalma elemzésekor.

## **2.6 A kofermentációs kísérletekből levonható következtetések**

- a. Mivel a biogáztermelésnél általában másképpen nem hasznosítható, környezetterhelést jelentő szerves melléktermékek és hulladékok energetikai hasznosításáról van szó, akkor megfelelően állandó gáztermelés, metántartalom és szárazanyag tartalom esetén a receptúra és a technológia egyaránt alkalmazható.
- b. Ha az egyéb paraméterek (pH, szalinitás, redoxpotenciál) normálisak, de a termelés intenzitása csökken, a szubsztrát szárazanyag tartalma nő, akkor
  - b/1 a terhelés csökkentésével kell biztosítani a lebontáshoz szükséges megfelelő tartózkodási időt (hígtrágya rátöltés aránya + az adalékok mennyisége),
  - b/2 a várt eredmény elmaradása esetén előkezeléssel javítani kell a biodegradációs képességeket befolyásoló tulajdonságokon (homogenitás, méret, felület)
  - b/3. meg kell vizsgálni a baktériumkezelés lehetőségét.
- c. Meg kell vizsgálni a technológia megfelelőségét (természetesen a technika alkalmazása esetén).

### 3 AZ EREDMÉNYEK ISMERTETÉSE

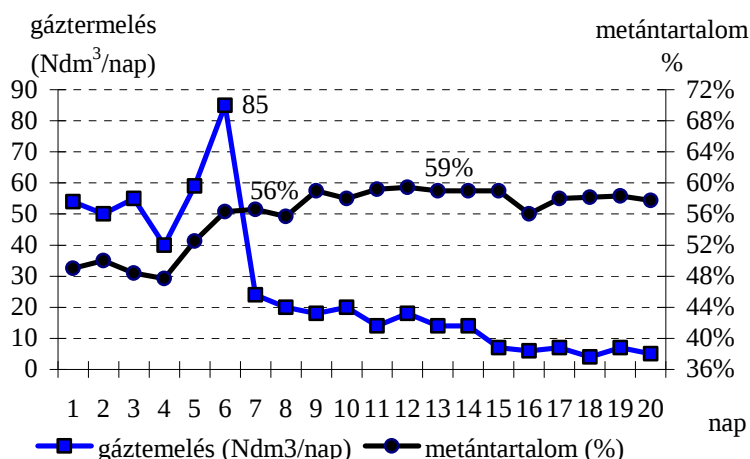
#### 3.1 Családi méretű tejtermelő tehenészeti telep szerves hulladékainak kofermentációja

##### *A kísérlet célja*

A kísérlet első, közvetlen célja volt annak megállapítása, hogy a fejőházban a fejőgép, a tejhűtőgép tisztítására használt mosó-fertőtlenítő szerekben dús szennyvíz megakadályozza-e a trágya anaerob lebontását, csökkenti-e a metánképződést. Az eredeti célkitűzés szerint a fermentorokban a képződés arányaiban találhatók a legnagyobb tömegben képződő szerves hulladékfajták, de feltételezve eltérő helyzeteket, többféle összeállítást is szimuláltam.

A III. és IV. fermentoroknál sikerült pontos száraz anyag – szerves anyag tartalmat beállítani (20. táblázat), az I. fermentorban valószínűleg tömítési problémák miatt nem képződött mérhető biogáz, a II. számúnál pedig kísérletképpen hozzáadtam 650 g száraz kenyérmaradékot.

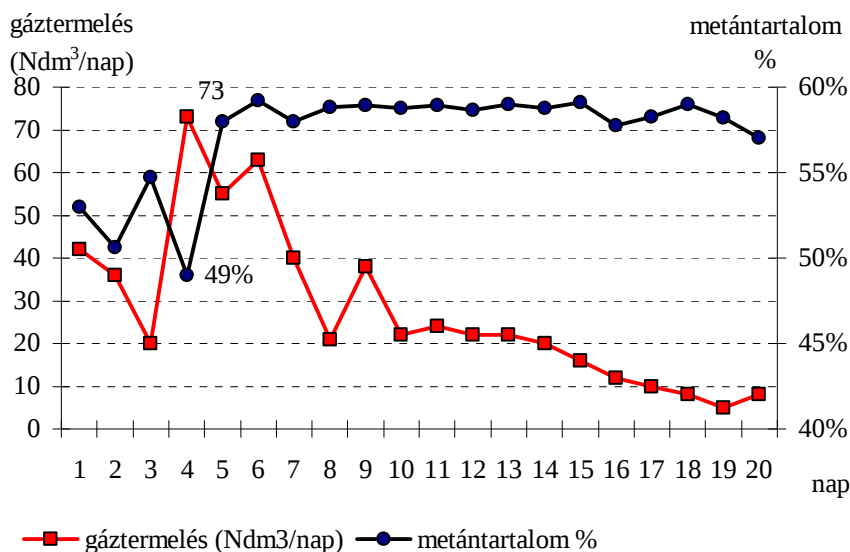
Az irodalmi adatok szerint a szarvasmarha almos trágya szárazanyag tartalma 25%, szerves anyag tartalma 19%, míg a tanüzemi adatok 21-22%, ill. 13-16% körül találhatók. A fűtőrendszer keringető szivattyújának energiaigényét, ebben a sorozatban gépi keverés hiányában külön mértem, s megállapítható, hogy egy fűtött helyiségben, hőszigetelt fémhordókat alkalmazva a keringetés energiaigénye egytizede a fűtésigénynek.



3. ábra: A 3. sz. fermentor (5,43% száa. tartalom) biogáztermelése és a gáz metántartalma

A 29. táblázatban megjelenített adatok szerint a 11%-kal magasabb szárazanyag tartalmú szubsztrát fermentálása 6,91 %-kal nagyobb gázkihozattal, illetve 8,48 %-kal

nagyobb metánkihozataalt eredményezett. Az irodalmi ( $10\text{Ndm}^3/\text{nap}/\text{szea.kg}$ ) értékhez képest 57, ill. 52 %-kal nagyobb gáztermelést tapasztaltam. Szárazanyagra vonatkoztatva a befektetés hatékonysága nem nőtt, viszont az eszközkihasználtságra vonatkozóan javult ( $0,29 < 0,32\text{ Ndm}^3\text{metán}/\text{dm}^3\text{ fermentor}/\text{nap}$ ) (29. táblázat). Az 5,43% szárazanyag tartalmú szubsztrát maximális napi biogáztermelése  $85\text{Ndm}^3/\text{nap}$ , 56% metántartalomnál, míg a 6,03% szárazanyag tartalmú szubsztrát maximális napi biogáztermelése  $73\text{ Ndm}^3/\text{nap}$ , 49% metántartalomnál (5. ábra, 6. ábra).



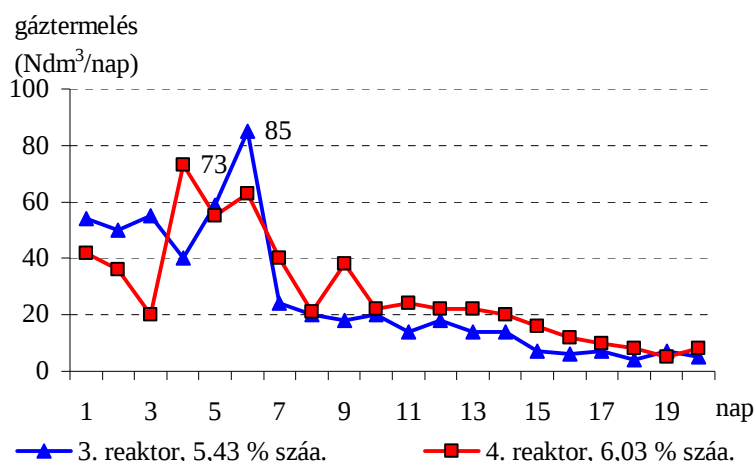
4. ábra: A 4. sz. fermentor(6,03% száa.) biogáztermelése és a gáz metántartalma

29. táblázat: Gáztermelés szarvasmarha almos trágya és fejőházi szennyvíz kofermentációja esetében

|                                                                                            |              |              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|
| Fermentor sorsz.                                                                           | 3.           | 4.           |
| Szárazanyag tartalom (%)                                                                   | 5,43         | 6,03         |
| Szerves anyag tartalom (%)                                                                 | 3,30         | 3,66         |
| Szárazanyag tartalom (kg)                                                                  | 2,715        | 3,01         |
| Szerves anyag tartalom (kg)                                                                | 1,65         | 1,83         |
| gáztermelés $\cdot (\text{Ndm}^3)$                                                         | 521          | 557          |
| <b>átl. gáztermelés (<math>\text{Ndm}^3/\text{nap}</math>)</b>                             | <b>26,05</b> | <b>27,85</b> |
| max. gáztermelés                                                                           | 85           | 73           |
| max. metántartalom                                                                         | 59           | 59           |
| átl. metántartalom (%)                                                                     | 56,18        | 57           |
| átl. metántermelés ( $\text{Ndm}^3/\text{nap}$ )                                           | 14,63        | 15,87        |
| fermentortérfogatra vonatkoztatott átl. termelés ( $\text{Ndm}^3/\text{dm}^3/\text{nap}$ ) | biogáz       | 0,52         |
|                                                                                            | metán        | 0,29         |
| Elméleti biogáztermelés ( $\text{Ndm}^3/\text{nap}$ )**                                    | 16,5         | 18,3         |
| átl. gáztermelés ( $\text{Ndm}^3/\text{nap}$ )/elméleti gáztermelés                        | 1,58         | 1,52         |

Megjegyz.:\* 20 napos, szakaszos üzemű fermentáció esetében,\*\*  $10\text{ Ndm}^3/\text{kgszea.}/\text{nap}$ , [Kaltwasser, 1983]

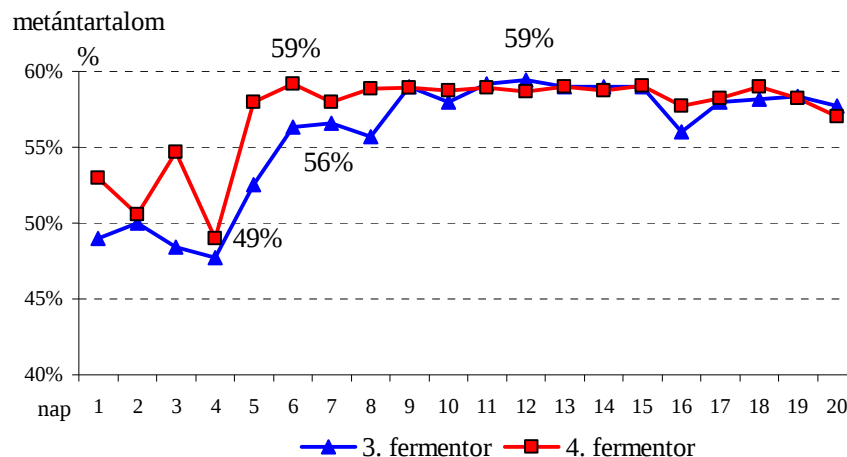
A biogáztermelés némi ingadozás után gyorsan felfutott, 85 Ndm<sup>3</sup>/nap maximum után az irodalomban is megtalálható módon lassan lecsökkent (5. ábra). Az alacsonyabb gáztermelést nyújtó, kisebb száraz-, szerves anyag tartalmú szubsztrát stabilabb, magasabb metántartalmat produkált. A szárazanyag tartalom-növekedés nem állt arányban a termelésnövekedéssel ebben a tartományban (6. ábra).



5. ábra: Gáztermelés szarvasmarha almos trágya és fejőházi szennyvíz kofermentációja esetében

#### A tehenészeti telep szerves hulladékaiból mintázott fermentációs kísérletek eredményeinek statisztikai elemzése

A kétféle szárazanyag tartalom beállítás gáztermelésének az idő függvényében történő változását az 5. ábra, míg a statisztikai vizsgálatnál használt független kétmintás T-próba eredményeit a 23. melléklet tartalmazza. Megállapítható, hogy a két fermentor átlagos termelése közötti különbség 1,8 Ndm<sup>3</sup>/nap. A Levene teszttel végzett homogenitás vizsgálat a vizsgált adatcsoportok esetén nem mutatott ki szignifikáns különbséget, ebből következően mindkét vizsgált minta homogén. A T-próba eredménye (P= 0,788) alapján a vizsgált adatcsoportok között nem mutatható ki szignifikáns eltérés. Ezt követően végeztem el a 3. és 4. fermentorok metánképződés (6. ábra) adatainak statisztikai elemzését (24. melléklet). A kétmintás független T-próba eredménye 1,4% metántartalom különbséget mutatott. Nagyobb metántartalmat a 4. sz. fermentorban mértem, de a különbség statisztikailag nem igazolódott (P=0,211). A Levene teszt homogenitást igazolt a csoporton belül (P=0,148).

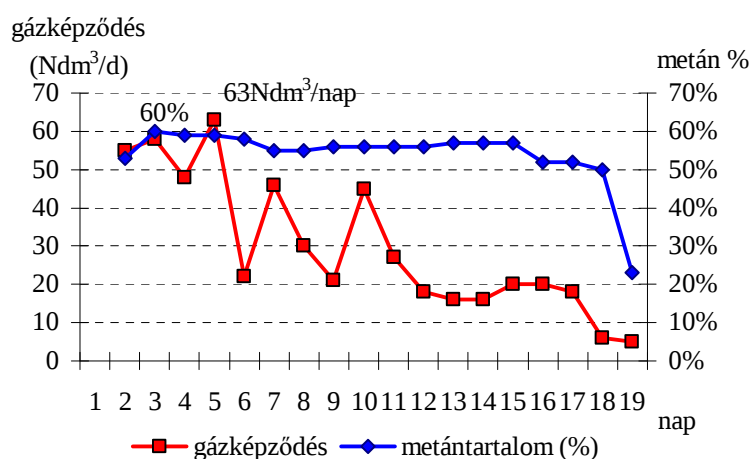


6. ábra: A tejtermelő tehenészeti telep szerves hulladékaiból (friss almos trágyából és fejtőházi szennyvízből) képződött biogáz metántartalma.

### 3.2 A tanüzemben képződő, biogáz előállításra számba vett szerves hulladékok kofermentációja

#### A kísérletek célja

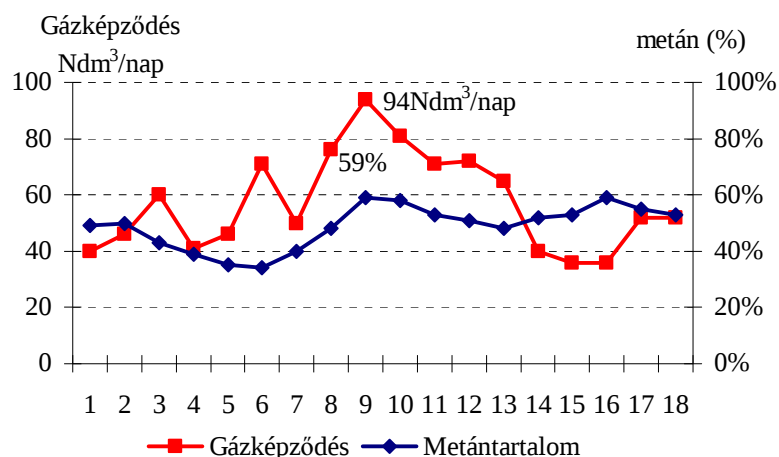
A fermentációs kísérletek célja annak bizonyítása, hogy az SZTE MGK mintafarm képes lehet a kis területen elhelyezkedő családi méretű gazdaságok esetében felmerülő közös problémák (hulladékgazdálkodás, energiaellátás, stb.) megoldása tekintetében helyi jelleggel megoldást találni.



7. ábra: Biogáz képződés szobahőmérsékleten tárolt almos trágyakeverék esetében

A szobahőmérsékleten levegőtől részben elzárva tárolt tanüzemi szerves hulladék receptura a már korábban elindult lebomlási folyamatok miatt a friss trágya teljesítményének ( $1,12 \text{ Ndm}^3/\text{dm}^3/\text{nap}$ ) csak kevesebb, mint a felét ( $0,54 \text{ Ndm}^3/$

dm<sup>3</sup>/nap) produkálta. Az anaerob viszonyok gyorsabban kialakultak, mivel a metántartalom felfutása is már a második, harmadik napon megtörtént (7. ábra). A tárolt trágya maximális gázképződése 63 Ndm<sup>3</sup>/nap volt (1,26 Ndm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup> fermentor/nap), míg a friss trágyáé 94 Ndm<sup>3</sup>/nap (1,81Ndm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup> fermentor/nap) (8. ábra). A friss trágyakeverék átlagos metántartalma (49%) öt százalékkal volt kevesebb, mint a fél évig tárolt szubsztráté (30. táblázat).

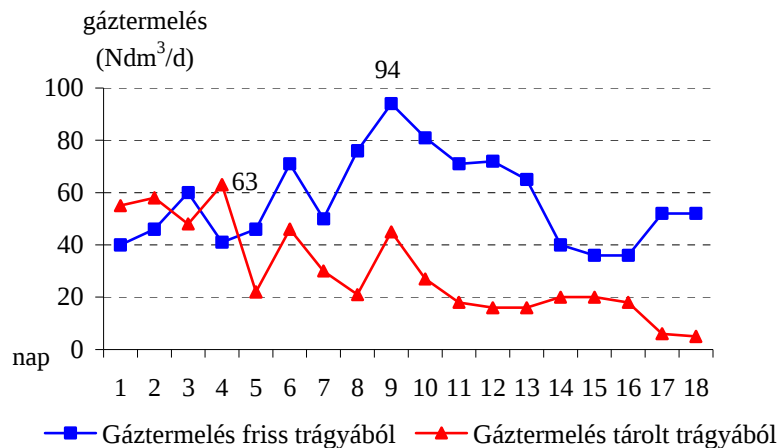


8. ábra: Biogáz képződés friss almos trágyakeverék fermentációjánál

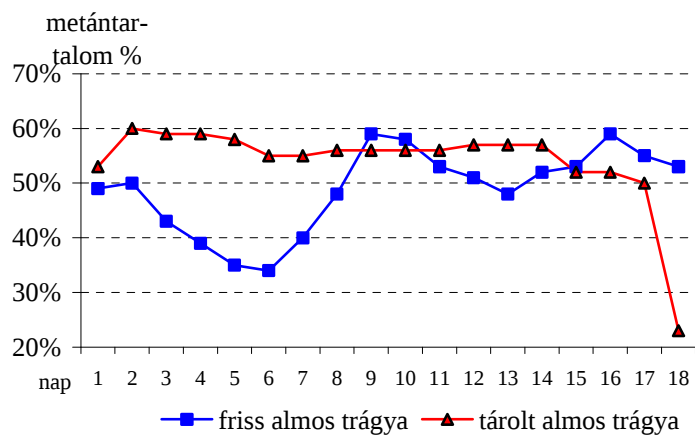
A friss almos trágya esetében a maximális gázképződés időpontja egybeesik a metánhányad csúcspontjával, lefutása alatt még hosszú ideig termel 50-60 % közötti metántartalmú biogázt (8. ábra).

#### A tanüzemi szerves hulladékok kofermentációjának statisztikai értékelése

A tanüzemi szerves hulladékok biogáztermelési görbéit a 9. ábra, és a 10. ábra tartalmazza. A gáztermelési, valamint a metánképződés adatait kétmintás független T-próbával, a homogenitást a csoportokon belül Levene tesztel elemeztem. A kapott eredmények a friss almos trágya esetében 57,17Ndm<sup>3</sup>/nap, ill. a tárolt trágya esetében 29,67Ndm<sup>3</sup>/nap átlagos termelést mutatnak. A statisztikai próba, melynek értékeit a 25. melléklet tartalmazza a csoportok között szignifikáns ( $P < 0,001$ ) különbséget mutatott ki. A különbség 27,1Ndm<sup>3</sup>/nap. A Levene teszt pedig a csoportokon belül homogenitást jelzett ( $P = 0,857$ ).



9. ábra: Különböző állagú almos trágyaféleségek gáztermelése



10. ábra: Különböző állagú almos trágyaféleségek fermentációja során képződő biogáz metántartalma

A fél évig tárolt és a friss szarvasmarha almos trágya, valamint az egyéb tanüzemi szerves hulladékok együttes fermentációja során képződött biogáz metántartalma között 5,1% különbség tapasztalható (26. melléklet). A nagyobb érték esetében a Levene teszt homogenitást igazolt ( $P=0,389$ ), a t-próba  $P<10\%$  szinten szignifikáns különbséget mutatott ki ( $P=0,062$ ).

30. táblázat: Különböző állagú almos trágyaféleségek gáztermelése

|                                                                                                    | tárolt | friss |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------|
| Szárazanyag tartalom (%)                                                                           | 9,51   | 9,92  |
| Szárazanyag tartalom (kg)                                                                          | 4,76   | 4,96  |
| szerves anyag tartalom (%)                                                                         | 6,21   | 6,41  |
| szerves anyag tartalom (kg)                                                                        | 3,11   | 3,21  |
| átl. metántartalom (%)                                                                             | 54     | 49    |
| gáztermelés *(Ndm <sup>3</sup> )                                                                   | 544    | 1122  |
| átl. biogáztermelés (Ndm <sup>3</sup> /nap)                                                        | 27,2   | 56,04 |
| elméleti gáztermelés                                                                               | 48,2   | 48,2  |
| átl. gáztermelés/elméleti gáztermelés                                                              | 0,56   | 1,16  |
| átl. metántermelés (Ndm <sup>3</sup> /nap)                                                         | 14,69  | 27,46 |
| fermentortérfogatra vonatkoztatott átlagos gáztermelés *(Ndm <sup>3</sup> /dm <sup>3</sup> /nap)   | 0,54   | 1,12  |
| fermentortérfogatra vonatkoztatott átlagos metántermelés *(Ndm <sup>3</sup> /dm <sup>3</sup> /nap) | 0,29   | 0,55  |

\*Megjegyz.: 20 napos, szakaszos üzemű fermentáció esetében, [Kaltwasser, 1983]

A metántartalom felfutása a gázképződés intenzitás-növekedéssel párhuzamos, csökkenése viszont nem követi, egészen hosszan tartja a viszonylag nem rossz, 50-60% közötti értékét (6. ábra, 7. ábra, 8. ábra, 9. ábra). A konkrét adatokat összehasonlítva a fél évig szobahőmérsékleten, levegőtől elzárva tárolt trágya biogáz hozama gyorsabban csökken, maximumát tekintve pedig kb. 60 % -a volt a frissnek. Bár a metántartalom szempontjából az 5% eléggé jelentős különbség a két összeállítás között (10. ábra) több mint kétszeres a termelés, egy, a metántartalomra nem túlságosan érzékeny felhasználás esetében a friss trágya használata nagyságrendi előnyökkel járhat. Ez utal a trágyatermeléshez megfelelően illeszkedő üzemméret – kialakítás, valamint a beadagolás ütemezésének fontosságára.

Lebontás tekintetében az almos trágyák szárazanyag és a szerves anyag tartalmához képest egyformán történt csökkenés, a szerves anyag aránya a szárazanyaghoz viszonyítva alig változott (31. táblázat, 32. táblázat).

31. táblázat: A kiejedt anyagféleségek szerves és szárazanyag tartalma az eredetileg friss trágya vonatkozásában

|                    | Szea./száa. (%) | Száa. tart. (%) | Szea. tart. (%) |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| kiejedt híg fázis  | 66              | 2,4%            | 1,6%            |
| kiejedt sűrű fázis | 67              | 17,7%           | 11,8%           |
| Átlag              | <b>66,9</b>     | <b>10,5</b>     | <b>7,24</b>     |

Az 50 dm<sup>3</sup> űrtartalmú fermentorban nem tökéletesen homogenizálható almos trágya átlagos száraz-, szerves anyag tartalmának meghatározása csak a jellemző fázisok megmérésével, ill. az arányaiknak megfelelő számítással lehetséges. Ezt illusztrálja a

31. táblázat az eredetileg friss trágya adataival. A biogáz képződés során a 38 °C hőmérsékleten hetekig fermentált anyagból erjesztett biogáz vízgőzben telített, a tároló gumitömlekből időről-időre jelentős mennyiségű vizet kellett eltávolítani. Ez a kiejedt anyag mennyiségének változásában és a bizonyos mértékű sűrűsödésében követhető nyomon (32. táblázat).

32. táblázat: A kiindulási és a kiejedt anyagféleségek szerves és szárazanyag tartalma az eredetileg friss trágya tekintetében

|               | mennyiség<br>(kg) | Száa.<br>tart.<br>(kg) | Sze.a.<br>tart.<br>(kg) | Száa.<br>tart.<br>(%) | Sze.a.<br>tart. (%) | Sze.a./<br>száa.(%) |
|---------------|-------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| szubsztrát    | 50                | 4,96                   | 3,21                    | 9,92                  | 6,41                | 64,62               |
| kiejedt anyag | 41,52             | 4,36                   | 2,92                    | <b>10,5</b>           | <b>7,24</b>         | <b>66,9</b>         |
| különbség     | 8,48              | 0,6                    | 0,29                    | nem értelmezhető      |                     |                     |

A szarvasmarha telepi és a tanüzemi szerves hulladékok kofermentációjának eredményeit összefoglaló módon ábrázolja a 39. táblázat.

### 3.3 Sertéshígtrágya és mezőgazdasági, élelmiszeripari fő- és melléktermékek kofermentációja

#### *A kísérletek célja*

Az üzemi körülményeknek megfelelően végzett fermentoros kísérletsorozat célja annak igazolása, hogy a különböző adalékanyagok különböző mértékben növelik a termelt gáz mennyiségét és annak metántartalmát a választott anyagtól, a beadagolt mennyiségtől, a szerves – szárazanyag tartalomtól és a C/N aránytól függően.

A metántartalom és a biogáz mennyiség közel azonos ciklusú hullámozása a sertés hígtrágya változó paramétereinek tulajdonítható, mivel az adalékok beltartalmi értékeit megfelelő tárolással biztosítottuk. Ez a trágya és a kofermentek szinergikus kapcsolatára utal a biogáz előállítás két fontos jellemzője tekintetében.

### 3.3.1. Gombakomposzt energetikai célú hasznosíthatósága sertés hígtrágyába adagolt silókukorica felhasználásával.

A gáztermelés és a technológiai feltételek változásainak összefüggése az összehasonlító vizsgálati időszak során:

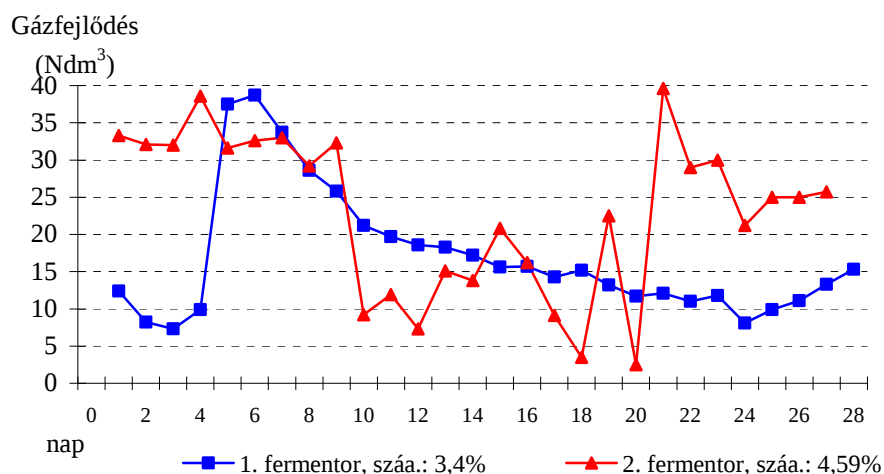
*A hígtrágya alapú kontroll (csak sertéshígtrágya, adalékanyagok nélkül)*

**Az átlagos szárazanyag tartalom növekedésével nőtt a fejlődő gáz átlagos mennyisége és az átlagos CO<sub>2</sub> tartalma.**

a) Közel 35 %-os átlag szárazanyag tartalom-növekedés közel 35 %-os átlag gázmennyiség növekedést, de ezzel együtt kb. 15 %-os átlag CO<sub>2</sub> tartalomnövekedést is okozott, míg a metántartalom 0,2-0,3 %-kal nőtt. Tehát a sertés hígtrágya szárazanyag tartalom növekedése arányosan teljesítménynövekedést is jelentett (33. táblázat, 11. ábra).

33. táblázat: A hígtrágya alapú kontroll fermentorok átlagos gáztermelése (csak sertéshígtrágya, adalékanyagok és baktériumkezelés nélkül)

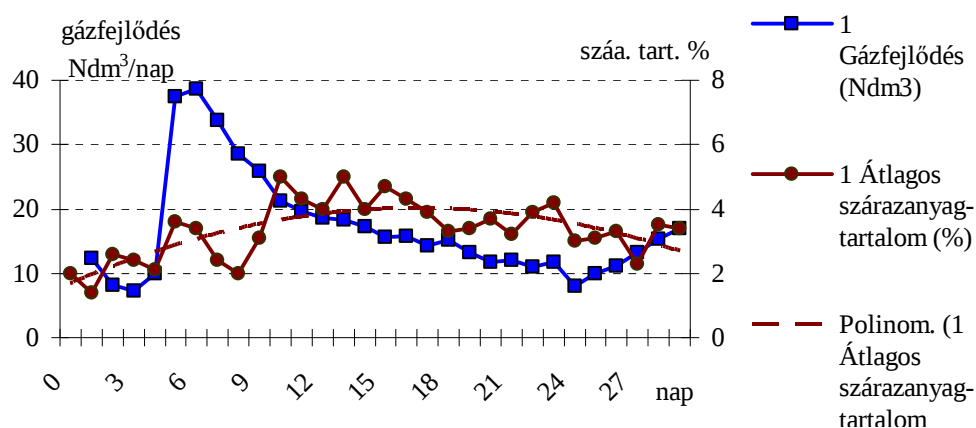
| Kontroll fermentor sorsz. | Átl. száa. tart. (%) | Gáz-fejlődés (Ndm <sup>3</sup> /nap) | Fajl. gáz-termelőds (Ndm <sup>3</sup> /kg száa./nap) | Metán-képződés (Ndm <sup>3</sup> /nap) | Metán (%) | Szén-dioxid (%) | Egyéb gázok (%) |
|---------------------------|----------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|
| 1.                        | 3,40                 | 16,98                                | 9,9                                                  | 10,0                                   | 58,92     | 26,52           | 14,5            |
| 2.                        | 4,59                 | 23,04                                | 10,0                                                 | 13,61                                  | 59,07     | 30,64           | 10,3            |



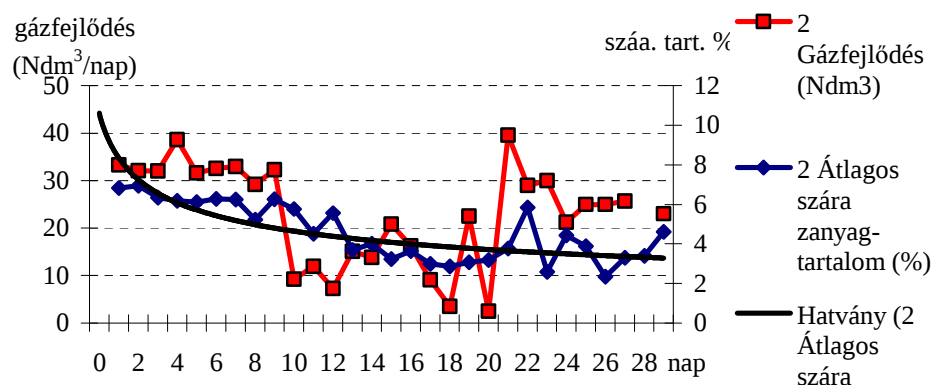
11. ábra: A hígtrágya alapú kontroll fermentorok átlagos napi gáztermelése (csak sertéshígtrágya, adalékanyagok és baktériumkezelés nélkül)

### 3.3.2. A hígtrágya alapú kontroll fermentorok átlagos gáztermelésének és a termelt biogáz metántartalmának statisztikai elemzése

A hígtrágya kontrolok napi **gáztermelés** átlagértékei közötti közepes különbség 6,062 Ndm<sup>3</sup>/nap (27. melléklet). A homogenitás vizsgálat során a Levene teszt homogenitást mutatott ki (P=0,071). A T-próba szignifikáns különbséget jelzett (P=0,025). A kontroll fermentorokban képződött biogáz metántartalom – változását a 14. ábra ábrázolja, statisztikai elemzését pedig a 29. melléklet tartalmazza. **Metántartalom** tekintetében a Levene teszt (P=0,433) homogenitást mutat, a 0,024% különbség nem szignifikáns (P=0,978).

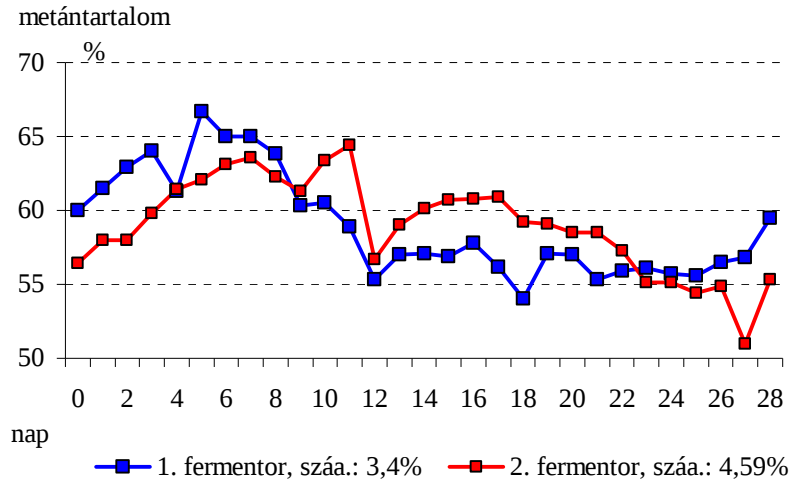


12. ábra: Sertéshígtrágya kontroll gáztermelése és szárazanyag tartalom változása 3,4 % száa. tartalomnál.

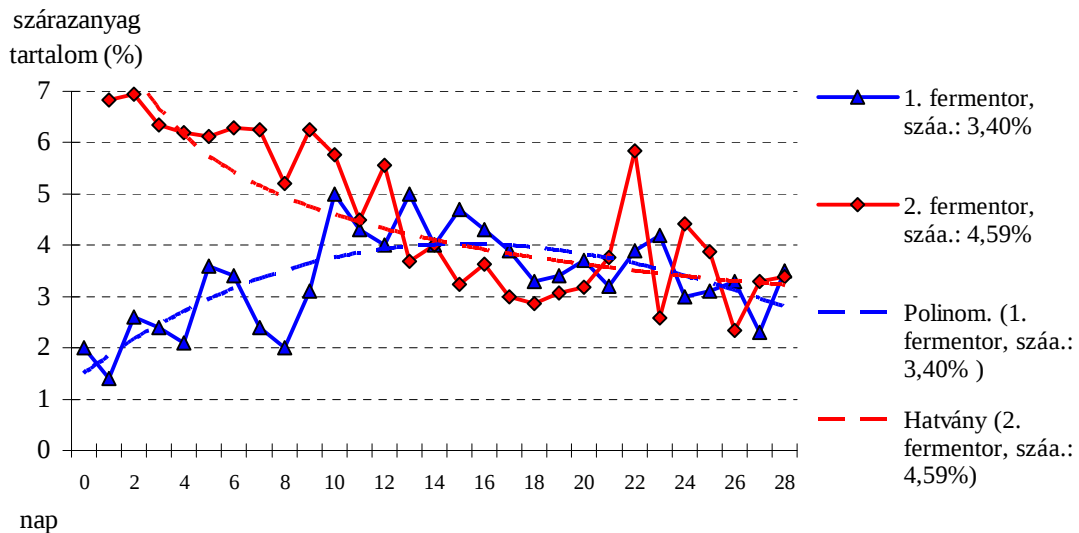


13. ábra: Sertéshígtrágya kontroll gáztermelése és szárazanyag tartalom változása 4,6 % száa. tartalomnál.

b) Ebben a szárazanyag-tartományban (3,4-4,6 %) a szárazanyag tartalom növekedése nem befolyásolta lényegesen a metántartalmat (14. ábra, 33. táblázat).



14. ábra: A hígtrágya alapú kontroll fermentorok metántartalma (csak sertéshígtrágya, adalékanyagok és baktériumkezelés nélkül)



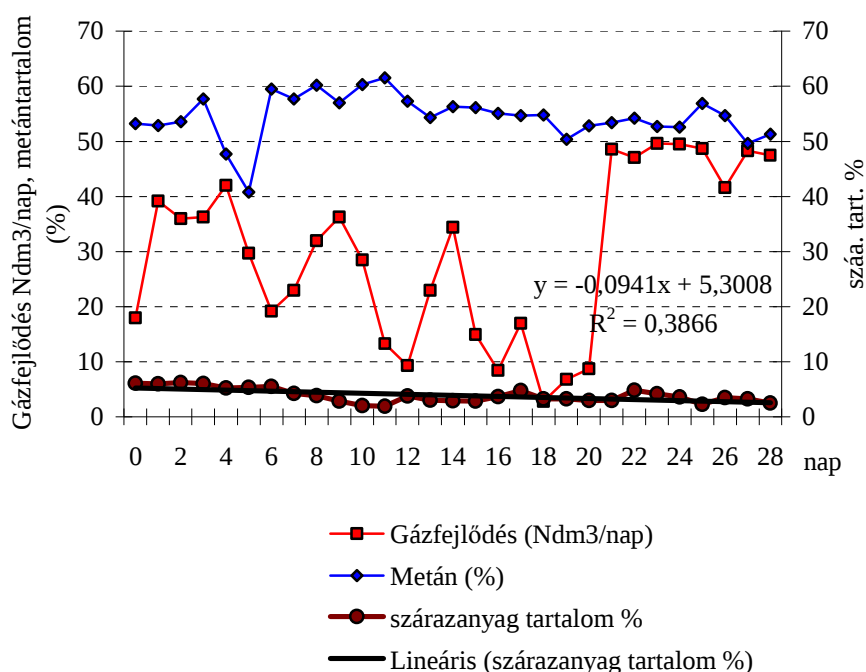
15. ábra: A hígtrágya alapú kontroll fermentorok szárazanyag tartalma (csak sertéshígtrágya, adalékanyagok és baktériumkezelés nélkül)

A 3,4% átlagos szárazanyag tartalmú sertéshígtrágya kontroll szárazanyag változását  $R^2=0,5473$  erősséggel leíró,  $y = 0,0001x^3 - 0,0149x^2 + 0,3893x + 1,1269$  függvény trendje a szárazanyag tartalom csökkenését prognosztizálva további terhelésnövekedést engedélyez, ami a termelés növekedését vonhatja maga után.

A 4,59% szárazanyag tartalmú sertéshígtrágya kontroll szárazanyag változását  $R^2 = 0,6214$  erősséggel leíró  $y = 11,048x^{-0,3658}$  függvény trendje nem jelzi a későbbi növekedést, tehát a fermentáció az adott paraméterekkel várhatóan fenntartható lehet.

*Gázfejlődés sertéshígtrágya alapon, letermett gombakomposzt adalékolással, (adalékanyag: 30g 100% gombakomposzt):*

- a. A kontroll és a gombakomposzt adalék felhasználását összehasonlítva azt láthatjuk, hogy az adalékolás hatására a gázfejlődés megnövekedett, a metántartalma viszont csökkent. A széndioxid tartalom szintén növekedett, az egyéb gázok mennyisége pedig csökkent.
- b. A gázfejlődés-növekedés nagyobb mértékű a hasonló szárazanyag tartalmú kontrollhoz viszonyítva, mint a metántartalom csökkenés, az eredmény pedig még az alkalmazható kategóriába esik. **(29 Ndm<sup>3</sup>/nap/ fermentor 30 g 100% gombakomposzt terheléssel, 16,7Ndm<sup>3</sup>/nap/fermentor kontroll - + 70% termelésnövekedés; 54,5% metántartalom 30 g 100% gombakomposzt terheléssel, 58,9% metántartalom kontroll - 7,5% csökkenés)**



16. ábra: A kísérlet paramétereinek alakulása letermett gombakomposzt adalékolással (30 g száa./nap).

A 30g szárazanyag tartalmú komposzt adalékolással végzett kofermentációnál képződő biogáz mennyiséget  $R^2 = 0,3866$  szorossággal leíró  $y = -0,0941x + 5,3008$  függvény trendje alapján megállapítható, hogy a lebontás mértéke a csökkenő szárazanyag tartalom alapján magasabb terhelést engedhet, a metántartalom még elfogadható mérsékelt esése esetén is változtatott motorbeállítások mellett akár motorikus felhasználásra is alkalmazható.

## Statisztikai értékelés

A gáztermelés viszonylatában a 3,4% szárazanyag tartalmú sertéshígtrágya kontroll és a 30g/nap letermett gombakomposzt adalékolás esetében a Levene teszt heterogén csoportokat mutatott ( $P < 0,01$ ). A T-próba szerinti ( $P < 0,01$ ) 12,669 Ndm<sup>3</sup>/nap különbség szignifikáns (29. melléklet). Metántartalomra vizsgálva a Levene teszt szintén heterogén kapcsolatot ( $P = 0,01$ ) mutatott, a T-próba 3,526% szignifikáns különbséget igazol ( $P = 0,072$ ).

### *A sertéshígtrágya bázisú, letermett laskagomba táptalaj és silókukorica adalékolásával végzett kísérletek értékelése*

Az adalékanyag összetétel-változásának hatására a napi átlagos gáztermelés jelentős eltérést mutat. Ennek oka a különböző adalékanyagok más-más C/N arányában és bonthatóságában keresendő.

A silókukoricával és letermett laskagomba táptalajjal adalékolt fermentorokban mind a gáztermelés, mind a biogáz metán tartalma 50% silókukoricát adalékolva jelentősen csökkent. A rendszer metántartalma átlagosan nem érte el az 50 %-ot, valamint nagymértékben megnőtt az egyéb gázok mennyisége.

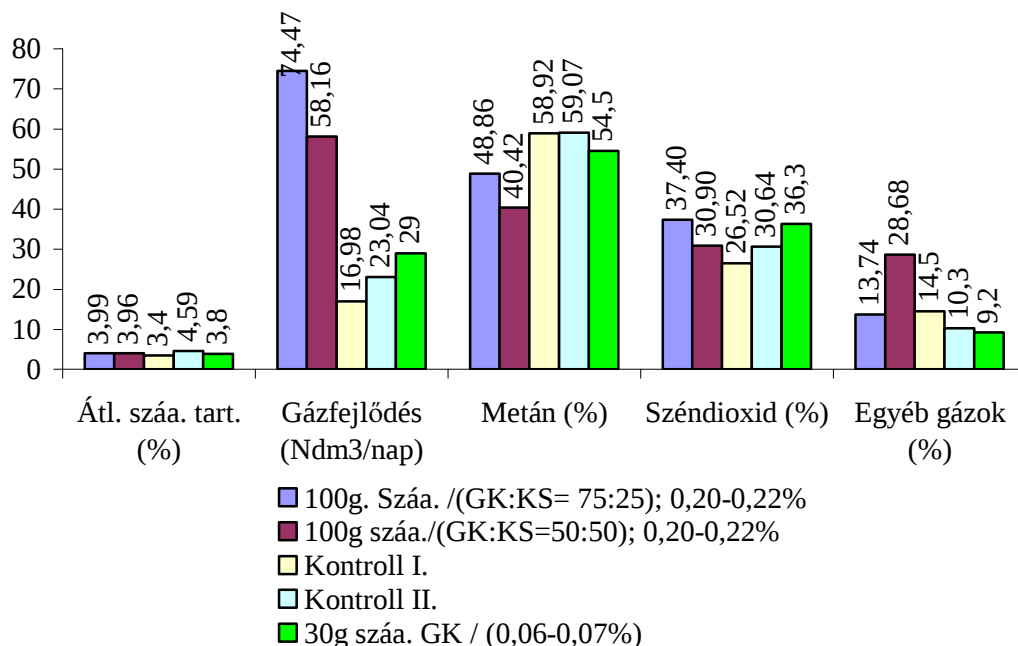
A gombakomposzt környezet a nagyobb arányú, nagyobb szecskaméretű, kevésbé megbontható silókukorica adalékkal a baktériumok számára külön baktériumkezelés nélkül csak kis metántartalmú biogázt eredményez, ami még megfelelően átalakított égőfejekkel közvetlen hőhasznosításra, vagy pl. mikro gázturbinával elektromos energiatermelésre is alkalmas.

34. táblázat: Az átlagos gázfejlődés paraméterei sertéshígtrágya alapon, letermett gombakomposzt, valamint silókukorica adalékolással, baktériumkezelés nélkül

| terhelés/<br>fermentor/nap;<br>száa.tart./<br>fermentor/nap | Átlagos<br>száa.<br>tartalo<br>m(%) | Gázfejl.<br>ődés<br>(dm <sup>3</sup> /<br>nap) | Metán<br>(%) | Szén-<br>dioxid<br>(%) | Egyéb<br>gázok<br>(%) | Egységnyi fermentor-<br>térfogatra vonatkoztatott<br>napi gázkepződés |       |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|--------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------|
|                                                             |                                     |                                                |              |                        |                       | biogáz                                                                | metán |
| Kontroll I.                                                 | 3,40                                | 16,98                                          | 58,92        | 26,52                  | 14,5                  | 0,3                                                                   | 0,2   |
| Kontroll II.                                                | 4,59                                | 23,04                                          | 59,07        | 30,64                  | 10,3                  | 0,41                                                                  | 0,26  |
| 30g/ (0,06-0,07%)                                           | 3,80                                | 29,00                                          | 54,50        | 36,3                   | 9,20                  | 0,58                                                                  | 0,32  |
| 100g/(GK:KS=<br>75:25); 0,20-0,22%                          | 3,99                                | 74,47                                          | 48,86        | 37,4                   | 13,7                  | 1,49                                                                  | 0,73  |
| 100g/(GK:KS=50:5<br>0); 0,20-0,22%                          | 3,96                                | 58,16                                          | 40,42        | 30,9                   | 28,7                  | 1,16                                                                  | 0,47  |

A letermett gombakomposzt és silókukorica adalékkal végzett sertéshígtrágya kofermentációs kísérletek eredményeit vizuálisan megjelenítve ábrázolja a 17. ábra. Az

egyéb gázok (kénhidrogén, ammónia, stb.) nagymértékű megjelenése rontja az alkalmazás feltételeit.



17. ábra: Átlagos gázfejlődés paraméterei sertéshígtrágya alapon, letermett gombakomposzt, valamint silókukorica adalékolással, baktériumkezelés nélkül

### Statisztikai értékelés

35. táblázat: Hígtrágyaalapú fermentorok letermett gombakomposzt és silókukorica adalékolással kísérletek statisztikai értékelése

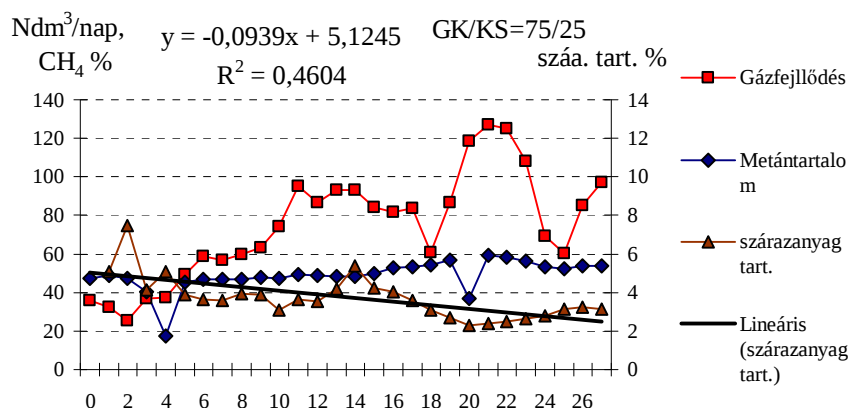
(Az átló alatt a csoportok átlagértékeinek különbsége, az átló felett a szignifikancia szint található).

|                                               | 3. fermentor            | 4. fermentor | 5. fermentor |
|-----------------------------------------------|-------------------------|--------------|--------------|
|                                               | Tukey - teszt eredménye |              |              |
| 3.fermentor 30g száa. adagolás/nap – 100% GK; | -                       | 0,004        | 0,000        |
| 4.fermentor, 100g száa. GK:KS=50:50;          | 21,39                   | -            | 0,000        |
| 5.fermentor, 100g száa. GK:KS=75:25-          | 52,845                  | 31,46        | -            |

A csoportpárok közötti különbségeket a mely az egyik „legszigorúbb” Tukey-teszttel [Huzsvai, 2004-2010] elemeztem. Eredményeimet a szemléltetem. Legnagyobb eltérést a 3. és az 5. fermentor összehasonlításakor találtam. A statisztikai próba, melynek értékeit a táblázat átló feletti része tartalmazza, minden csoport összehasonlításakor szignifikáns eltérést igazolt (31. melléklet, 35. táblázat).

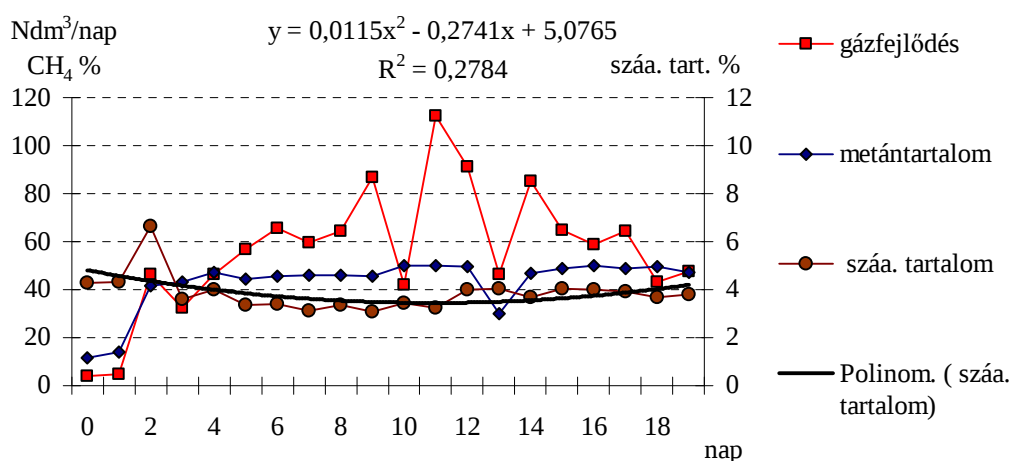
A három különböző letermett gombakomposzt adalékolás eredményeinek statisztikai vizsgálata során a Tukey teszt a három csoporton belül homogenitást állapított meg. A

varianciaanalízis (Anova) szerint a csoportok között szignifikáns különbség van ( $P < 0,01$ ). A csoportpárok közötti összehasonlítás minden esetben szignifikáns különbséget bizonyított.



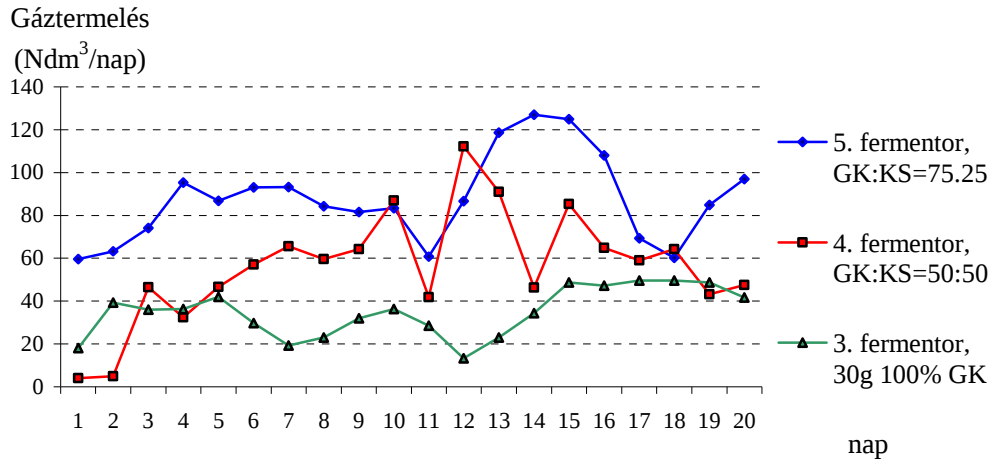
18. ábra: A kísérlet paramétereinek alakulása letermett GK:KS=75:25 adalékolással (100 g sz.a./nap)

A napi 100g szárazanyag tartalmú, GK:KS=75:25 arányú letermett gombakomposzt - silókukorica adalékolással,  $R^2 = 0,4604$  szorossággal, az  $y = -0,0939x + 5,1245$  függvénnyel leírható trend szerint változó szárazanyag tartalommal leírható kofermentáció  $74,47\text{Ndm}^3/\text{nap}$  átlagos biogáztermeléssel fenntartható módon működhet.



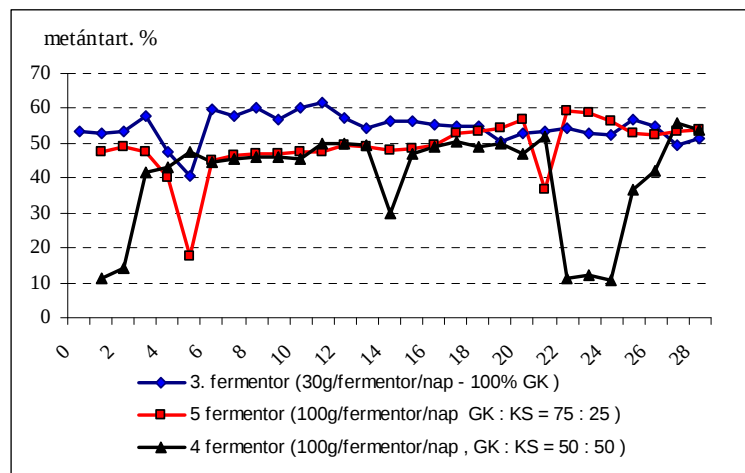
19. ábra: A kísérlet paramétereinek alakulása letermett GK:KS=50:50 adalékolással (100 g sz.a./nap)

A napi 100g szárazanyag tartalmú, GK:KS=50:50 arányú letermett gombakomposzt - silókukorica adalékolással,  $R^2 = 0,2784$  szorossággal, az  $y = 0,0115x^2 - 0,2741x + 5,0765$  függvénnyel leírható trend szerint változó szárazanyag tartalommal  $58,16\text{Ndm}^3/\text{nap}$  biogáztermelést, valamint csak átl. 40,42% metántartalommal jellemezhető gázösszetételt produkál.



20. ábra: Gázképződés alakulása: 3. fermentor, 30g száa. 0,06-0,07% száa. adagolás/nap – 100% GK; 4. fermentor, GK:KS=50:50; 5. fermentor GK:KS=75:25- 0,20-0,22% száa. adagolás/nap, 4% száa. tartalmú sertéshígtrágya alapon

A kísérletek azt bizonyítják, hogy az adalékanyagként alkalmazott melléktermékek jelentősen megnövelték az alacsony szerves szárazanyag tartalmú sertéshígtrágya alapanyag biogáztermelését, ugyanakkor nem csökkentették a biogáz metántartalmát. A vizsgált adalékanyagok eltérő hozamfokozása C/N arányának tulajdonítható.



21. ábra: Metántartalom alakulása letermelt laskagomba komposzt és silókukorica adalékolással 4% szárazanyag tartalmú sertéshígtrágya alapon

A metántartalom együttes ingadozása a különböző fermentoroknál technológiai okokra vezethető vissza.

### Statisztikai értékelés

A letermelt laskagomba komposzt és silókukorica adagolásával végzett kísérletek során képződött biogáz metántartalmi adatainak statisztikai elemzését Tukey-tesztel végeztem. A teszt homogenitást mutatott a 4. fermentor adatainál ( $P=0,01$ ). A 3. és az 5.

fermentorpárok között szignifikáns különbség van  $P=0,01$  szinten, míg a 4. és az 5. fermentor közötti különbség  $P=0,005$  szinten 5,64% (36. táblázat, 32. melléklet)

36. táblázat: Hígtrágyaalapú fermentorok letermelt gombakomposzt és silókukorica adalékolással kísérletek gáztermelésének statisztikai értékelése metántartalom szempontjából

(Az átló alatt a csoportok átlagértékeinek különbsége, az átló felett a szignifikancia szint található).

|                                               | 3. fermentor            | 4. fermentor | 5. fermentor |
|-----------------------------------------------|-------------------------|--------------|--------------|
|                                               | Tukey - teszt eredménye |              |              |
| 3.fermentor 30g száa. adagolás/nap – 100% GK; | -                       | ,085         | 0,000        |
| 4.fermentor, 100g száa. GK:KS=50:50;          | 5,64                    | -            | ,005         |
| 5.fermentor, 100g száa. GK:KS=75:25-          | 14,09*                  | 8,44286      | -            |

### 3.3.3. Búzakorpa felhasználhatóságának vizsgálata biogáz hozam fokozása tekintetében

**Az első vizsgálati szakasz: rátöltéses technológia, *friss anyag* rátöltése mellett (15 nap, 37. naptól az 51. napig):**

Kettő reaktort napi 6,6 tf % friss hígtrágyával terheltünk, A 2. sz. reaktorokba 60g mennyiségű malomipari korpát adagoltunk naponta.

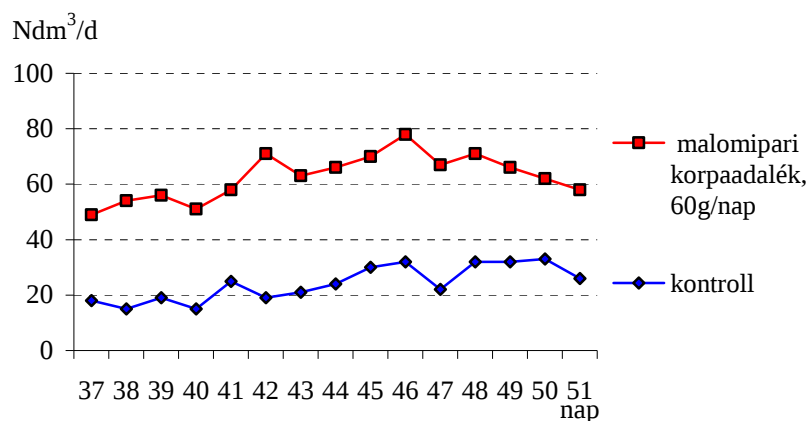
A kezeletlen (kontroll) reaktor (3. fermentor) gáztermelését vizsgálva megállapítható hogy az adott időszakban jóval kevesebb gáz termelődött, mint a másik sertéshígtrágya alapú biomasszából. Az esetek többségében a kezelt reaktor gáztermelésének felét sem érte el. A kontroll reaktor átlagos gáztermelése:  $24 \text{ dm}^3 \text{ biogáz/dm}^3/\text{nap}$ . A malomipari korpával adalékolt (2. fermentor) gáztermelése a rátöltéses időszakban kisebb-nagyobb eltéréseket mutat. Ennek oka a friss hígtrágya szerves szárazanyag tartalmában keresendő. Üzemi körülményeket modellezve különböző szárazanyag-tartalmú friss hígtrágyát alkalmaztunk. A feltöltésre használt alacsony szerves szárazanyag tartalmú friss hígtrágya esetenként ingadozást okozott a gáztermelésben.

37. táblázat: A fermentorok átlagos gáztermelése az összehasonlító kísérletek során, búzakorpa adalékolásával

2. fermentor: 6,6 tf % friss hígtrágya +60g korpa; 3. (kontroll) fermentor: 6,6 tf % friss hígtrágya;

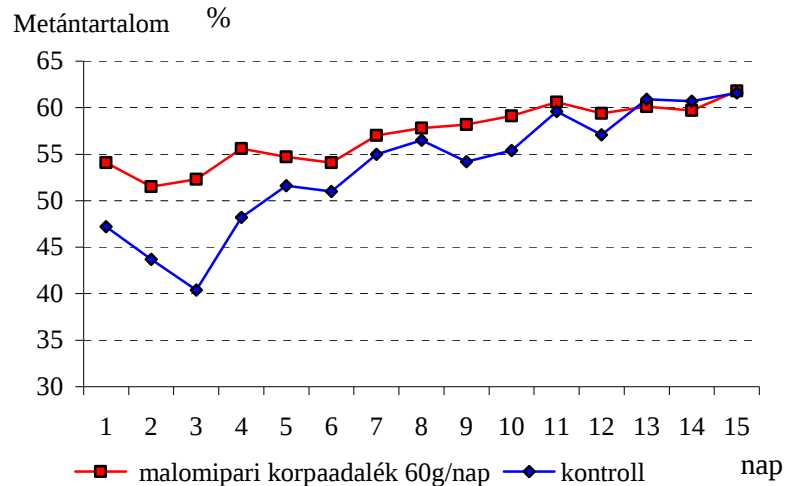
| Mért jellemző, alkalmazott technológia |                |                                             | Napi gáztermelés, fajlagos értékek<br>( $Ndm^3$ gáz/nap, $Ndm^3$ gáz/dm <sup>3</sup> /nap) |                  |                                                         |                                                                                   |             |
|----------------------------------------|----------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|
|                                        |                |                                             | 2. sz. fermentor<br>(+60g száa. korpa)                                                     | 3. kontroll      | A kontroll (3.) fermentor gáztermelésére vonatkoztatott | 2. fermentor                                                                      | 3. kontroll |
|                                        |                |                                             | 6,6 tf % friss hígtrágya                                                                   |                  |                                                         | egységnyi fermentortérfogatra vonatkoztatott<br>( $Ndm^3$ gáz/dm <sup>3</sup> /d) |             |
| metántermelés                          | biogáztermelés | friss anyag rátöltése során                 | 62,7                                                                                       | 24,2             | 2,59                                                    | 1,25                                                                              | 0,48        |
|                                        |                | visszaforgatásos technológia során          | 42                                                                                         | 10,1             | 4,16                                                    | 0,84                                                                              | 0,20        |
|                                        |                | friss anyag rátöltése során<br>$Ndm^3$ /nap | 35,9<br>(57,26%)                                                                           | 13,2<br>(54,54%) | 2,72                                                    | 0,72                                                                              | 0,26        |
|                                        |                | visszaforgatásos technológia során          | 24,2<br>(57,62%)                                                                           | 6,3<br>(62,38%)  | 3,84                                                    | 0,48                                                                              | 0,13        |

A 2 sz. fermentor gáztermelése a vizsgálati időszak 2. napján már elérte az 50 dm<sup>3</sup>/napos termelést, és átlagosan 62,6 dm<sup>3</sup> biogázt termelt naponta (37. táblázat, 22. ábra). A reaktorokban termelődött biogáz metántartalma minden esetben meghaladta az 50 %-ot, esetenként a 60 %-ot is (23. ábra, 38. melléklet).



22. ábra A vizsgált időszak gáztermelése, rátöltéses technológia, *friss anyag* rátöltése mellett (15 nap: 37. naptól az 51. napig)

A hígtrágya malomipari korpaadalék kofermentációja során az adalékos kísérletek között a korpaadalék egyedülálló módon nemcsak a gázképződést növelte meg, hanem a metántartalmat is 3,5%-kal.



23. ábra: A reaktorokban termelődött biogáz metántartalma, rátöltési technológia, *friss anyag* rátöltése mellett (15 nap: 37. naptól az 51. napig)

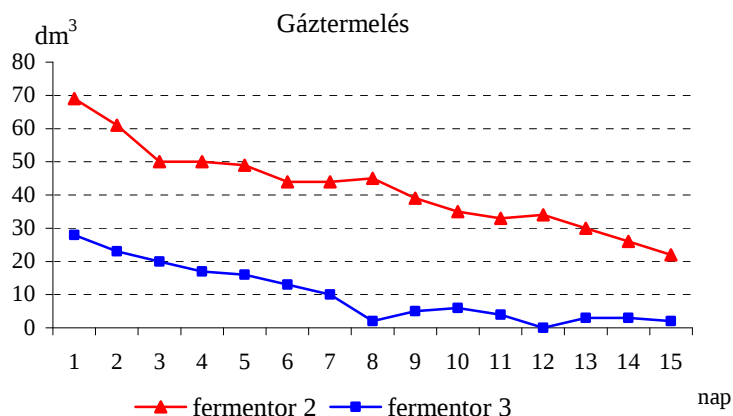
#### **Az első vizsgálati szakasz statisztikai értékelése:**

A friss anyag rátöltése mellett folytatott kísérletek gáztermelési adatcsoportok esetében a T- próba homogenitást ( $P=0,342$ ) állapított meg, az átlagértékek szignifikáns különbsége  $38,46 \text{ Ndm}^3/\text{nap}$  ( $P < 0,001$ , 34. melléklet).

Metántartalom tekintetében a Levene teszt heterogenitást állapított meg ( $P=0,017$ ), a T-próba  $P < 10\%$  szignifikancia szinten igazol  $3,526\%$  eltérést ( $P=0,072$ )

#### **A második vizsgálati szakasz: rátöltési technológia, visszaforgatott anyag rátöltése mellett (15 nap, 52. – 66. nap)**

A vizsgálati fázisban a friss hígtrágyával történő folyamatos rátöltést befejeztük, és az eddig kiengedett, külön gyűjtött trágyát forgattuk vissza a rendszerbe. A rátöltések során a 2. sz. reaktorba továbbra is beadagoltuk a  $60 \text{ g}$  mennyiségű malomipari korpát naponta (37. táblázat).



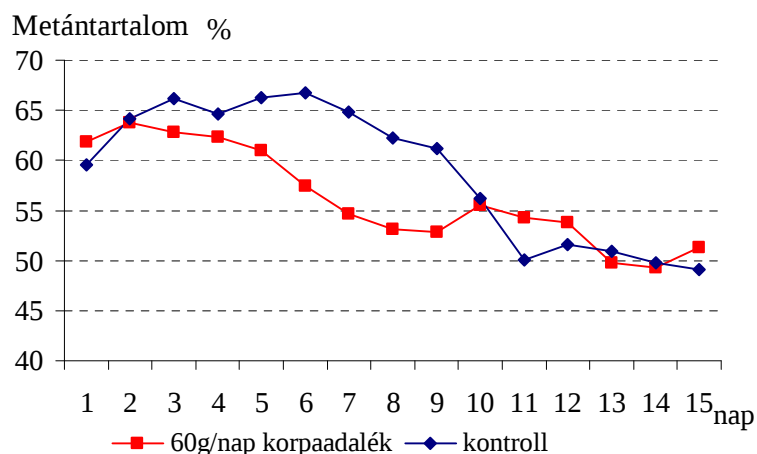
24. ábra: Gáztermelés, visszaforgatásos rátöltéses üzemmódban

2. fermentor: malomipari korpaadalék 60g/nap; 3. fermentor: kontroll;

A visszaforgatás kezdetétől a sertéshígtrágya alapú reaktorokban a gáztermelés folyamatos csökkenése volt a jellemző, ami a bemenő anyag alacsonyabb szerves szárazanyag tartalmával van összefüggésben.

A metántartalom tekintetében a gáztermelés csökkenését csak késéssel követte a metántartalom csökkenése (24. ábra, 25. ábra).

A kontroll fermentor biogáztermelése esetében szintén megállapítható, hogy a keletkezett gázmennyiség a kezelt reaktorok gáztermelésének a felét sem érte el (24. ábra).

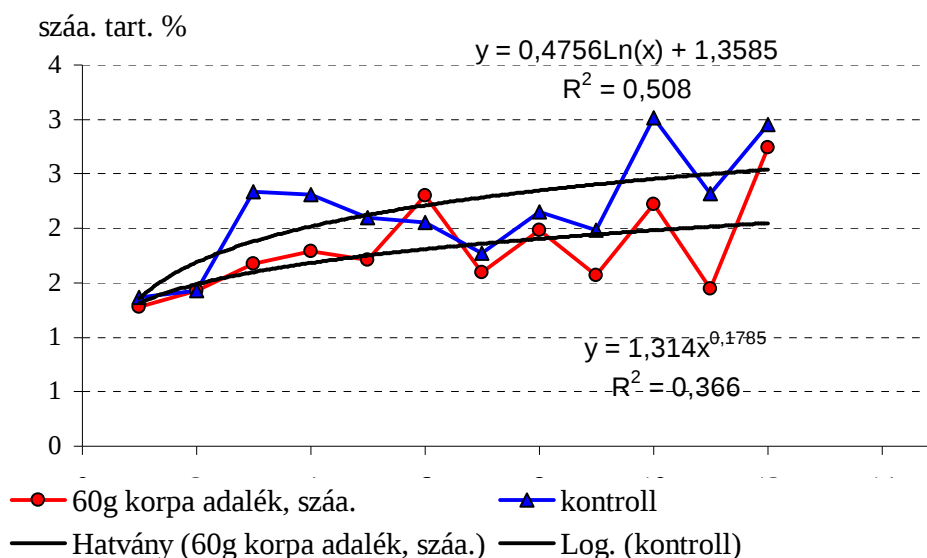


25. ábra: Metántartalom, visszaforgatásos rátöltéses üzemmódban

2. fermentor: malomipari korpaadalék 60g/nap; 3. fermentor: kontroll;

### A visszaforgatásos vizsgálati szakasz statisztikai értékelése:

A Levene teszt a gáztermelés adatcsoportoknál homogenitást ( $P=0,253$ ) állapított meg, az átlagok közti  $31,933 \text{ Ndm}^3/\text{nap}$  különbség  $P<0,001$  szinten szignifikáns. A búzakorpa adalékolásával, sertéshígtrágya alapon termelő biogáz metántartalmának adatai közepesen homogén ( $P=0,052$ ) csoportokat alkotnak. A 2,646% különbség nem szignifikáns a T-próba alapján ( $P=0,837$ ).



26. ábra: Szárazanyag tartalom-változás visszaforgatásos rátöltéses üzemmódban

A 26. ábra trendje (bár eléggé gyenge szorossággal) szerint a visszaforgatásos – rátöltéses üzemmódban a szárazanyag tartalom folyamatosan, ingadozásokkal, de nő, a lebontás és a gázképződés (24. ábra, 25. ábra) paraméterei romlanak.

### A kiejert anyag laboratóriumi vizsgálati eredményei és értékelésük

A kiejert anyagból elvégeztem az összes K,P,N tartalom meghatározását, ami a lebomlás mértékéről, ill. a kiejert anyag mezőgazdasági hasznosíthatóságáról adhat információt.

38. táblázat: A kiejert anyag összes K-, P- és N tartalma

| Fermentor / Vizsgált paraméter | 1.    | 3.   | 4.  | Mértékegység | Alsó méréshatár |
|--------------------------------|-------|------|-----|--------------|-----------------|
| K                              | 860   | 490  | 459 | mg/kg        | 40              |
| P                              | 1970  | 66   | 298 | mg/kg        | 1               |
| N                              | 51400 | 2470 | *   | mg/kg        | 50              |

\* Megjegyzés: A minta sötét színanyag tartalma miatt a vizsgálat nem volt elvégezhető

A fermentorokhoz tartozó kezeléskombinációkat a dolgozat korábban már rögzítette. A vizsgálati eredmények értékeléséhez figyelembe kell venni, hogy a minták szennyvíziszapként kerültek vizsgálatra, a kiejedt anyag szilárd fázisára vonatkoznak a mért értékek. Ezek alapján megállapítható, hogy a kiejedt anyag szilárd fázisának a kezeléskombinációktól függően eltér a tápanyagtartalma. Az eltérő tápanyagtartalomból következtetést vonhatunk le a kiejedés mértékére. Az eredetileg csak hígtrágyát tartalmazó kontrollhoz képest a hígtrágyát és korpa adalékot tartalmazó mintában a tápanyagtartalom jóval magasabb mindhárom összetevőre (K, P, N) nézve. A kiejedt hígtrágya és korpa összes káliumtartalma közel azonosnak mutatkozott, a korpaadalékot is tartalmazó kiejedt hígtrágya maradék káliumtartalma a kettő összegével megegyező. A vizsgálati eredmények csak a szilárd fázisban maradt foszfor- és káliumtartalmat mutatják, az ásványosodott rész a vizes fázisban oldva maradt. A korpát is tartalmazó minták magasabb foszfor-, kálium-, nitrogéntartalom mérési eredményeinek magyarázata lehet, hogy a korpa nehezebben bontható, mint a sertéshígtrágya.

### **3.4 Mezőgazdasági mellék- és főtermékek kofermentációjának lehetséges hatása az egyes számításba vett üzemnagyságok biogázpotenciáljára**

#### **3.4.1. Családi méretű tehenészeti telepi és tanüzemi szerves hulladékhasznosítás**

A félüzeminek is tekinthető kísérleti eredmények alapján meg tudom becsülni a családi méretű tejtermelő tehenészeti telep szerves hulladék hasznosításának lehetséges üzemméretét. A 39. táblázatban arányosított adatok szerint tanüzemi méretben naponta  $10,14 \text{ m}^3$ , telepi méretben  $4,26 \text{ m}^3$  biogáz képződhet. A fejlődött biogáz hőenergia egyenértéke farmszinten  $84,97 \text{ MJ/nap}$ , tanüzemi szinten pedig  $173,97 \text{ MJ/nap}$ . A felhasználható villamos teljesítmény  $0,34 \text{ kW}$ , ill.  $0,7 \text{ kW}$ . A felhasználható hőteljesítmény átlagosan  $0,23 \text{ kW}$ , ill.  $0,47 \text{ kW}$  (39. táblázat, 40. táblázat).

39. táblázat: Az SZTE MGK tanüzemi szerves hulladékok energetikai célra történő hasznosításának kísérleti eredményei

| Mért, illetve számított paraméterek, eredmények, beállítások | Tanüzemi szerves hulladék |              | Családi méretű tejtermelő tehenészeti telep szerves hulladéka |              |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------|--------------|
| vizsgálati szint                                             | tanüzem                   | fermentor    | farm                                                          | fermentor    |
| almos trágyamennyiség (kg)                                   | 4109                      | 22,7         | 2162                                                          | 14,1         |
| fejőházi szennyvíz                                           | 1000                      | 3,9          | 1000                                                          | 35,9         |
| sajtüzemi szennyvíz                                          | 6000                      | 23,4         | -                                                             | -            |
| Szárazanyag tartalom (%)                                     | 9,92                      |              | 6,03                                                          |              |
| szerves anyag tartalom (%)                                   | 6,41                      |              | 3,66                                                          |              |
| <b>átl. gáztermelés (Ndm<sup>3</sup>/ nap)</b>               | <b>10144</b>              | <b>56,04</b> | <b>4259,16</b>                                                | <b>27,85</b> |
| átl. metántermelés (Ndm <sup>3</sup> /nap)                   | 4970,62                   | 27,46        | 2427,03                                                       | 15,87        |
| átl. metántartalom (%)                                       | 49                        |              | 57                                                            |              |

40. táblázat: A szerves hulladék hasznosítás energetikai paraméterei villamos energia előállítás esetében

|                                                                            | tehenészeti telep | tanüzem      | mértékegység         |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------|----------------------|
| A naponta képződő biogáz mennyiség                                         | <b>4,26</b>       | <b>10,14</b> | Nm <sup>3</sup> /nap |
| A fejlődött biogáz fűtőértéke 57%*, 49%** CH <sub>4</sub> tartalom mellett | 19,95*            | 17,15**      | MJ/Nm <sup>3</sup>   |
| A fejlődött biogáz hőenergia egyenértéke                                   | 84,97             | 173,97       | MJ/nap               |
| A reaktor önfenntartó hőigénye (30%)                                       | 25,49             | 52,19        | MJ/nap               |
| A fejlődött biogáz villamos energia egyenértéke                            | 23,47             | 48,05        | kWh/nap              |
| Másodlagosan hasznosítható hőenergia (22%)                                 | 18,69             | 38,27        | MJ/nap               |
| A villamos energia-előállítás vesztesége (15%)                             | 13,43             | 27,49        | MJ/nap               |
| Hasznosítható villamos energia (33%)                                       | 8,16              | 16,71        | kWh/nap              |
| Felhasználható villamos teljesítmény                                       | <b>0,34</b>       | <b>0,70</b>  | kW                   |
| Rendelkezésre álló hőenergia átlagosan                                     | 19,69             | 40,32        | MJ                   |
| Rendelkezésre álló hőteljesítmény átlagosan                                | 0,23              | 0,47         | kW                   |

#### 3.4.2. A kofermentációs kísérleteim eredményeiből számítható biomassza potenciálváltozás kistérségi vonatkozásban

Biomassza potenciál számításaim során a kistérségi 15000 ha búzavetésterülettel, s 5t/ha terméshozammal számítva 75000 t termést takaríthatunk be. Gabonaipari feldolgozás során kb. 20% korpaképződéssel számolhatunk. A teljes mennyiségű búzából gabonaipari feldolgozás során kb.15000 t korpa képződik. A 0,05t, 4% szárazanyag tartalmú sertéshígrágya kontrollhoz viszonyítva a 60g korpa 2,72-szeresére növeli a metántermelést. Az arányokat megtartva Hódmezővásárhely kistérség 66094 tonnára becsült sertéstrágya termelését  $66094 \cdot 0,0012 = 79,3t$  korpával az eredetileg az irodalmi adatok alapján a biogáz fűtőértékben 71480,4 GJ/év hőmennyiséget, 7211,7 MWh/ év villamos energiát 2,72-szeresére, azaz 19615,82 MWh/ év értékre növelhetné a kofermentáció.

## 4 MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

### 4.1 A családi méretű tejtermelő tehenészeti telep szerves hulladékainak energetikai célú hasznosítására vonatkozó javaslatok

Az SZTE MGK tanüzemében található 50 tehenes méretű tejtermelő családi gazdaság almos szerves trágyájának és a fejőházi mosófolyadékának a termelődés arányaiban összemért szubsztrát kofermentációja energetikai alkalmazásra, a mért metántartalom (56-57%) alapján, megfelelő beállításokkal motorikus felhasználásra is megfelelő lehetne, azonban folyamatos villamos energia előállítás esetén csak 0,34 kW villamos teljesítményt nyerhetnénk. Mivel kis telep esetében csak a pl. a vákuumszivattyú, hűtőkompresszor alkalmankénti működtetésére van szükség, gáztárolással, gázmotor közvetlen használatával már alkalmazható megoldást nyernénk. A legjobb hatásfokú hasznosítást a szociális, valamint a technológiai hőigény közvetlen biogázégetéssel történő kielégítése biztosíthatná.

### 4.2 Megállapítások az SZTE MGK tanüzem szerves hulladékainak kofermentációjára

A savó nélküli sajtüzemi szennyvíz és a fejőházi mosóvíz sem akadályozza a metántermelést, a szubsztrát az irodalmi értékeknél jobban teljesített (30. táblázat). A szarvasmarha és a sertéstelep almozott tartásmódja mellett képződő almos trágya azonnali fermentálásával akár megkétszerezhetjük az energiatermelést [0,29(tárolt) << 0,55(friss) Ndm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup>/nap metán, 30. táblázat]. **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** A sertés trágya 22,49% szárazanyag tartalma (16,06% szea. tart.) és a szarvasmarha trágya 21,32% szárazanyag tartalma (12,94% szea. tart.) miatt a nedves biogáz technológiához a hígítani kell, ami a rendelkezésre álló szennyvizekből helyben megoldható. A telepek elhelyezését tekintve a trágyaszarvasban történő érlelés is igényel minimális szállítást, ami alapján az egyes trágyaféleségek közös fermentálásához további költségek nem merülnének fel.

### 4.3 A mezőgazdasági mellék- és főtermékek kofermentációjára vonatkozó összefoglaló megállapítások

#### 4.3.1. A gombakomposzthoz kapcsolódó változó szárazanyag tartalmú sertéshígtrágya kontroll kísérletek

Különböző adalékok alkalmazása esetén mindig szükséges az anyagok változó minőségének figyelembe vétele, mert a sertés hígtrágya produkciója önmagában is változhat. Ezért feltétlenül kell egy kontrollmérés is, akár változó szárazanyag

tartalommal. A hígtrágya alapú kontroll esetében az átlagos szárazanyag tartalom növekedésével (3,4% – 4,6%) nőtt a fejlődő gáz átlagos mennyisége (16,98 dm<sup>3</sup>/nap - 23,04 dm<sup>3</sup>/nap) és a 35 %-os átlag szárazanyag tartalom-növekedés közel 35 %-os átlag gázmennyiség növekedést okozott. A sertés hígtrágya terhelésnövekedése arányosan teljesítménynövekedést is jelentett. Mivel a legmagasabb metántartalmú fermentációt (~59,0%) a sertéshígtrágya önmagában produkálja, ezért ezen a terhelés szinten a trágya megfelelő szeparálásával, a folyékony fázis visszaforgatásával is gazdaságos energiatermelést lehet folytatni. Ennek elsősorban energiatakarékossági előnyei lehetnek. Egy adott gazdálkodó egység hulladékhasznosításának több lehetséges formáját szimuláljuk, amikor változó arányú adalékolással, esetleg további szerves melléktermékek hozzáadásával végzünk kofermentációs kísérleteket.

#### *4.3.2. Sertéshígtrágya bázison, a letermett laskagomba táptalaj adalékolásával végzett kísérletek*

Az 50dm<sup>3</sup>-es kísérleti fermentorok 4%-os szárazanyag tartalmú szubsztrátjához képest töredék mennyiségű gombakomposzt adalékolása a metántermelésben több mint másfélszeres növekedést jelentett. A metántartalom csökkenés ellenére az eredmény pedig még az alkalmazható kategóriába esik. Ezek alapján a letermett laskagomba komposztal történő adalékolás javasolható.

#### *4.3.3. Sertéshígtrágya bázisú, letermett laskagomba táptalaj és silókukorica adalékolásával végzett kísérletek*

Az adalékanyag összetétel-változásának hatására a napi átlagos gáztermelés jelentős eltérést mutat. Ennek oka a különböző adalékanyagok más-más C/N arányában és bonthatóságában keresendő. A 100g szárazanyag tartalmú, 75 % gombakomposztot és 25 % silókukoricát tartalmazó rendszer biogáztermelése a biogázra vonatkoztatva ötszörös, metánra vonatkoztatva 3,6-szeres a gázfejlődés a hasonló szárazanyag tartalmú kontrollhoz képest.

Ugyanennél a kísérletnél, de 50 % gombakomposztot és 50 % silókukoricát tartalmazó rendszerben 3,7-szeres, ill. metánra vonatkoztatva 2,7-szeres volt a termelésnövekedés.

50 % silókukoricával és letermett laskagomba táptalajjal adalékolt fermentorokban a keletkezett gáz metántartalma átlagosan nem érte el az 50 %-ot, valamint nagymértékben megnőtt az egyéb gázok mennyisége.

#### 4.3.4. Búzakorpa felhasználhatóságának vizsgálata biogáz hozam fokozása tekintetében

##### **Sertéshígtrágya alapon történő kofermentáció, 6,6 V/V% rátöltéssel, 45g száa./nap búzakorpa adagolással**

Sertéshígtrágya alapon 6,6 V/V% rátöltéssel, 45g száa./nap búzakorpa adagolással a gáztermelés több mint kétszeresére, a metántartalom 5%-kal nőtt. Általában a növénytermesztés általam vizsgált melléktermékeinél a kezelés hatására csökkent a metántartalom, nőtt a gáztermelés, de a búzakorpa esetében itt ezt nem tapasztaltam.

##### **Visszaforгатásos – rátöltéses üzemmód**

A következőket csökkenő biogáztermelés, a romló metántartalom, növekvő szárazanyag tartalom bizonyítja, hogy a baktériumtörzsek tápanyagellátottsága romlik, a lebontó lánc egyes elemei nem működnek. Így folyamatos szerves trágya utánpótlás nélkül nem lehet állandó teljesítményű, megbízható módon működő rendszert üzemeltetni.

#### **4.4 A mezőgazdasági mellék- és főtermékek kofermentációjának lehetséges hatásai az egyes számításba vett üzemméreteknél biogázpotenciáljára**

A tanüzemi, friss almos sertés trágyával almos szarvasmarha trágya alapon, sajtüzemi szennyvízzel, fejőházi szennyvízzel adalékolt szubsztrát biogáz, metántermelése 72%-kal nagyobb a szarvasmarha telepi termelésénél (29. táblázat 30. táblázat **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**). A tanüzemi szerves hulladék - képződés arányaiban összeállított szubsztrát 10% szárazanyag tartalma és 6,41% szerves anyag tartalma a szivattyúzhatóság (~10%) határain külön tárolás és adagolás nélkül biztosítja ezt a jóval nagyobb teljesítményt. Célszerű tehát a hulladékok közös fermentációja a nagyobb energiatermelés érdekében.

Számításaim alapján a Hódmezővásárhely kistérség teljes sertéstrágya termelésének biogázprodukciónak 2,72 –szorosára tudná növelni a teljes gabonatermés feldolgozásánál képződő korpamennyiség 0,5%-a. Ezért a trágya energetikai felhasználása esetén mindenféleképpen tervezni kell a korpaadalékolást.

## 5 AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ EREDMÉNYEI

Az értekezés célkitűzéseivel összhangban, vizsgálataim és számításaim szerint a következő tézisek nyertek bizonyítást.

**1. Kísérletekkel igazoltam, hogy a különböző méretű kisgazdaságokban keletkező egyes állattenyésztési és élelmiszeripari termékfeldolgozási melléktermékek és szerves hulladékok biogáz előállításnál történő hasznosítása a belőlük kinyerhető biogáz mennyiségi és minőségi jellemzői alapján megalapozottak.**

A szarvasmarha almos trágya és a fejőházi szennyvíz tekintetében több mint 50%-kal nagyobb gázképződést mértem az irodalmi értékekhez képest két beállításban is ( $0,55 >> 0,32 \text{ Ndm}^3 \text{ metán/dm}^3 \text{ fermentortérfogat/nap}$ ). Az SZTE MGK mintafarm viszonylatában, sajtüzemi, fejőházi szennyvíz, szarvasmarha és sertés almos trágya a termelődés arányában történő adalékolásával friss trágya esetében az irodalmi értékeknél 16%-kal nagyobb, a fél évig tárolt trágya esetében 43,6%-kal kisebb gáztermelést mértem. Az arányosított adatok szerint tanüzemi méretben naponta  $10,14 \text{ m}^3$ , telepi méretben  $4,26 \text{ m}^3$  biogáz képződhet. A fejlődött biogáz hőenergia egyenértéke farmszinten  $84,97 \text{ MJ/nap}$ , tanüzemi szinten pedig  $173,97 \text{ MJ/nap}$ . A felhasználható villamos teljesítmény  $0,34 \text{ kW}$ , ill.  $0,7 \text{ kW}$ . A felhasználható hőteljesítmény átlagosan  $0,23 \text{ kW}$ , ill.  $0,47 \text{ kW}$ .

**2. A különböző méretű kisgazdaságokban keletkező egyes alacsony szerves anyag tartalmú állattenyésztési és élelmiszeripari termékfeldolgozási melléktermékek és hulladékok egyéb lokálisan rendelkezésre álló biomassza féleségekkel együttesen alkalmazhatók biogáz előállításra.**

Összehasonlító mérések során két különböző (3,4 és 4,6%) szárazanyag tartalmú sertéshígtrágya kontroll termelését tanulmányoztam, a nagyobb szárazanyag tartalom metántartalom csökkenése nélküli termelésnövekedést jelentett.

Kísérletekkel megvizsgáltam a gombatermesztésnél keletkező hulladék, - letermett termesztési táptalaj – energetikai célú hasznosíthatóságát 4% szárazanyag tartalmú sertés hígtrágyába adagolva önmagában, illetve változó arányú silókukorica felhasználásával. A fermentorok szárazanyag tartalmához viszonyított 1,5% (30g), 100%-os letermett laskagomba komposzt adalékolása energiamennyiségben 60% többletet eredményezett. 100g (5%) 25%-ban silókukorica szecska, 75%-ban gombakomposzt adalékolása 3,6-szeres, 50% -os adalékolása 2,7-szeres metánmennyiség növekedést produkált. A metántartalom alacsonyabb értékei miatt

(48,86%, ill. 40,42% körül) a termelt gáz csak korlátozott feltételek mellett hasznosítható.

A malomipari melléktermékek közül a búzakorpa biogáz hozamfokozó hatását vizsgáltam. A korpa 45g száa./nap/fermentor terheléssel, 4 % száa. tartalmú sertéshígtrágya alapon  $0,72 \text{ dm}^3$  metán/  $\text{dm}^3$  /nap teljesítménnyel működött, ami csaknem megháromszorozta (2,72) a metánképződést a csupán sertéshígtrágya kontrollhoz viszonyítva.

**3. A lokálisan keletkező egyes állattenyésztési és élelmiszeripari termékfeldolgozási melléktermékek és hulladékok együttesen is felhasználhatók biogáz előállításra, amelynek eredményeként már hasznosítható mennyiségben keletkezik biogáz és így egy adott kistérség megújuló energia előállítási és hasznosítási aránya növelhető.**

A szarvasmarha farm külön és a tanüzemi szerves hulladékoknak együttes fermentálásával a fermentortérfogatra vonatkoztatott fajlagos biogáz előállítási teljesítmény ( $0,55 >> 0,32 \text{ Ndm}^3/\text{dm}^3$  metán/nap) 72%-kal nőtt anélkül, hogy bármelyik komponenst külön tárolni, adagolni kellene és a képződés aránya egy, a nedves kategória, a szivattyúzhatóság határain belül lévő szubsztrátot eredményez.

Kistérségi szinten a teljes sertéstrágya mennyiséget a teljes korpamennyiség öt ezrelékével együttesen fermentálva évi 12404,12MWh villamos energiatöbbletet, biogáz fűtőértékben 122946 GJ hőmennyiség-többletet nyerhetünk.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Hazánk kedvező természeti adottságaiból fakadóan évről évre igen jelentős mennyiségű fő- és melléktermék képződik a mezőgazdaságban, az élelmiszergazdaságban. Ez alátámasztja a választott téma elméleti és gyakorlati jelentőségét, hogy egy adott térségben a biomassza féleségek feldolgozási melléktermékeinek és hulladékainak energiatermelésbe való bevonásával az alapanyagok feldolgozásának hatékonysága fokozható, és az adott technológia klímagáz-kibocsátása is csökken.

**Kutatómunkám célja** volt, hogy technológiai kísérletekkel igazoljam: a helyi lehetőségek és adottságok összessége, valamint a rendelkezésre álló alapanyagok mennyiségi és minőségi jellemzői határozzák meg minden konkrét esetben a legmegfelelőbb alkalmazható biogáz előállítási technológiát.

**Az irodalmi áttekintésben** a szakirodalom alapján definiáltam a biomassza, majd az energetikai célú biomassza potenciál fogalmát, vázoltam az energia célú előállítás, felhasználás szerepét, jelentőségét, kritériumait a fenntartható fejlődés szempontjait figyelembe véve. A biomassza biogáz formájában történő energetikai hasznosítási lehetőségeinél ismertettem a biogáz képződését, a hasznosítás szempontjából mértékadó tulajdonságait, a kinyerés feltételrendszerét, technológiáját. Összehasonlítottam a szakaszos és folyamatos eljárásokat, valamint tárgyaltam az anyagok anaerob bonthatóságával, a fermentációt befolyásoló jellemzőivel kapcsolatos eddigi ismereteket.

Az **Anyag és módszer** fejezetben a vizsgált biomassza féleségek előfordulását, az energetikai célra hasznosítható mennyiségét mértem fel családi gazdasági, kisüzemi, valamint kistérségi méretekben. A különböző kisüzemi termelési modelleket a szarvasmarha és sertés almos trágyák és szennyvizek kofermentációjához, míg a nagyüzemi mintakísérleteket a sertéshígtrágya energetikai célú felhasználásához kapcsoltam.

A biomassza és trágya kofermentációja kapcsán ismertettem a különböző trágyaféleségeket, valamint a kísérletekben alkalmazott mezőgazdasági, élelmiszeripari fő- és melléktermékek tulajdonságait, a kísérletek technológiáját, eszközrendszerét, a mért paramétereket.

Az **Eredmények** fejezetben az 50 tejlő szarvasmarha méretű telep almos trágyájával, valamint a tej- és fejőházban képződő szennyvíz kofermentációjánál megállapítottam, hogy az irodalmi értéknél több biogáz képződik, a tisztító és a fertőtlenítő szereket is

tartalmazó víz nem csökkenti a gáztermelést. Ugyanez vonatkozik a tanüzemi szintre is, valamint várható, hogy a hosszabb ideig történő trágyatárolás megfelezheti a metántermelést. Kísérleteim eredményei alapján kiszámítottam a teljes kistérség sertéshígtrágya biogáz potenciálját, figyelembe véve az adalékoláshoz szükséges mennyiségű búzakorpa jelentős mértékű teljesítménynövelő hatását.

Sertéshígtrágya és élelmiszeripari, mezőgazdasági fő- és melléktermékek együttes fermentálásával végzett kísérletekkel megmértem a mezofil körülmények között termelődő biogáz mennyiségét, metántartalmát, a szubsztrát száraz- és szerves anyag tartalmát, PH értékét, C/N arányát. A letermelt gombakomposzt silókukoricával GK/KS=75/25 arányban történő kofermentációja biztosítja a legjobb eszköz-energia kihasználtságot baktériumkezelés nélkül is ( $0,73 \text{ dm}^3 \text{ metán/dm}^3/\text{nap}$ ), de önmagában a korpa adalékolása hasonló fajlagos metánkihozataalt ( $0,72 \text{ dm}^3 \text{ metán/dm}^3/\text{nap}$ ) eredményezett. Kísérletekkel igazoltam, hogy növényi eredetű adalékanyagok alkalmazásával magasabb biogáz hozamok érhetők el, mint a sertéshígtrágya önmagában történő fermentációja révén.

Vizsgálataimnál mért biogáz-, illetve metánhozam eltérések indokolják a biogáz előállítási kísérletek végzését, melyek biogáz üzem indításakor, illetve receptura váltáskor (adalékanyag változáskor) szükségesek. Minden esetben ismerni kell az inputanyagok legfontosabb jellemzőit, elő kell állítani a lehetséges kezeléskombinációkat az optimális technológiai paraméterek kiválasztása érdekében. Összegzésképpen megállapítottam, hogy az SZTE MGK tanüzemben és az azon belüli különböző méretű kisgazdaságokban képződő sertés és szarvasmarha almos trágyák, valamint a szarvasmarha fejőházi és sajtüzemi szennyvíz együttesen hasznosíthatók biogáz előállításra, amivel az adott kistérség megújuló energia előállítási és hasznosítási aránya növelhető.

## SUMMARY

Due to favorable natural endowments of our country there is a significant amount of primary and secondary product being formed in the agriculture and food industry. This supports the theoretical and practical significance, that the processing efficiency of raw materials can be increased with the involving of biomass sorts and reducing of the emissions of a given technology.

**My research work** is to prove with technological experiments that local opportunities and constraints of all, and the quantitative and qualitative characteristics of the available raw materials determine the most perfect biogas production technology in each specific case.

**The literature review** I defined the definition of the biomass and the energy aimed biomass potential, outlined the purpose of energy production and use, role and significance of the aspects of sustainable development criteria taking into account. I review the formation of the biogas, the characteristics important in the point of utilization, the system of conditions of recovering, the technology in the view of energetically utilization of the biomass in the form of the biogas. I compared to the batch and continuous processes, and discussed the current knowledge connecting the characteristics in the anaerobic deconstruction of the materials affecting the fermentation.

I measured the tested varieties of the biomass in the **Materials and Methods section**, the amount of usable energy will be in economic family, small-scale, as well as sub-regional scale. I connected the different models of small-scale production to the cofermentation of cattle and pig manure and sewage, and the large-scale model experiments were tied to energy conversion of the liquid pig manure.

I described the different manure types in connection with the cofermentation of the biomass and manure, and the main features of agricultural, food industrial main-, and byproducts used in the experiments, the technology of the experiments, equipments, measured parameters.

I found by the cofermentation with the straw manure and waste water generated by dairy and milking parlour of 50 milking cows sized dairy farm in the **Results section**, that more biogas was formed than the literary value, the cleaning and disinfecting water don't decrease the gas production. The same applies to pilot farm manufacturing level

too, and it is expected that a longer period of manure storage halved the methane production.

Subregional sizes calculated that the results of my experiments based on the total biogas potential liquid pigmanure considering how much doping of wheat bran, what level of performance gains can be achieved.

I measured the quantity, the methane content of biogas being produced between mezophilic circumstances, the dry- and organic matter content, the value of pH, C/N proportion of substrat with co-fermentation experiments of liquid pork dung and food industrial, agricultural main and byproducts.

The yielded mushroom compost with silo corn in the ratio 75/25 co-fermentation insures the best device -energy capacity utilisation without bacterium treatment too (0,73 Ndm<sup>3</sup> of methane/dm<sup>3</sup>/day), while the added bran is merely similar specific methane bringing out(0,72 Ndm<sup>3</sup> of methane/dm<sup>3</sup>/day) produced. My experimental results justify that higher biogas yields can be reached with the application of plant origin additives, than merely through the fermentation of pork liquid dung.

But the differences appearing among the biogas-, methane yields give reasons for the biogas production experiments, which are necessary every time of a firm's launch, or the change of receipt (the change of additive). It is necessary to examine the features of the input substances in all cases, to generate the possible treatment combinations in the interest of the selection of the optimal technological parameters.

**In conclusion,** I appointid that the pig and cattle manure formed in the SZTE MGK pilot farm and within different sizes of small farms and the cattle milking and cheese factory wastewater collectively utilizable for biogas production, and with this the renewable energy production and recovery rates of this micro region can be increased.

## IRODALOM

1. *Ábrahám, L.*: 1980. A szerves trágyák kezelése és felhasználása. Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest.
2. *Alexa L.*: 2008. Biogáztermelés fenntartható módon. Biohulladék. Gödöllő. 32-34.
3. *Alexander M.*:1985 Biodegradation of organic chemicals. *Env Sci Technol*, 19 p.:106-111.
4. *Ángyán, J. et al.*: 1999 Nemzeti Agrár-környezetvédelmi Program a környezetkímélő, a természet védelmét és a táj megőrzését szolgáló mezőgazdasági termelési módszerek támogatására. Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium agrár-környezetgazdálkodási tanulmánykötetek, Budapest, p.:6.
5. *Ángyán, J.- Menyhért, Z.*: 1997. Alkalmazkodó növénytermesztés, ésszerű környezetgazdálkodás. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest
6. *Arthurson, V.*: 2009. Closing the Global Energy and Nutrient Cycles through Application of Biogas Residue to Agricultural Land – Potential Benefits and Drawbacks. *Energies* 2, 226-242.
7. *Angelidaki és Sanders, 2004* : Assessment of the anaerobic biodegradability of macropollutants. *Environmental Science and Biotechnology*. 1- 13.
8. *Baadstorp, L.*: 1997. Cogeneration based on biogas – environmentally friendly energy which is also a competitive alternative. *News from DBDH* 2/1997, 15-16
9. *Baas, H.*: 2003 Biogas utilization and operating experience with modern gas engines; VIth International Scientific Conference Gas Engines, Poland
10. *Babos, L.*: 1991. Bazidiumos nagygombák. In SIMON, T. (Szerk.): *Baktérium-, alga- gomba-, zuzmó- és mohahatározó*. Budapest: Tankönyvkiadó, 558. p.
11. *Bagi, Z.*: 2008 Biogáz fermentáló rendszerek hatékonyságának mikrobiológiai fokozása, Doktori értekezés, Szeged,
12. *Bai, A. – Lakner, Z. – Marosvölgyi, B. – Nábrándi, A.*: 2002 A biomassza felhasználása. Agroinform Kiadó, Budapest,
13. *Bai, A. (szerk.)*: 2005a. A biomassza termelés hazai perspektívái. Tanulmány. Debreceni Egyetem Környezetgazdálkodási Intézet, Debrecen.
14. *Bai, A. (szerk.)*: 2005b. A biogáz előállítása – jelen és jövő. Szaktudás Kiadó Ház Rt., Budapest
15. *Bai, A.*: 2005. Kinek éri meg előállítani biogázt? *AGRÁRÁGAZAT* VI:(4) pp. 52-55.
16. *Bai, A.*: 2007. A biogáz. Budapest: Száz magyar falu könyvesháza Kht.

17. *Bakos, G.*: 2004 „A biomasszából történő áramtermelés közgazdasági kérdései”, Energiaforum
18. *Bánhegyi I.*: 1993. (In: Szabó I. 1999.) Biológiai hulladékkezelés. Hulladékgazdálkodás (szerk.: Árvai J.) Műszaki Könyvkiadó. 390-423
19. *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.
20. *Barótfi I. (szerk)*: 1993. Energiafelhasználói kézikönyv, Környezet-technika Szolgáltató Kft., Budapest
21. *Barótfi I. (szerk)*: 2000. Környezettechnika; Mezőgazda Kiadó, Budapest
22. *Barótfi, I.- Kocsis, K.*: 1998 Az energetikai célú biomassza termelés európai helyzete és lehetséges szerepe a magyar nem élelmiszer célú mezőgazdálkodás, erdőgazdálkodás valamint a megújuló energiaforrások előállításának és felhasználásának fejlesztésében. Sorozatszerkesztők: Kerekes, S.; Kiss Károly, Zöld Belépő EU-csatlakozásunk környezeti szempontú vizsgálata. Gödöllő-Budapest, 96 p.
23. *Barta, I.*: 2003. A biomassza energetikai célú hasznosítására alkalmas technológiák áttekintése, a biogáztermelés gyakorlati tapasztalatainak ismertetése, Bio-Genesis Környezetvédelmi Kft, Nyíregyháza
24. *Bíró, B., Pacsuta J.*: 2002. Újgenerációs szemlélet és lehetőségek a talajbiológiai aktivitás és a talajtermékenység irányított fokozására. Gyakorlati Agroforum. 13. 72-74.
25. *Braun, R.*: 1982. Biogas-Methangärung organischer Abfallstoffe, Springer Wien,
26. *Bohóczky, F.*: 2010. Megújuló energiaforrások, EU elvárások és hazai lehetőségek, (előadás, Magyar Ipari Ökológiai Társaság, Budapest, február 17.)
27. *Cook, J.; Beyea, J.*: 2003 An Analysis of the Environmental Impacts of Energy Crops in the USA: Methodologies, Conclusions and Recommendations. National Audubon Society ([www.panix.com/~jimcook/data/ec-workshop.html](http://www.panix.com/~jimcook/data/ec-workshop.html))
28. *Dinya, L.*: 2008. Biomassza alapú fenntartható energiagazdálkodás (előadás, „Magyar Tudomány Napja”, MTA, nov. 6.,
29. *Deublein, D., Steinhauser, A.*: 2008. Biogas from Waste and Renewable Resources. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
30. *Fenyvesi, L. – Mátyás, L.*: 2001. Hígrágyából energia FVM Műszaki Intézet, Gödöllő, Agro Napló, 3
31. *Fogarassy C. – Tóth L. – Schrempf N. – Tóth N.*: (2008) Biogáz termelés és felhasználás műszaki – gazdaságossági kérdései (előadás). MTA AMB 2008. XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő

32. *Freeman, Ch. - Pyle L.: 1977. Methane generation by anaerobic fermentation; I.T. Publications Ltd., London 1977.*
33. *W. Fuchs, P. Holubar, R. Braun.: 2009. Mikrobielle Grundlagen umweltbiotechnologischer Verfahren. BOKU. IFA-Tulln. Előadás. 2009.03.30.*
34. *Galler: 1993. Chance Biogas?; In: Praktische Landtechnik 2 p 8-11.*
35. *Gémesi Zs.: (2009) Anaerob fermentációval előállított biogáz megtisztítása – metánleválasztás és gázellátó vezetékhálózatba való betáplálás, vagy motorhajtóanyagként való felhasználás. OBEKK Zrt. Tudományos szakmai kiadványok sorozata (4/12) GÖDÖLLŐ*
36. *Goldstein, N.: 2006. Microturbines, gas engines link biogas to the grid; In: The JG Press, September*
37. *Gottschalk, G.: 1979. Bacterial Metabolism. New York: Springer-Verlag,*
38. *Graf, W.: 1999. Kraftwerk Wiese. Strom und Wärme aus Gras. Books on Demand.*
39. *Grasselli, G.: 2004. A megújuló energiaforrások, mint a területfejlesztés eszközei. Konferencia-előadás. Energexpo Nemzetközi Konferencia és Szakkiállítás. Debrecen, szeptember 28-30.*
40. *Gregori, A. - Svagelj, M. - Pohleven, J.: 2007. Cultivation techniques and medicinal properties of *Pleurotus* spp. – *Food Technol. Biotechnol.*, 45: 238–249. p.*
41. *Gruber W.: 2007. Biogasanlagen in der Landwirtschaft. Aid infodienst. Verbraucherschultz, Ernährung, Landwirtschaft e.V. Bonn. 1453.*
42. *György, K.-né: 2005 A letermett gombakomposzt használata a biotermesztésben: Mezőhír VI. évf. 2002/5. szám*
43. *Hódi, J.: 2008. Biogáz termelés – hasznosítás, CEU KvVM, Mélyépterv Komplex Mérnöki Rt.*
44. *HUZSVAI, L.: 2004-2010 Biometriai módszerek az SPSS-ben SPSS alkalmazások. Debreceni Egyetem, Mezőgazdaságtudományi Kar.*
45. *Jóri J. I. – Rádics János (szerk.): 2008. Környezettechnika (Biogáz); Nemzeti Fejlesztési Terv HEFOP 3.3.1., Budapest – Szombathely*
46. *Kacz K., Neményi M.: 1998. Megújuló energiaforrások; Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest*
47. *Kalmár, I. et al.: 2002a. Zárt láncú biogázhasznosítási technológia szakosított állattartó telepekre, referenciahely megvalósítása, Zárójelentés, (Témavezető: Kovács G.) Graboplan Kft. Győr, p 66*
48. *Kalmár, I., - Kovács KL, - Bagi Z.: 2003. Sertés hígtrágyára alapozott biogáz referencia üzem. MTA AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozása. Gödöllő, 2:82-86.*

49. *Kalmár, I. – Kalmárné, Vass E. – Krizsán, J.: 2002b. Biogáz előállítási technológiai kísérletek; In: MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozása, Gödöllő p 71-76*
50. *Kalmár I. - Kalmárné Vass E. - Krizsán J.: 2004. A sertéshígtrágyából kinyerhető biogázmennyiség fokozására irányuló kísérleti eredmények; In: IV. Alföldi Tudományos Tájékozódási Napok, Mezőtúr p 51-57*
51. *Kalmár I.: 2005. Hígtrágya-kezelés, javasolható biogáz előállítási technológiák.= Értékálló Aranykorona. 5. 9. 30-31.p. (Y 5130)*
52. *Kalmár I. – Nagy V. – Kalmárné, V. E.: 2006 „Laboratory development in technological experiments on enhancing biogas output”; Napjaink környezeti problémái – globálistól lokálisig, Pannon Egyetem, Keszthely, 5 p*
53. *Kalmár I. - Nagy I.: 2006. Kapcsolt bioetanol és biogáz-előállítási „Jedlik Ányos” projekt, In: Energiagazdálkodás, /1. p 22-24*
54. *Kalmár, I.- Kalmárné Vass E.– Nagy V.: 2007. Üzemi körülményeket is reprezentáló kísérleti eszközrendszer továbbfejlesztése biogáz-előállításához. Poszter, MTA AMB XXXI. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 3. kötet p 118-122, CD kiadvány*
55. *Kalmár I. - Nagy V.: 2008. Biomasszából történő megújuló energia előállítás egy mintaprojekt keretében. Előadás, Magyar- és Világ Tudomány Napja, Szolnoki Tudományos Közlemények, Szolnok november 6., CD kiadvány.*
56. *Kaltwasser, B. J.: 1983. Biogáz- előállítás és hasznosítás. Műszaki Könyvkiadó, Budapest*
57. *Kang, S.W.: 2004. What is oyster mushroom. In Mushroom Growers' Handbook 1: Oyster Mushroom Cultivation. Seoul, Korea: Mushworld, 53-58. p.*
58. *Kapros Tibor: 2009. Biogáztüzelés az ipari berendezésekben, TÜKI Tüzeléstechnikai Kutató és Fejlesztő Zrt. Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület (ETE)*
59. *Karpenstein-Machen, M.: 2005. Energiepflanzenbau für Biogasanlagenbetreiber. DLG-Verlag. Frankfurt am Main.*
60. *Kasza S.: 2007. Norvég BioTek technológia bemutatása: Biogáz szerves trágyából és települési szilárd hulladékból. Inno-Szinergia Kereskedelmi és Szolgáltató Kft. Budapest.*
61. *Kazai Zs.: 2008 Zöld energiát okosan, avagy, a biomassza energetikai célú hasznosításának környezeti fenntarthatósági feltételei; energiaklub.hu/sites/default/ files/ kiadvanyok/ zold\_energiat\_okosan.pdf –*
62. *Kárpáti Á.: 2002. Szennyvíziszap rothasztás és komposztálás, Ismeretgyűjtemény, No. 6. Veszprémi Egyetem, Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék, 2002*

63. Kerek I. – Bodnár Gy.: 1992. Különleges tüzelőberendezések XXVIII. Ipari Szeminárium, Miskolc,
64. Kerek I. – Riba D.: 1999. Biogáz tüzelőberendezések fejlesztése. XXXV. Ipari Szeminárium, Miskolc
65. Kissné, E Quallich.: 1983. *A biogáz*. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó
66. Kleemann, M. & Meliß, M.: 1993. *Regenerative Energiequellen*, 2., völlig neu überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.
67. Kovács L. K., Bagi Z.: 2007. *A biogáz*. (szerk.: Bai A.) Száz magyar falu könyvesháza Kht. Budapest. 37-48.
68. Kovács S.: 2004. Biogáz és növényi tápanyag előállító technológia; Forrás: <http://www.fenntarthato.hu/epites/nevjegyzek/adatbazis/magyar-biogaz>
69. Kutasi, J.: 2007. Fermentációs biotechnológia. Glia Számítástechnikai és Tanácsadó Kft. 89-101.
70. Láng I.(szerk.): 1985. *A biomassa hasznosításának lehetőségei*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest p.249.
71. Lehtomäki, A – Huttunen, S – Rintala, J A: 2006. Laboratory investigations on co-digestion of energy crops and crop residues with cow manure for methane production; In: *Resources, Conservation and Recycling*, Nov. p 1 – 19
72. Loch, J. in Füleki Gy. (szerk.): 1999. *Tápanyag-gazdálkodás*, Mezőgazda Kiadó, Budapest,
73. Makádi M., Tomócsik A., Orosz V., Lengyel L., Márton Á.: 2008. Biogázüzemi fermentlé felhasználásának talajtani hatásai. Talajtani Vándorgyűlés, Nyíregyháza, május 28-29. Talajvédelmi különszám 465-474.
74. Malik, R.K., Tauro, P.: 1995. Effect of predigestion and effluent slurry recycling on biogas production. *Indian J. Microbiol.* 35. 3. 205–209.
75. Mata-Alvarez, J – Mace, S – Llabres, P: 2000. Anaerobic digestion of organic solid wastes. In: *Biores Technol* /74, p 3-16
76. Metha, V. - Gupta, J.K. - Kaushal, S.C.: 1990. Cultivation of *Pleurotus florida* mushroom on rice straw and biogas production from spent straw. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 6: 366-370. p.
77. Mézes, L.: 2011. Mezőgazdasági és élelmiszeripari biogáz-termelés optimalizálása, doktori értekezés, Debrecen.
78. Müller J et al.: 2003 Thermische, chemische und biochemische Desintegrationsverfahren. In: *Korresp Abwasser* /50:796–804
79. Nagy, V. – Meggyes A.: 2007. Utilization of biogas in gas engines. Előadás, 8<sup>th</sup> International Conference on Heat Engines and Environmental Protection

(Hőerőgépek és Környezetvédelem Nemzetközi Konferencia); Balatonfüred 28-30 May, Proceedings p 95-100

80. *Nagy, Meggyes*: 2008. Composition of biogas from different kinds of basic materials and admixtures., 12th Conference on Environment and mineral processing. Ostrava, Csehország,
81. *Nagy, V.*: 2010. A biogáz előállítási eljárások hatása a gázmotorok üzemére, különös tekintettel a károsanyag kibocsátásra, Doktori értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Pattantyús-Ábrahám Géza Doktori Iskola, Energetikai Gépek és rendszerek tanszék
82. *Olessák D. - Szabó L.*: 1984. Energia hulladékból; Műszaki Könyvkiadó, Budapest
83. *Parkin G. F., Owen W. F.*: 1986. Fundamentals of anaerobic digestion of wastewater sludges. J. Environ. Eng. 112. 867–920.
84. *Pesti, Cs.*: 2009. A mezőgazdasági termelés területi egyenlőtlenségeinek vizsgálata, SZIE, Gazdálkodás és Szervezéstudományok Doktori Iskola, doktori (Ph.D.) értekezés tézisei, Gödöllő,
85. *Petis M.*: 2007. Biogázzal a gyakorlatban. Bioenergia. Bioenergetikai Szaklap. Szekszárdi Bioráma Kft. Szekszárd. II. évf. 2. 21-25. [/www.dcc.unimiskolc.hu/content/3/image003.jpg](http://www.dcc.unimiskolc.hu/content/3/image003.jpg)
86. *Petis Mihály*: 2009 Biogáztermelés és –hasznosítás. In: Biogáz-előállítás és –felhasználás I. évf. /1. szám p 30-32
87. *Posta László (szerk.)*: 2002. Vállalati tervezés, Gyakorlati jegyzet. DE ATC AVK Vállalatgazdasági Tanszék
88. *Rajaratnam, S. - Shashirekha, M.N. - Bano, Z.*: 1992. Biopotentialities of the Basidiomycetes. In Advances in Applied Microbiology, 37:233-361. p.
89. *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.
90. *Ross C. Charles – Drake Jefferson Thomas – Walsh L. James*: 1996. The Handbook of Biogas Utilization; Valley Authority, Tennessee
91. *Sajtos L., Mitev A.*: 2007. SPSS Kutatási és adatelemzéseikézikönyv. Üzleti szakkönyvtár. Alinea Kiadó. Budapest. 91-130, 163-242.
92. *Sántha A.*: 1991. A mezőgazdasági melléktermékek hasznosítása és a környezetvédelem; Akadémiai kiadó, Budapest
93. *Sántha A.*: 1996. Környezetgazdálkodás II, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
94. *Scheer, H.*: 1991 Report on agriculture's contribution to enhancing security and saving the global environment. Council of Europe, Doc. 6536

95. Schulz, Heinz – Eder, Barbara: 2005 „Biogázgyártás”; CSER Kiadó, Budapest
96. Schulz, H., Perwanger, A., Mitterleitner H.: 1982. Einsatzmöglichkeiten verschiedener Energieträger in der Landwirtschaft. Endbericht des Landtechnischen Vereins in Bayern e.V. München.
97. Selmecsi J.: Inert tartalmú gázok eltüzelésével kapcsolatos kísérleti tevékenység. XXXIV. Ipari Szeminárium, Miskolc 1998.
98. Simon L.-Kerekes B. (szerk): 2000. Termékfeldolgozás II. jegyzet; Nyíregyházi főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Főiskolai Kar, Nyíregyháza. p 20-22.
99. Somogyvári M.: 2007. A biomassza energetikai felhasználásának etikai vonatkozásai. Via Futuri 2007 A biomassza alapú energiatermelés, Pécs, p 10-22
100. Somosné, Nagy A.: 2010. Laskagomba fajtaspecifikus termesztéstechnológiájának fejlesztése, doktori értekezés, Kertészettudományi Doktori Iskola, Növénytermesztési és kertészeti tudományok, BUDAPEST
101. Stamets, P.: 1993. Growing gourmet and medicinal mushrooms. Berekely, CA, USA: Ten Speed Press, 283, 314. p.
102. Sváb, J.: 1981 Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 99
103. Svensson, Lars Mattias – Björnsson, Lovisa – Mattiasson, Bo: 2007. Enhancing performance in anaerobic high-solids stratified bed digesters by straw bed implementation; In: Bioresource Technology, Vol 98, Issue 1, Jan 2007, p 46 – 52
104. Szabó B.: 2007. KLÍMAPOLITIKA, A biomassza energetikai alkalmazásának jövője, aktuális problémái. KVM
105. Szabó G.: 2001. Élelmiszer-gazdaságtan, jegyzet, DEBRECENI EGYETEM, AGRÁRTUDOMÁNYI CENTRUM, Mezőgazdaságtudományi Kar, Agrárgazdasági és Vidékfejlesztési Intézet, p. 3.
106. Szekeres L. Lőrincz J.: 1961. A biogáz eljárás. Kiegészítő jegyzet az agrokémia tantárgy oktatásához. Házi soksz., Gödöllő 79 p.
107. Szegi J.: 1967. Nitrogénkötő mikroorganizmusok jelentősége a talaj termőképessége szempontjából. Agrokémia és Talajtan 16. 477-486.
108. Szendrei J.: 2005. A biomassza energetikai hasznosítása. Agrártudományi Közlemények. 16. Különszám. 264-272. <http://www.date.hu/acta-agraria/2005-16/szendrei.pdf>
109. Szendrei J.: 2008. A szekunder biomasszára alapozott biogáztermelés logisztikája és hatékonysági kérdései, PhD disszertáció, Debrecen
110. Szendrő P.: 2003 Géptan, Mezőgazda Kiadó, Budapest
111. Szili, I.: 2008. Gombatermesztők könyve. Budapest: Mezőgazda Kiadó, 88. 119. 126. p.

112. Tóth P.: 2000. Megújuló energiaforrásokon alapuló komplex energiaelátó rendszerek alkalmazási lehetősége mezőgazdasági üzemekben, doktori értekezés, p.:10.
113. 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
114. Vántus A.: 2003. Tehenészeti telepek munkahelyi szervezettségének vizsgálata. Acta Agraria Debreceniensis, /10. különszám pp. 293-295.
115. Vetter, J.:1999. A laskagomba (*Pleurotus ostreatus*) beltartalmáról. Magyar Gomba, 3 (11):21-23. p.
116. 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.
117. Wellinger, A. et al.: 1991. Biogas-Handbuch, 2. Auflage, Verlag Virz Aarau
118. 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.
119. Zadrazil, F.: 1974. The ecology and industrial production of *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus florida*, *Pleurotus cornucopiae* and *Pleurotus eryngii*. IXth International Scientific Congress on the Cultivation of Edible Fungi, Tokyo, on November 4, 1974. *Mushroom Science*, 42-49. p.
120. Zehnder, ABJ.: 1988. Biology of Anaerobic Microorganisms. New York: John Wiley and Sons
121. Zeikus, J.G.:1977. The biology of methanogenic bacteria. *Bacteriol Rev*, 41:514-541.
122. Zubr, J: 1986. Methanogenic fermentation of fresh and ensiled plant materials. *Biomass* /11:159–171

## **PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN**

### **Tudományos közlemény idegen nyelvű, hazai lektorált folyóiratban:**

*Sallai L.:* 2009 Cofermentation of organic waste of the pilot farm of SZTE MGK, Hungarian Agricultural Engineering (HAE) 22., 98-101.pp. ISSN 0864-7410

*Sallai L.:* 2010. Cofermentation of organic waste of the pilot farm of SZTE MGK, Agrár- és Vidékfejlesztési Szemle, SZTE MGK Tudományos Folyóirata, Hódmezővásárhely, SZTE MGK, 5. évf./1. szám, 377 - 383 pp ISSN 1788-5345

*Sallai L.:* 2012. Biogas experiments with pig slurry and wheat processing residues, Agrár- és Vidékfejlesztési Szemle, SZTE MGK Tudományos Folyóirata, Hódmezővásárhely, SZTE MGK, 7. évf./1. szám, 268 - 274 pp ISSN 1788-5345

### **Tudományos közlemény magyar nyelvű lektorált folyóiratban:**

*Sallai L. – Molnár T. – Fodor D.:* 2006. Biogáz adott feltételek között történő energetikai célú termelése és felhasználása. Agrártudományi Közlemények, Acta Agraria Debreceniensis. 22. ksz. 41-46.p. ö:eng. b:46.p.22.,

*Sallai L. – Molnár T. – Fodor D.:* 2006. Mezőgazdasági és élelmiszeripari eredetű biomasszából, biogáz előállítása során keletkező energia felmérése az SZTE MFK tanüzemében. Agrár- és Vidékfejlesztési Szemle, SZTE MGK Tudományos Folyóirata, Hódmezővásárhely, SZTE MGK, 1. évf./1. szám, 63 - 67 pp ISSN 1788-5345

*Sallai L. – Molnár T. – Fodor D.:* 2007. Biogáz előállítása során keletkező energia felmérése az SZTE MFK tanüzemében különös tekintettel a mezőgazdasági és élelmiszeripari eredetű biomasszára. Agrártudományi Közlemények, 26. 137-140. old.

*Sallai L.:* 2008 Biogáz laboratórium kialakítása, fejtőházi szennyvíz és szarvasmarha almos trágya kofermentációja. MTA Agrártudományok Osztálya, Agrárműszaki Bizottság, Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Nr. 32, 1. kötet, Gödöllő, január 22. 234-238.p. (előadás, teljes cikk, CD-ROM)

*Sallai L.:* 2008. Energiatermelés céljából végzett kofermentációs kísérletek eredményei. Agrár- és Vidékfejlesztési Szemle, SZTE MGK Tudományos Folyóirata Hódmezővásárhely, SZTE MGK 3.évf./1.szám, 58 - 59 pp. ISSN 1788-5345

*Sallai L.:* 2009. Kofermentációs kísérletek újabb eredményei, Agrár- és Vidékfejlesztési Szemle, SZTE MGK Tudományos Folyóirata, Hódmezővásárhely, SZTE MGK, 4. évf./2. szám, 169 - 175 pp ISSN 1788-5345

### **Nemzetközi nem lektorált konferencia kiadvány:**

*Sallai L. – Molnár T. – Fodor D.:* 2005 The situation and possibilities of renewable energy use in Szeged region of Hungary, Donauhochschule Ulm konferencia, (előadás)

*Sallai L. – Molnár T. – Fodor D.:* 2005. Use of biogas in energetics in the case of renewable energy project, Scientific Symposium, University of agricultural sciences and veterinary medicine of the Banat, TIMIȘOARA, Faculty of farm management., May 26-27, p. 97-104 (cikk, poszter, előadás).

*Molnár T. - Sallai L.- Fodor D.:* 2007 The impact of biogas from deponia for the economical properties of electrical production. LUCRĂRI ȘTIINȚIFICE, SERIA I. VOL. IX University of agricultural sciences and veterinary medicine of the Banat, TIMIȘOARA, Management of durable rural development within ACADEMIC TIMIȘ DAYS, Faculty of farm management, 323-330, 24 mai 2007..

*Sallai L.- Fodor D. –Molnár T.:* 2007 Establishment of experimental laboratory for examination of biogas production gained from agricultural organic waste. LUCRĂRI ȘTIINȚIFICE, SERIA I. VOL. IX University of agricultural sciences and veterinary medicine of the Banat, TIMIȘOARA, Management of durable rural development within ACADEMIC TIMIȘ DAYS, Faculty of farm management.

*Sallai L.:* 2008. Biogas production and utilisation in a certain agricultural region, installation of a biogas laboratory, the first experiences. 2nd Symposium Donauhochschule Ulm, Cooperation on sustainable energy systems, idegen nyelvű előadás

#### **Magyar nyelvű nem lektorált konferencia kiadvány:**

*Sallai L.:* 2010. Egy adott gazdasági szerkezetű kisebb régió szerves hulladékaira alapozott biogáz előállítási technológia kialakítása, MTA-AMB évi XXXIV. KUTATÁSI ÉS FEJLESZTÉSI TANÁCSKOZÁS(poszter)

#### **Előadás hazai konferencián, magyar nyelven:**

*Sallai L.:* 2006. Az SZTE MFK tanüzemének szerves hulladékaira alapozott biogáz potenciál felmérése, SZTE MFK, Hódmezővásárhely. EURÓPAI UNIÓS KUTATÁSI ÉS OKTATÁSI PROJEKTEK NAPJA, Tudományos projektek szekciójában, ISBN 963-06-1269-0 (előadás, teljes cikk, CD-ROM)

*Sallai L.- Fodor D. –Molnár T.:* 2006 Egy adott gazdasági szerkezetű kisebb régió szerves hulladékaira alapozott biogáz potenciál felmérése XII. Ifjúsági Tudományos Fórum, Pannon Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar, (előadás, teljes cikk, CD-ROM)

*Sallai L.:* 2007. Kofermentációs kísérletek üzemi méreteket szimuláló biogáz laboratóriumban, I. Nemzetközi Környezettudományi és Vízgazdálkodási Konferencia, MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK SZEKCIÓ, Tessedik Sámuel Főiskola, Mezőgazdasági Víz- és Környezetgazdálkodási Főiskolai Kar, Szarvas.

*Sallai L.:* 2008. Energiatermelés céljából végzett kofermentációs kísérletek eredményei. MTA AMB XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, előadás, Gödöllő

*Sallai L.:* 2008. Fejőházi szennyvíz és almos trágya kofermentációja. VI. ALFÖLDI TUDOMÁNYOS TÁJGAZDÁLKODÁSI NAPOK, előadás, összefoglaló, CD

#### **Ismeretterjesztő publikáció:**

*Sallai L. - Fodor D.- Molnár T.:* 2004. Biogáz üzem adott feltételek között történő megvalósításának műszaki és ökonómiai vizsgálata. Tanulmány,

## MELLÉKLETEK

### 1. melléklet: A biogáz tulajdonságai

| <b>tulajdonság</b>                                          | <b>biogáz</b><br>[~60 % CH <sub>4</sub> /~40 % CO <sub>2</sub> ] | <b>földgáz</b><br>[~96 % CH <sub>4</sub> /~1 % CO <sub>2</sub> ] |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| fűtőérték [MJ/m <sup>3</sup> ]                              | ~21,5                                                            | ~34-36                                                           |
| gyulladás hőmérséklet [°C]                                  | ~700                                                             | ~650                                                             |
| adiabatikus láng hőmérséklet [K]                            | ~2100                                                            | ~2250                                                            |
| normálsűrűség [g/l]                                         | 1,20                                                             | 0,7                                                              |
| relatív sűrűség [g/l]                                       | ~0,9                                                             | ~0,54                                                            |
| kritikus nyomás [bar]                                       | 75 ... 89                                                        | 80                                                               |
| oktánszám                                                   | 105 ... 120                                                      | 110                                                              |
| max. égési sebesség levegőben [m/s]                         | 0,25                                                             | 0,39                                                             |
| levegő és hajtóanyag elméleti súlyaránya                    | 11:1                                                             | 17:1                                                             |
| gyulladás koncentráció [tf%]                                | 6 ... 12                                                         | 5 ... 15                                                         |
| Wobbe-index [MJ/m <sup>3</sup> ]                            | ~ 22                                                             | ~ 45,7                                                           |
| metánszám                                                   | ~ 130                                                            | ~98                                                              |
| vízgőz [g/m <sup>3</sup> ]                                  | >13,5                                                            | -                                                                |
| elméleti levegőszükséglet [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ] | 5,7                                                              | 9,5                                                              |

[Kendi, 1999.]; [Schulz – Eder, 2005.]; [Kapro, 2009.]; [Szunyog, 2008.]

### 2. melléklet: Az erjesztésre alkalmas ipari hulladékok főbb jellemzői

|                         | Szárazanyag<br>% | Szerves száraz-<br>anyag(%) | N(%)<br>sz.a. | C/N   | Gázkihozatal<br>(CH <sub>4</sub> )<br>m <sup>3</sup> /kg org. sz.a. |
|-------------------------|------------------|-----------------------------|---------------|-------|---------------------------------------------------------------------|
| Nyersglicerín           | >98              | 90-93                       | 0             | -     | 0,69-0,72                                                           |
| Sörtörköly              | 20-22            | 87-90                       | 3,5-4         | 10    | 0,6-0,7                                                             |
| Komlóörköly             | 97               | 90                          | 3-3,2         | 12    | 0,5-0,55                                                            |
| Kovaföld (sör)          | 30               | 6,3                         | 0,7           | 5     | 0,3-0,35                                                            |
| Száraz kenyér           | 90               | 96-98                       | 1,8-2         | 42    | 0,7-0,75                                                            |
| Burgonyamoslék          | 12-15            | 90                          | 5-13          | 13-19 | 0,55                                                                |
| Gabonamoslék            | 6-8              | 87-90                       | 3-4           | 10-11 | 0,6                                                                 |
| Melasz                  | 80               | 95                          | 1,5           | 14-27 | 0,3                                                                 |
| Savó                    | 80               | 95                          | 1,5           | 14-17 | 0,3                                                                 |
| Gyümölcs hulladék       | 45               | 93                          | 1,1           | 50    | 0,4                                                                 |
| Olajos mag-présmaradék  | 92               | 97                          | 1,4           | 9-12  | 0,58-0,62                                                           |
| Extrahált repcedara     | 88               | 93                          | 5,6           | 8     | 0,45-0,55                                                           |
| Konyhai hulladék        | 9-18             | 90-95                       | 0,8-3         | 15-20 | 0,4-0,6                                                             |
| Szennyvíziszap          | 5-24             | 83-98                       | 3-8           | -     | 0,6-0,8                                                             |
| Gyomortartalom (sertés) | 12-15            | 80-84                       | 2,5-2,7       | 17-21 | 0,2-0,3                                                             |
| Bendőtartalom           | 11-19            | 80-88                       | 1,3-2,2       | 17-21 | 0,28-0,4                                                            |
| Bendőtartalom (kezelt)  | 20-45            | 90                          | 1,5           | 11-20 | 0,6-0,7                                                             |
| Húspép                  | 8-25             | 90                          | 2-7,5         | 11-18 | 0,5-0,6                                                             |
| Zsír (főlözött)         | 35-70            | 96                          | 0,5-3,6       | -     | 0,7-1,0                                                             |
| Zöldség hulladék        | -                | -                           | -             | -     | 0,4                                                                 |
| Biohulladék             | -                | -                           | -             | -     | 0,5-0,6                                                             |

[Barótfi, 2000]

3. melléklet: A földterület használata művelési ágak szerint a Hódmezővásárhelyi kistérségben

| Megnevezés               |    | Hódmező-<br>vásárhely | Mártély | Mindszent | Székkutas | Kistérség<br>összesen | Megoszlás<br>%-ban |
|--------------------------|----|-----------------------|---------|-----------|-----------|-----------------------|--------------------|
| szántó                   | ha | 35353,22              | 3290,55 | 3569,84   | 8939,02   | 51152,64              | 72,27              |
| kert                     | ha | 157,65                | 16,95   | 57,91     | 2,80      | 235,30                | 0,33               |
| gyümölcsös               | ha | 244,06                | 4,85    | 36,46     | 40,34     | 325,71                | 0,46               |
| szőlő                    | ha | 82,87                 | -       | 9,59      | 0,51      | 92,97                 | 0,13               |
| gyep                     | ha | 4279,69               | 388,82  | 638,02    | 2434,84   | 7741,37               | 10,94              |
| mezőgazdasági<br>terület | ha | 40117,69              | 3701,18 | 4311,82   | 11417,50  | 59547,99              | 84,13              |
| erdő                     | ha | 2166,94               | 42,08   | 523,91    | 119,88    | 2852,81               | 4,03               |
| nádas                    | ha | 91,39                 | 4,47    | 21,39     | 19,84     | 137,09                | 0,19               |
| halastó                  | ha | 4,57                  | -       | 119,11    | -         | 123,69                | 0,17               |
| termő terület            | ha | 42380,40              | 3747,73 | 4976,24   | 11557,22  | 62661,58              | 88,53              |
| termelés alól<br>kivett  | ha | 5941,35               | 373,72  | 962,56    | 842,00    | 8119,62               | 11,47              |
| ÖSSZES<br>FÖLDTERÜLET    | ha | 48321,75              | 4121,44 | 5938,80   | 12399,22  | 70781,20              | 100,00             |

Forrás: TEIR, 2009

4. melléklet: A kistérség becsült vetésszerkezete a szántóterületen

| Megnevezés                      | Vetésterület nagysága<br>(ha) | A szántóterülethez<br>viszonyítva(%) |
|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| Gabonafélék                     | 36318,4                       | 71,0                                 |
| Ebből: búza                     | 15345,8                       | 30,0                                 |
| kukorica                        | 14322,7                       | 28,0                                 |
| árpa                            | 4092,2                        | 8,0                                  |
| rozs, zab, triticales           | 2046,1                        | 4,0                                  |
| Burgonya                        | 51,2                          | 0,1                                  |
| Hüvelyesek                      | 511,5                         | 1,0                                  |
| ebből: borsó                    | 511,5                         | 1,0                                  |
| Ipari növények                  | 5626,8                        | 11,0                                 |
| ebből: cukorrépa                | 511,5                         | 1,0                                  |
| napraforgó                      | 4092,2                        | 8,0                                  |
| repce                           | 767,3                         | 1,5                                  |
| Takarmánynövények               | 4859,5                        | 9,5                                  |
| ebből: silókukorica             | 1278,8                        | 2,5                                  |
| lucerna                         | 2046,1                        | 4,0                                  |
| Zöldségfélék                    | 204,6                         | 0,4                                  |
| Egyéb növények                  | 1023,1                        | 2,0                                  |
| Vetetlen terület (ugar, parlag) | 2557,6                        | 5,0                                  |
| Szántóterület összesen          | 51152,6                       | 100,0                                |

Forrás: KSH adatok alapján saját kalkuláció

5. melléklet: A gazdasági állatok ürülékéből évente kinyerhető energia a kistérségben

| Megnevezés                                                  |                                                         | Mérték-<br>egység          | Állatfaj          |         |                |                  |              | Évi<br>összesen |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------|---------|----------------|------------------|--------------|-----------------|
|                                                             |                                                         |                            | Szarvas-<br>marha | Sertés  | Tyúk-<br>félék | Egyéb<br>baromfi | Juh          |                 |
| Az állatállomány nagysága (db).                             |                                                         |                            | 16055             | 66094   | 153701         | 141630           | 12944        |                 |
| Az ürülék<br>mennyisége                                     | egyedre<br>vonatkoztatva,<br>(t/év*db);*t/év*<br>1000db |                            | 10,0              | 1,0     | 5,0*           | 10,0*            | 0,6          |                 |
|                                                             | állományra,<br>(t/év)                                   |                            | 160550            | 66094   | 768,5          | 1416,3           | 7766,4       | 236595          |
| Szárazanyag tartalom                                        |                                                         | %                          | 12,0              | 8       | 20,0           | 32,0             | 33,0         |                 |
|                                                             |                                                         | t/év                       | 19266             | 5287,5  | 153,7          | 453,2            | 2562,9       | 25160,4         |
| Szerves<br>anyag<br>tartalom                                |                                                         | %                          | 8,0               | 6       | 14,0           | 21,0             | 23,0         |                 |
|                                                             |                                                         | t/év                       | 12844             | 3965,6  | 107,6          | 297,4            | 1786,3       | 19000,9         |
| Átlagos gázkihozatal                                        |                                                         | m <sup>3</sup> /t<br>szea. | 200               | 445     | 450,0          | 415,0            | 200,0        |                 |
| Várható évi bruttó biogáz<br>hozam (Nm <sup>3</sup> /év)    |                                                         |                            | 2568800           | 1764710 | 48416          | 123430           | 357254       | 4862611         |
| A biogáz reaktor saját<br>fogyasztása (Nm <sup>3</sup> /év) |                                                         |                            | 770640            | 529413  | 14525          | 37029            | 107176,<br>3 | 1458783         |
| Hasznosítható biogáz hozam<br>(Nm <sup>3</sup> /év)         |                                                         |                            | 1798160           | 1235297 | 33891          | 86401            | 250078       | 3403827         |
| A hozam fűtőértéke                                          |                                                         | GJ/év                      | 37761             | 25941,2 | 711,7          | 1814,4           | 5251,6       | 71480,4         |
| Olajegyenérték (kg olaj/év)                                 |                                                         |                            | 899080            | 617648  | 16946          | 43201            | 125039       | 1701913         |
| Villamos energia egyenérték<br>(MWh/ év)                    |                                                         |                            | 10498             | 7211,7  | 197,9          | 504,4            | 1460         | 19871,5         |

Forrás: [Kaltwasser, 1983]

## 6. melléklet: Hódmezővásárhely kistérség biomassza potenciálja

| <b>Primer produkció</b>                           | tonna         | <b>Szekunder produkció</b>                                  | számos-<br>állat<br>(db) | tonna          | <b>Tercier<br/>produkció<br/>(hulladék)</b>  | tonna          |
|---------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------|----------------------------------------------|----------------|
| <i>Gabonafélék</i>                                | 152589        | <i>Szarvasmarha állomány</i>                                | 12844                    | 6421,8         | <i>Szilárd kommu-<br/>nális<br/>hulladék</i> | <b>7054,2</b>  |
| ebből búza                                        | 61383,2       | <i>Sertésállomány</i>                                       | 7534,7                   | 3767,4         |                                              |                |
| kukorica                                          | 71013,7       | <i>Juhállomány</i>                                          | 924,2                    | 462,1          | <i>Állati<br/>eredetű<br/>hulladék</i>       | <b>37000</b>   |
| <i>Olaj-növények</i>                              | 9412,1        | <i>Lóállomány</i>                                           | 753,6                    | 376,8          |                                              |                |
| <i>Gyökér-és<br/>gyök gumósok</i>                 | 22404,9       | <i>Tyúkféle</i>                                             | 1537                     | 768,5          |                                              |                |
| <i>Hüvelyesek (borsó)</i>                         | 1278,8        | <i>Egyéb baromfi</i>                                        | 1747,8                   | 873,9          | <i>Folyékony<br/>kommunális<br/>hulladék</i> | <b>2839</b>    |
| <i>Takarmány-növények</i>                         | 42200,9       | <i>Állatállomány<br/>összesen</i>                           | <b>25340,9</b>           | <b>12670,5</b> |                                              |                |
| Ebből: silókukorica                               | 31970,4       | <i>tej</i>                                                  | -                        | 46500          |                                              |                |
| lucerna                                           | 10230,5       | <i>vágó- és selejtezett<br/>állatok</i>                     | -                        | 2300           |                                              |                |
| Gyep (gyepszéna)                                  | 33000         | <i>Szarvasmarha<br/>tenyésztés</i>                          | -                        | 48800          | <i>Közterületi<br/>zöld-<br/>hulladék</i>    | <b>1500</b>    |
| Nádas, halastó (nád)                              | 700           | <i>Sertés tenyésztés<br/>(vágó- és selejtezett állatok)</i> | -                        | 13892          |                                              |                |
| Erdő (éves növendék<br>+ gyalogakác)              | 6860          | <i>Vágó-baromfi</i>                                         | -                        | 3705           | <i>Étkezési<br/>hulladék</i>                 | <b>54,1</b>    |
| Kalászosok (szalma)                               | 56683         | <i>tojás</i>                                                | -                        | 795            |                                              |                |
| Kukorica (szár és<br>csutka)                      | 65251         | <i>baromfi-tenyésztés</i>                                   | -                        | 4500           |                                              |                |
| Napraforgó (szem és<br>tányér)                    | 24570         | <i>juhtenyésztés<br/>(vágóbárány)</i>                       | -                        | 200            |                                              |                |
| Repce (repceszalma)                               | 2455          | <i>Állati termékek<br/>összesen</i>                         | -                        | <b>67392</b>   |                                              |                |
| Borsó (borsószalma)                               | 1280          | <i>Állattenyésztési<br/>termékek (trágya)</i>               | <i>mellék-</i>           | <b>236595</b>  |                                              |                |
| Cukorrépa (répafej)                               | 19335         |                                                             |                          |                |                                              |                |
| Gyümölcsnyesedék                                  | 1625          |                                                             |                          |                |                                              |                |
| Szőlő (szőlővenyige,<br>lombhulladék,<br>törköly) | 650           |                                                             |                          |                |                                              |                |
| Növényi mellék-<br>termékek összesen:             | <b>178709</b> |                                                             |                          |                |                                              |                |
| Összesen                                          | 431294        | <b>Szekunder<br/>produkció<br/>összesen</b>                 | <b>25340,9</b>           | <b>316658</b>  | <b>Tercier<br/>produkció<br/>összesen</b>    | <b>48447</b>   |
| Teljes élőfa készlet                              | 406980        |                                                             |                          |                |                                              |                |
| Növényi fő- és<br>melléktermékek                  | 844274        | <i>Hulladékok és<br/>termékek összesen</i>                  | <i>mellék-</i>           | <b>463751</b>  | <b>Mind-<br/>összesen</b>                    | <b>1234720</b> |

7. melléklet: A kistérségben termelődő biomassza energetikai potenciálja

| <b>Megnevezés</b>                        | <b>Potenciális hőenergia[GJ]</b> |
|------------------------------------------|----------------------------------|
| Gabonafélék                              | 1065627                          |
| Gabonaszalma, Kukorica-szár+csutka       | 239986,2                         |
| Repce                                    | 37500                            |
| Gyepék szénatermelése                    | 300000                           |
| Nádhozam                                 | 12600                            |
| A tájvédelmi körzet gyalogakác termelése | 170                              |
| Burgonya                                 | 2182,8                           |
| Borsó                                    | 18900                            |
| Cukorrépa                                | 48348,0                          |
| Napraforgó                               | 116376,5                         |
| Repce                                    | 18058,1                          |
| Silókukorica                             | 139847,4                         |
| Lucerna                                  | 26854,8                          |
| Ugarterületen kukorica**                 | 113627,3                         |
| Ugarterületen c.cirok**                  | 3634205,4                        |
| Erdészeti fő és melléktermékek           | 126720                           |
| Szőlő /nyesedék+venyige/                 | 9620                             |
| Gyümölcsös/nyesedék+venyige/             | 24050                            |
| Szarvasmarha                             | 68916,                           |
| Sertés                                   | 516268,4                         |
| Tyúkfélék                                | 48772,4                          |
| Egyéb baromfi (liba, kacsa, pulyka)      | 19884,5                          |
| Juh                                      | 6383,                            |
| szilárd kommunális hulladék*             | 48255                            |
| folyékony kommunális hulladék            | 23788                            |
| Állati hulladék                          | 183760,5                         |
| Étkezési hulladék                        | 210,411                          |
| Összesen                                 | 6850911,9                        |

\*szilárd kommunális hulladék (tartalmazza a kistérség közterületein keletkező összes zöldhulladék mennyiségét)

\*\*energetikai célú felhasználást feltételezve



8. melléklet: Gázóra, mintavételezési, vizsgálati pontokkal, a mennyiségmérés utáni elkülönítetten történő tárolás lehetőségével (SZTE MGK biogáz laboratórium)



9. melléklet: GIBERTINI EUROPE 1700 mérleg (SZTE MGK biogáz laboratórium)



10. melléklet: Dräger X-am 7000 hordozható gázanalizátor. (SZTE MGK biogáz laboratórium)



11. melléklet: Keverőmotor, feltöltő csonkkal, gázvezető csatlakozással és golyós csappal, (SZTE MGK biogáz laboratórium)



12. melléklet: Vario Max CN elemanalizátor



13. melléklet: Hydrolab mérőműszer



14. melléklet: NANOCOLOR 300 D spektrofotométer



15. melléklet: GA45 gázanalizátor

## VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV

Minta sorszáma: **SZ-472 /2004.**

A minta megnevezése: szennyvíz Mintavétel módja: pontminta  
Mintavétel címe : Hódmezővásárhely SZTE MgFK Tanműhely - Tejfeldolgozó  
Mintavétel helye : 2.sz. akna  
Mintavétel ideje : 2004.12.16  
kezdete: 13:00 vége: Mintavevő: Virágos Kiss Sándor  
*A NAT által akkreditált mintavétel*

Megrendelő neve: BOPPE Tejfeldolgozó Kft.  
címe: Hódmezővásárhely, Liget sor 37. Irányítószáma: 6800

### HELYSZÍNI VIZSGÁLATOK:

Víz hőmérséklet: °C; Elektromos vezetőképesség: µS/cm; pH:

### LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK (Fizikai és kémiai vizsgálatok:)

|                                             | mért érték   | módszer azonosító             |
|---------------------------------------------|--------------|-------------------------------|
| <b>Fizikai vizsgálatok:</b>                 |              |                               |
| 1. lebegő anyag tartalom:                   | mg/L         | MSZ 260-3:1973                |
| 2. üledék anyag tartalom:                   | ml/L         | MSZ 260-3:1973                |
| 3. elektromos vez.képesség:                 | 1642 µS/cm   | MSZ EN 27888:1998             |
| <b>Kémiai vizsgálatok:</b>                  |              |                               |
| 4. pH                                       | 4,87         | MSZ 260-4:1971                |
| 5. Nitrít                                   | 0,71 mg/L    | MSZ 260-10:1985               |
| 6. Nitrát                                   | <1 mg/L      | MSZ 260-11:1971               |
| 7. Ammónium                                 | mg/L         | MSZ ISO 7150-1:1992           |
| 8. Ammónium-nitrogén                        | 55,30 mg/L   | MSZ ISO 7150-1:1992           |
| 9. Kémiai oxigénigény KOI (ps)              | mg/L         | MSZ 448-20: 1990              |
| 10. Kémiai oxigénigény KOI (Cr)             | 10500,0 mg/L | MSZ ISO 6060:1991             |
| 11. Anionaktív detergens (ANA)              | mg/L         | MSZ 260-47:1983               |
| 12. Összes foszfor                          | 58,10 mg/L   | MSZ 260-20:1980               |
| 13. Foszfát                                 | 223 mg/L     | MSZ 448-18:1977               |
| 14. Szerves oldószeres extrakt SZOE (Hexán) | mg/L         | EPA Method(=MSZ 1484-12:2002) |
| 15. Nátrium                                 | mg/L         | MSZ 260-38:1986               |
| 16. Kálium                                  | mg/L         | MSZ 260-38:1986               |
| 17. Fenolindex                              | ug/L         | MSZ 1484-1:1992               |
| 18. BOI5                                    | 4100 mg/L    | MSZ ISO 5815:1998             |
| 19. Kátrány                                 | mg/L         | MSZ 260-41:1973               |
| 20. Összes cianid                           | mg/L         | ISO 6703-1:1984               |
| 21. Szulfid                                 | mg/L         | MSZ 260-8:1968                |
| 22. Kjeldahl-nitrogén                       | 155 mg/L     | MSZ EN 25663:1993             |
| 23. Szulfát                                 | mg/L         | MSZ 448-13:1983               |
| 24. Összes oldott anyag                     | 1968 mg/L    | MSZ 448-19:1986               |

„<” A vizsgált komponens a feltüntetett módszer méréshatára alatt van.

A minta azonosságáért és a szabályos mintavételért a mintavevő vállal felelősséget.

A vizsgálatok elvégzésének ideje a vonatkozó szabványoknak megfelel. A vizsgálati eredmények csak a megvizsgált mintára vonatkoznak. A jegyzőkönyvet a vizsgálólaboratórium írásbeli engedélye nélkül, csak teljes terjedelmében lehet másolni.

Sándorfalva, 2004. december 22.

AQUALABOR Kft. 2. Sándorfalva Sövényházi út 1.  
Basics Ferenc  
laboratóriumvezető

16. melléklet: Sajtüzemi szennyvízvizsgálati jegyzőkönyv

17. melléklet: Kövér sertéstrágya fontosabb minőségi mutatói

| Összetétel                               | Kövér hígtrágya (1:1 hígítású) |       |         |         |
|------------------------------------------|--------------------------------|-------|---------|---------|
|                                          |                                | átlag | minimum | maximum |
| Hőmérséklet                              | °C                             | 13,3  | 10,2    | 17,0    |
| pH                                       |                                | 7,9   | 7,2     | 9,0     |
| Vezetőképeség                            | mho                            | 10600 | 4600    | 26700   |
| O <sub>2</sub> -fogyasztás (dikromátos)  | mg/l                           | 32100 | 8600    | 90900   |
| BOI <sub>5</sub>                         | mg/l                           | 15400 | 4000    | 41300   |
| S                                        | mg/l                           | 37,8  | 14,0    | 85,0    |
| Összes N                                 | mg/l                           | 2600  | 800     | 8300    |
| NH <sub>4</sub>                          | mg/l                           | 1400  | 260     | 6,150   |
| Vízoldható PO <sub>4</sub>               | mg/l                           | 1000  | 300     | 1840    |
| Vízoldható P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | mg/l                           | 780   | 220     | 1380    |
| Összes P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>     | mg/l                           | 1270  | 690     | 2500    |
| Összes K <sub>2</sub> O                  | mg/l                           | 2350  | 720     | 6300    |
| Na,%                                     |                                | 21,5  | 14,0    | 31,0    |
| Mg,%                                     |                                | 50,6  | 22,0    | 75,0    |
| Összes szárazanyag                       | mg/l                           | 38400 | 12600   | 113000  |
| Összes szerves anyag                     | mg/l                           | 31200 | 8500    | 97000   |
| Összes lebegő anyag                      | mg/l                           | 31900 | 8800    | 98100   |
| Összes oldott anyag                      | mg/l                           | 6400  | 2900    | 16100   |
| Oldott ásványi anyagok                   | mg/l                           | 2900  | 950     | 6100    |

18. melléklet: Sovány sertéshígtrágya fontosabb minőségi mutatói

| Összetétel                               | Sovány hígtrágya (1:3 hígítású) |       |         |         |
|------------------------------------------|---------------------------------|-------|---------|---------|
|                                          |                                 | átlag | minimum | maximum |
| Hőmérséklet                              | °C                              | 14,3  | 5,0     | 20,5    |
| pH                                       |                                 | 7,6   | 7,1     | 8,3     |
| Vezetőképesség                           | mho                             | 5500  | 3200    | 11600   |
| O <sub>2</sub> -fogyasztás (dikromátos)  | mg/l                            | 6,200 | 3,500   | 10300   |
| BOI <sub>5</sub>                         | mg/l                            | 3400  | 2500    | 5100    |
| S                                        | mg/l                            | 24,3  | 5,7     | 44,0    |
| Összes N                                 | mg/l                            | 830   | 480     | 1500    |
| NH <sub>4</sub>                          | mg/l                            | 530   | 270     | 1200    |
| Vízoldható PO <sub>4</sub>               | mg/l                            | 170   | 60      | 420     |
| Vízoldható P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | mg/l                            | 130   | 45      | 310     |
| Összes P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>     | mg/l                            | 140   | 310     | 360     |
| Összes K <sub>2</sub> O                  | mg/l                            | 950   | 580     | 1540    |
| Na,%                                     |                                 | 26,7  | 15,0    | 43,0    |
| Mg,%                                     |                                 | 40,6  | 27,0    | 69,0    |
| Összes szárazanyag                       | mg/l                            | 9200  | 5700    | 13500   |
| Összes szerves anyag                     | mg/l                            | 5900  | 3600    | 10500   |
| Összes lebegő anyag                      | mg/l                            | 5800  | 2800    | 9700    |
| Összes oldott anyag                      | mg/l                            | 3400  | 2400    | 5200    |
| Oldott ásványi anyagok                   | mg/l                            | 2200  | 1400    | 2800    |

19. melléklet: A különböző almos trágyaféleségek szárazanyag tartalmának meghatározása

|                  | Sertés I. | Sertés II: | Sertés III. | Sertés IV. | Átlag | Szarvas-marha I. | Szarvas-marha II. | Átlag |
|------------------|-----------|------------|-------------|------------|-------|------------------|-------------------|-------|
| Tara             | 315,05    | 306,2      | 70,56       | 323,2      |       | 113,01           | 163,6             |       |
| Bruttó nedves(g) | 421,07    | 686,8      | 531,46      | 701,1      |       | 419,2            | 683,8             |       |
| Bruttó száraz(g) | 340,46    | 387,8      | 169,2       | 410,6      |       | 180,59           | 270,6             |       |
| Nettó nedves(g)  | 106,02    | 380,6      | 460,9       | 377,9      |       | 306,19           | 520,2             |       |
| Nettó száraz(g)  | 25,41     | 81,6       | 98,64       | 87,4       |       | 67,58            | 107               |       |
| Sz.a. tart. (%)  | 23,97     | 21,44      | 21,40       | 23,13      | 22,49 | 22,07            | 20,57             | 21,32 |

20. melléklet: Sertés almos trágya szerves anyag tartalmának meghatározása

| <b>Mennyiség</b>                        |        |        |        |        |        |        |        | Átlag  |
|-----------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Tara(g)                                 | 68,44  | 67,87  | 67,5   | 23,36  | 71,03  | 67,35  | 376,7  |        |
| Bruttó száraz(g)                        | 83,21  | 88,71  | 95,42  | 25,1   | 96,05  | 138,73 | 457,6  |        |
| Nettó száraz(g)                         | 14,77  | 20,84  | 27,92  | 1,74   | 25,02  | 71,38  | 80,9   |        |
| Bruttó izzítási maradék                 | 71,75  | 73,44  | 74,8   | 23,92  | 79,13  | 90     | 403,7  |        |
| Izzítási maradék                        | 3,31   | 5,57   | 7,3    | 0,56   | 8,1    | 22,65  | 27     |        |
| Izzítási veszteség                      | 11,46  | 15,27  | 20,62  | 1,18   | 16,92  | 48,73  | 53,9   |        |
| Sze.a. tart. sz.a.-ra vonatkoztatva (%) | 77,59% | 73,27% | 73,85% | 67,82% | 67,63% | 68,27% | 66,63% | 71,40% |

21. melléklet: A szarvasmarha almos trágya szerves anyag tartalmának meghatározása

| <b>Mennyiség</b>                                       |        |        |        |        |        |        | Átlag  |
|--------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Tara(g)                                                | 68,03  | 67,36  | 67,33  | 51,1   | 51,15  | 51,15  |        |
| Bruttó száraz(g)                                       | 105,48 | 120,58 | 107,97 | 55,36  | 59,88  | 56,51  |        |
| Nettó száraz(g)                                        | 37,45  | 53,22  | 40,64  | 4,26   | 8,73   | 5,36   |        |
| Bruttó izzítási maradék                                | 81,97  | 86,44  | 82,53  | 52,76  | 54,48  | 53,34  |        |
| Izzítási maradék                                       | 13,94  | 19,08  | 15,2   | 1,66   | 3,33   | 2,19   |        |
| Izzítási veszteség                                     | 23,51  | 34,14  | 25,44  | 2,6    | 5,4    | 3,17   |        |
| Szerves anyag tartalom szárazanyagra vonatkoztatva (%) | 62,78% | 64,15% | 62,60% | 61,03% | 61,86% | 59,14% | 60,68% |

22. melléklet: Tejtermelő tehenészeti telep szerves hulladékainak biogáztermelése  
(Ndm<sup>3</sup>/nap)

|            | 1.fermentor | 2.fermentor | 3.fermentor | 4.fermentor |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2007.11.05 |             | 57          |             |             |
| 2007.11.06 |             | 53          |             | 42          |
| 2007.11.07 |             | 51          | 54          | 36          |
| 2007.11.08 |             | 48          | 50          | 20          |
| 2007.11.09 |             | 67          | 55          | 73          |
| 2007.11.10 |             |             | 40          | 55          |
| 2007.11.11 |             | 51          | 59          | 63          |
| 2007.11.12 |             |             | 85          | 40          |
| 2007.11.13 |             |             | 24          | 21          |
| 2007.11.14 |             |             | 20          | 38          |
| 2007.11.15 |             |             | 18          | 22          |
| 2007.11.16 |             | 40          | 20          | 24          |
| 2007.11.17 |             |             | 14          | 22          |
| 2007.11.18 |             |             | 18          | 22          |
| 2007.11.19 |             |             | 14          | 20          |
| 2007.11.20 |             |             | 14          | 16          |
| 2007.11.21 |             |             | 7           | 12          |
| 2007.11.23 | 29          | 25          | 6           | 10          |
| 2007.11.24 |             | 38          | 7           | 8           |
| 2007.11.25 |             | 29          | 4           | 5           |
| 2007.11.26 |             |             | 7           | 8           |
| 2007.11.27 |             | 53          | 5           |             |
| 2007.11.28 |             |             |             |             |
| 2007.11.29 |             | 50          |             |             |
| 2007.11.30 |             | 32          |             |             |
| 2007.12.03 |             | 66          |             |             |
| 2007.12.07 |             | 62          |             |             |
| 2007.12.10 |             |             |             |             |
| 2007.12.18 |             | 57          |             |             |
| 2008.01.11 |             | 52          |             |             |
| 2008.01.26 |             |             |             | 34          |

23. melléklet: Holland típusú tejtermelő tehenészet almos trágyájának és fejőházi mosófolyadékának kofermentációja során képződő gázmennyiség-adatok statisztikai elemzése

#### T-Test

##### Group Statistics

|             | VAR00004    | N  | Mean    | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|-------------|-------------|----|---------|----------------|-----------------|
| Gáztermelés | 3.fermentor | 20 | 26,0500 | 22,95413       | 5,13270         |
|             | 4.fermentor | 20 | 27,8500 | 18,96888       | 4,24157         |

| Independent Samples Test |                     |                                    |      |                              |      |                 |            |                  |                                      |        |
|--------------------------|---------------------|------------------------------------|------|------------------------------|------|-----------------|------------|------------------|--------------------------------------|--------|
|                          |                     | Levene's Test for Equality of Var. |      | t-test for Equality of Means |      |                 |            |                  |                                      |        |
|                          |                     | F                                  | Sig. | t                            | df   | Sig. (2-tailed) | Mean Diff. | Std. Error Diff. | 95% Confidence Interval of the Diff. |        |
|                          |                     |                                    |      |                              |      |                 |            |                  | Lower                                | Upper  |
| Gáztermelés              | Equal var. ass.     | ,869                               | ,357 | -,270                        | 38   | ,788            | -1,8       | 6,66             | -15,28                               | 11,68  |
|                          | Equal var. not ass. |                                    |      | -,270                        | 36,7 | ,788            | -1,8       | 6,66             | -15,30                               | 11,695 |

24. melléklet: Holland típusú tejtermelő tehenészet almos trágyájának és fejőházi mosófolyadékának kofermentációja során képződő biogáz metántartalom-adatainak statisztikai elemzése

#### T-Test

##### Group Statistics

|               | VAR00004    | N  | Mean  | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|---------------|-------------|----|-------|----------------|-----------------|
| Metántartalom | 3.fermentor | 20 | 55,85 | 3,951          | ,883            |
|               | 4.fermentor | 20 | 57,25 | 2,936          | ,656            |

| Independent Samples Test |                     |                                         |      |                              |       |                 |            |                  |                                      |       |
|--------------------------|---------------------|-----------------------------------------|------|------------------------------|-------|-----------------|------------|------------------|--------------------------------------|-------|
|                          |                     | Levene's Test for Equality of Variances |      | t-test for Equality of Means |       |                 |            |                  |                                      |       |
|                          |                     | F                                       | Sig. | t                            | df    | Sig. (2-tailed) | Mean Diff. | Std. Error Diff. | 95% Confidence Interval of the Diff. |       |
|                          |                     |                                         |      |                              |       |                 |            |                  | Lower                                | Upper |
| Metántart.               | Equal var. ass.     | 2,175                                   | ,148 | -1,27                        | 38    | ,211            | -1,4       | 1,1              | -3,628                               | ,828  |
|                          | Equal var. not ass. |                                         |      | -1,27                        | 35,08 | ,212            | -1,4       | 1,1              | -3,634                               | ,834  |

25. melléklet: Az SZTE MGK tanüzem szerves hulladékainak kofermentációja során képződő biogáztermelés adatainak statisztikai elemzése

#### T-Test

##### Group Statistics

|             | csoport2      | N  | Mean    | Std. Dev. | Std. Error Mean |
|-------------|---------------|----|---------|-----------|-----------------|
| Gáztermelés | Friss trágya  | 18 | 57,1667 | 17,23966  | 4,06343         |
|             | Tárolt trágya | 18 | 29,6667 | 18,04569  | 4,25341         |

##### Independent Samples Test

|             |                            | Levene's Test for Equality of Variances |      | t-test for Equality of Means |        |                 |            |                  |                                           |        |
|-------------|----------------------------|-----------------------------------------|------|------------------------------|--------|-----------------|------------|------------------|-------------------------------------------|--------|
|             |                            | F                                       | Sig. | t                            | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Diff. | Std. Error Diff. | 95% Confidence Interval of the Difference |        |
|             |                            |                                         |      |                              |        |                 |            |                  | Lower                                     | Upper  |
| Gáztermelés | Equal var. ass.            | ,033                                    | ,857 | 4,675                        | 34     | ,000            | 27,5       | 5,88             | 15,545                                    | 39,454 |
|             | Equal var. <b>not</b> ass. |                                         |      | 4,675                        | 33,929 | ,000            | 27,5       | 5,88             | 15,54                                     | 39,455 |

26. melléklet: Az SZTE MGK tanüzem szerves hulladékainak kofermentációja során képződő biogáz metántartalom adatainak statisztikai elemzése

#### T-Test

##### Group Statistics

|               | csoport2      | N  | Mean    | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|---------------|---------------|----|---------|----------------|-----------------|
| Metántartalom | Friss trágya  | 18 | 48,8333 | 7,74027        | 1,82440         |
|               | Tárolt trágya | 18 | 53,9444 | 8,16356        | 1,92417         |

##### Independent Samples Test

|               |                            | Levene's Test for Equality of Variances |      | t-test for Equality of Means |      |                 |            |                  |                                           |        |
|---------------|----------------------------|-----------------------------------------|------|------------------------------|------|-----------------|------------|------------------|-------------------------------------------|--------|
|               |                            | F                                       | Sig. | t                            | df   | Sig. (2-tailed) | Mean Diff. | Std. Error Diff. | 95% Confidence Interval of the Difference |        |
|               |                            |                                         |      |                              |      |                 |            |                  | Lower                                     | Upper  |
| Metántartalom | Equal var. ass.            | ,762                                    | ,389 | -1,928                       | 34   | ,062            | -5,1       | 2,65             | -10,49977                                 | ,27754 |
|               | Equal var. <b>not</b> ass. |                                         |      | -1,928                       | 33,9 | ,062            | -5,1       | 2,65             | -10,50033                                 | ,27810 |

27. melléklet: Letermett gombakomposzt kísérletekben alkalmazott sertéshígtrágya kontroll fermentorok gáztermelésének statisztikai vizsgálata

#### T-Test

| Group Statistics |             |    |         |                |                 |
|------------------|-------------|----|---------|----------------|-----------------|
|                  | csoport3    | N  | Mean    | Std. Deviation | Std. Error Mean |
| gáztermelés      | 1.fermentor | 28 | 16,9786 | 8,56156        | 1,61798         |
|                  | 2.fermentor | 27 | 23,0407 | 10,80524       | 2,07947         |

| Independent Samples Test |                     |                                    |      |                              |      |                 |            |                  |                                      |         |
|--------------------------|---------------------|------------------------------------|------|------------------------------|------|-----------------|------------|------------------|--------------------------------------|---------|
|                          |                     | Levene's Test for Equality of Var. |      | t-test for Equality of Means |      |                 |            |                  |                                      |         |
|                          |                     | F                                  | Sig. | t                            | df   | Sig. (2-tailed) | Mean Diff. | Std. Error Diff. | 95% Confidence Interval of the Diff. |         |
|                          |                     |                                    |      |                              |      |                 |            |                  | Lower                                | Upper   |
| gáz3                     | Equal var. ass.     | 3,403                              | ,071 | -2,31                        | 53   | ,025            | -6,06      | 2,62364          | -11,32                               | -,79981 |
|                          | Equal var. not ass. |                                    |      | -2,30                        | 49,5 | ,026            | -6,06      | 2,63478          | -11,36                               | -,76881 |

28. melléklet: Letermett gombakomposzt kísérletekben alkalmazott sertéshígtrágya kontroll fermentorokban termelődött biogáz metántartalmának statisztikai vizsgálata

#### T-Test

| Group Statistics |             |    |         |                |                 |
|------------------|-------------|----|---------|----------------|-----------------|
|                  | csoport3_3  | N  | Mean    | Std. Deviation | Std. Error Mean |
| metán_tart3      | 1.fermentor | 29 | 58,9552 | 3,50546        | ,65095          |
|                  | 2.fermentor | 29 | 58,9793 | 3,23589        | ,60089          |

| Independent Samples Test |                     |                                    |      |                              |        |                 |            |                  |                                 |        |
|--------------------------|---------------------|------------------------------------|------|------------------------------|--------|-----------------|------------|------------------|---------------------------------|--------|
|                          |                     | Levene's Test for Equality of Var. |      | t-test for Equality of Means |        |                 |            |                  |                                 |        |
|                          |                     | F                                  | Sig. | t                            | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Diff. | Std. Error Diff. | 95% Conf. Interval of the Diff. |        |
|                          |                     |                                    |      |                              |        |                 |            |                  | Lower                           | Upper  |
| Metán-tart3              | Equal var. ass.     | ,625                               | ,433 | -,027                        | 56     | ,978            | -,024      | ,886             | -1,798                          | 1,7505 |
|                          | Equal var. not ass. |                                    |      | -,027                        | 55,645 | ,978            | -,024      | ,886             | -1,799                          | 1,7508 |

29. melléklet: Sertéshígtrágya kontroll és 30g száa. tartalmú letermett laskagomba komposzttal adalékolt sertéshígtrágya kofermentációs kísérletek statisztikai értékelése

#### T-Test

| Group Statistics |                   |    |         |                |                 |
|------------------|-------------------|----|---------|----------------|-----------------|
|                  | csop7             | N  | Mean    | Std. Deviation | Std. Error Mean |
| gáztermelés      | komposzt          | 29 | 29,6483 | 15,29782       | 2,84073         |
|                  | komposzt kontroll | 28 | 16,9786 | 8,56156        | 1,61798         |

| Independent Samples Test |                     |                                    |      |                              |      |                 |            |                  |                                 |       |
|--------------------------|---------------------|------------------------------------|------|------------------------------|------|-----------------|------------|------------------|---------------------------------|-------|
|                          |                     | Levene's Test for Equality of Var. |      | t-test for Equality of Means |      |                 |            |                  |                                 |       |
|                          |                     | F                                  | Sig. | t                            | df   | Sig. (2-tailed) | Mean Diff. | Std. Error Diff. | 95% Conf. Interval of the Diff. |       |
|                          |                     |                                    |      |                              |      |                 |            |                  | Lower                           | Upper |
| Gáz-<br>termelés         | Equal var. ass.     | 16,25                              | ,000 | 3,839                        | 55   | ,000            | 12,67      | 3,300            | 6,06                            | 19,28 |
|                          | Equal var. not ass. |                                    |      | 3,875                        | 44,3 | ,000            | 12,67      | 3,269            | 6,08                            | 19,26 |

30. melléklet: Sertéshígtrágya kontroll és 30g száa. tartalmú letermett laskagomba komposzttal adalékolt sertéshígtrágya kofermentációs kísérletek statisztikai értékelése metántartalom szempontjából

#### T-Test

| Group Statistics |                   |    |         |                |                 |
|------------------|-------------------|----|---------|----------------|-----------------|
|                  | csop7             | N  | Mean    | Std. Deviation | Std. Error Mean |
| Metántartalom    | komposzt          | 29 | 54,4586 | 4,17420        | ,77513          |
|                  | komposzt kontroll | 29 | 58,9552 | 3,50546        | ,65095          |

| Independent Samples Test |                     |                                    |      |                              |        |                 |            |                  |                                 |        |
|--------------------------|---------------------|------------------------------------|------|------------------------------|--------|-----------------|------------|------------------|---------------------------------|--------|
|                          |                     | Levene's Test for Equality of Var. |      | t-test for Equality of Means |        |                 |            |                  |                                 |        |
|                          |                     | F                                  | Sig. | t                            | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Diff. | Std. Error Diff. | 95% Conf. Interval of the Diff. |        |
|                          |                     |                                    |      |                              |        |                 |            |                  | Lower                           | Upper  |
| Metán-<br>tart.          | Equal var. ass.     | ,000                               | ,990 | -4,442                       | 56     | ,000            | -4,497     | 1,012            | -6,524                          | -2,469 |
|                          | Equal var. not ass. |                                    |      | -4,442                       | 54,375 | ,000            | -4,497     | 1,012            | -6,526                          | -2,468 |

31. melléklet: Különböző letermett laskagomba komposzt – hígtrágya receptúrák gáztermelésének vizsgálata Tukey - teszt alkalmazásával

| Multiple Comparisons                                                                                                                                       |             |             |                       |            |      |                         |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-----------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
| Gáztermelés, Tukey HSD                                                                                                                                     |             |             |                       |            |      |                         |             |
|                                                                                                                                                            | (I) csoport | (J) csoport | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval |             |
|                                                                                                                                                            | rt4         |             |                       |            |      | Lower Bound             | Upper Bound |
| 3.fermentor<br>30g száa.<br>adagolás/nap<br>– 100% GK;<br><br>4.fermentor,<br>100g száa.<br>GK:KS=50:50;<br><br>5.fermentor,<br>100g száa.<br>GK:KS=75:25- | Dim.<br>3   | 4.fermentor | -21,39000*            | 6,42747    | ,004 | -36,8572                | -5,9228     |
|                                                                                                                                                            |             | 5.fermentor | -52,84500*            | 6,42747    | ,000 | -68,3122                | -37,3778    |
|                                                                                                                                                            |             | 3.fermentor | 21,39000*             | 6,42747    | ,004 | 5,9228                  | 36,8572     |
|                                                                                                                                                            |             | 5.fermentor | -31,45500*            | 6,42747    | ,000 | -46,9222                | -15,9878    |
|                                                                                                                                                            |             | 3.fermentor | 52,84500*             | 6,42747    | ,000 | 37,3778                 | 68,3122     |
|                                                                                                                                                            |             | 4.fermentor | 31,45500*             | 6,42747    | ,000 | 15,9878                 | 46,9222     |
| *. The mean difference is significant at the 0.05 level.                                                                                                   |             |             |                       |            |      |                         |             |

### Homogeneous Subsets

#### Gáztermelés

Tukey HSD<sup>a</sup>

| csoport4    | N  | Subset for alpha = 0.05 |         |         |
|-------------|----|-------------------------|---------|---------|
|             |    | 1                       | 2       | 3       |
| 3.fermentor | 20 | 34,8000                 |         |         |
| 4.fermentor | 20 |                         | 56,1900 |         |
| 5.fermentor | 20 |                         |         | 87,6450 |
| Sig.        |    | 1,000                   | 1,000   | 1,000   |

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 20,000.

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

32. melléklet: Különböző letermett laskagomba komposzt – hígtrágya receptúrák gáztermelésének vizsgálata metántartalom szempontjából Tukey - teszt alkalmazásával

**Oneway Descriptives**  
metán4

| Kezelések<br>Szár. korpa<br>% korpa/<br>silókukorica | N  | Mean    | Std.<br>Deviation | Std.<br>Error | 95% Confidence<br>Interval for Mean |                | Min. | Max. |
|------------------------------------------------------|----|---------|-------------------|---------------|-------------------------------------|----------------|------|------|
|                                                      |    |         |                   |               | Lower<br>Bound                      | Upper<br>Bound |      |      |
| 30g                                                  | 28 | 54,5036 | 4,24364           | ,80197        | 52,858                              | 56,1491        | 40,8 | 61,5 |
| 100g(75/25)                                          | 28 | 48,8607 | 7,96285           | 1,5048        | 45,773                              | 51,9484        | 17,4 | 59,4 |
| 100g(50/50)                                          | 28 | 40,4179 | 14,38000          | 2,7176        | 34,841                              | 45,9938        | 11,0 | 55,7 |
| Total                                                | 84 | 47,9274 | 11,29862          | 1,2328        | 45,475                              | 50,3793        | 11,0 | 61,5 |

**ANOVA**  
metán4

|                | Sum<br>Squares | df | Mean Square | F      | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|--------|------|
| Between Groups | 2814,290       | 2  | 1407,145    | 14,648 | ,000 |
| Within Groups  | 7781,398       | 81 | 96,067      |        |      |
| Total          | 10595,687      | 83 |             |        |      |

33. melléklet: Különböző letermett laskagomba komposzt – hígtrágya receptúrák gáztermelésének vizsgálata metántartalom szempontjából Tukey - teszt alkalmazásával

**Multiple Comparisons**

metán4, Tukey HSD

| (I)<br>csoport4_1 |                 | (J) csoport4_1 |             | Mean<br>Difference<br>(I-J) | Std.<br>Error | Sig. | 95% Confidence<br>Interval |                |
|-------------------|-----------------|----------------|-------------|-----------------------------|---------------|------|----------------------------|----------------|
|                   |                 |                |             |                             |               |      | Lower<br>Bound             | Upper<br>Bound |
| Dim.<br>2         | 30g             | dim<br>.3      | 100g(75/25) | 5,64286                     | 2,61952       | ,085 | -,6114                     | 11,897         |
|                   |                 |                | 100g(50/50) | 14,08571*                   | 2,61952       | ,000 | 7,8315                     | 20,340         |
|                   | 100g<br>(75/25) |                | 30g         | -5,64286                    | 2,61952       | ,085 | -11,8971                   | ,6114          |
|                   |                 |                | 100g(50/50) | 8,44286*                    | 2,61952       | ,005 | 2,1886                     | 14,697         |
|                   | 100g<br>(50/50) |                | 30g         | -14,08571*                  | 2,61952       | ,000 | -20,3399                   | -7,8315        |
|                   |                 |                | 100g(75/25) | -8,44286*                   | 2,61952       | ,005 | -14,6971                   | -2,1886        |

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

**Homogeneous Subsets**

| metán4                                                                                             |    |                         |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-------------------------|---------|
| Tukey HSD <sup>a</sup>                                                                             |    |                         |         |
| csoport4_1                                                                                         | N  | Subset for alpha = 0.05 |         |
|                                                                                                    |    | 1                       | 2       |
| 100g(50/50)                                                                                        | 28 | 40,4179                 |         |
| 100g(75/25)                                                                                        | 28 |                         | 48,8607 |
| 30g                                                                                                | 28 |                         | 54,5036 |
| Sig.                                                                                               |    | 1,000                   | ,085    |
| Means for groups in homogeneous subsets are displayed. a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 28,000. |    |                         |         |

34. melléklet: A sertéshígrágya kontroll - sertéshígrágya korpaadalékkal friss anyaggal történő rátöltéses kísérletek gáztermelési eredményeinek statisztikai vizsgálata

#### T-Test

| Group Statistics |              |    |        |                |                 |
|------------------|--------------|----|--------|----------------|-----------------|
|                  | csoport5     | N  | Mean   | Std. Deviation | Std. Error Mean |
| Gáztermelés      | kontroll     | 15 | 24,200 | 6,40535        | 1,65386         |
|                  | korpa adalék | 15 | 62,667 | 8,26064        | 2,13289         |

| Independent Samples Test |                     |                                         |      |                              |      |                 |            |                  |                                           |         |
|--------------------------|---------------------|-----------------------------------------|------|------------------------------|------|-----------------|------------|------------------|-------------------------------------------|---------|
|                          |                     | Levene's Test for Equality of Variances |      | t-test for Equality of Means |      |                 |            |                  |                                           |         |
|                          |                     | F                                       | Sig. | t                            | df   | Sig. (2-tailed) | Mean Diff. | Std. Error Diff. | 95% Confidence Interval of the Difference |         |
|                          |                     |                                         |      |                              |      |                 |            |                  | Lower                                     | Upper   |
| Gáztermelés              | Equal var. ass.     | ,933                                    | ,34  | -14,252                      | 28   | ,000            | -38,47     | 2,7              | -43,996                                   | -32,938 |
|                          | Equal var. not ass. |                                         |      | -14,252                      | 26,4 | ,000            | -38,47     | 2,7              | -44,010                                   | -32,923 |

35. melléklet: A sertéshígrágya kontroll - sertéshígrágya korpaadalékkal friss anyaggal történő rátöltéses kísérletek metántartalom eredményeinek statisztikai vizsgálata

#### T-Test

| Group Statistics |              |    |         |                |                 |
|------------------|--------------|----|---------|----------------|-----------------|
|                  | csoport5     | N  | Mean    | Std. Deviation | Std. Error Mean |
| gáz6             | kontroll     | 15 | 10,1333 | 8,82259        | 2,27798         |
|                  | korpa adalék | 15 | 42,0667 | 12,78094       | 3,30002         |

| Independent Samples Test |                     |                                    |      |                              |       |                 |            |                  |                                           |        |
|--------------------------|---------------------|------------------------------------|------|------------------------------|-------|-----------------|------------|------------------|-------------------------------------------|--------|
|                          |                     | Levene's Test for Equality of Var. |      | t-test for Equality of Means |       |                 |            |                  |                                           |        |
|                          |                     | F                                  | Sig. | t                            | df    | Sig. (2-tailed) | Mean Diff. | Std. Error Diff. | 95% Confidence Interval of the Difference |        |
|                          |                     |                                    |      |                              |       |                 |            |                  | Lower                                     | Upper  |
| gáz6                     | Equal var. ass.     | 1,364                              | ,253 | -7,96                        | 28    | ,000            | -31,93     | 4,00991          | -40,15                                    | -23,72 |
|                          | Equal var. not ass. |                                    |      | -7,96                        | 24,87 | ,000            | -31,93     | 4,00991          | -40,19                                    | -23,67 |

36. melléklet: Sertéshígrágya, búzakorpa adalék **vi**sszaforgatásos **rátöltés**es kofermentációja során képződő biogáz mennyiségek statisztikai vizsgálata

#### T-Test

| Group Statistics |              |    |         |                |                 |
|------------------|--------------|----|---------|----------------|-----------------|
|                  | csoport5     | N  | Mean    | Std. Deviation | Std. Error Mean |
| gáz6             | kontroll     | 15 | 10,1333 | 8,82259        | 2,27798         |
|                  | korpa adalék | 15 | 42,0667 | 12,78094       | 3,30002         |

| Independent Samples Test |                     |                                         |      |                              |       |                 |            |                 |                                           |        |
|--------------------------|---------------------|-----------------------------------------|------|------------------------------|-------|-----------------|------------|-----------------|-------------------------------------------|--------|
|                          |                     | Levene's Test for Equality of Variances |      | t-test for Equality of Means |       |                 |            |                 |                                           |        |
|                          |                     | F                                       | Sig. | t                            | df    | Sig. (2-tailed) | Mean Diff. | Std. Err. Diff. | 95% Confidence Interval of the Difference |        |
|                          |                     |                                         |      |                              |       |                 |            |                 | Lower                                     | Upper  |
| gáz6                     | Equal var. ass.     | 1,364                                   | ,253 | -7,964                       | 28    | ,000            | -31,93     | 4,01            | -40,147                                   | -23,72 |
|                          | Equal var. not ass. |                                         |      | -7,964                       | 24,87 | ,000            | -31,93     | 4,01            | -40,194                                   | -23,67 |

37. melléklet: Sertéshígrágya, búzakorpa adalék **vi**sszaforgatásos **rátöltés**es kofermentációja során képződő biogáz metántartalmának statisztikai vizsgálata

#### T-Test

| Group Statistics |              |    |         |                |                 |
|------------------|--------------|----|---------|----------------|-----------------|
|                  | csoport5     | N  | Mean    | Std. Deviation | Std. Error Mean |
| Metántartalom    | kontroll     | 15 | 58,9000 | 6,87553        | 1,77525         |
|                  | korpa adalék | 15 | 56,2533 | 4,93759        | 1,27488         |

| Independent Samples Test |                     |                                         |      |                              |      |                 |            |                  |                                           |       |
|--------------------------|---------------------|-----------------------------------------|------|------------------------------|------|-----------------|------------|------------------|-------------------------------------------|-------|
|                          |                     | Levene's Test for Equality of Variances |      | t-test for Equality of Means |      |                 |            |                  |                                           |       |
|                          |                     | F                                       | Sig. | t                            | df   | Sig. (2-tailed) | Mean Diff. | Std. Error Diff. | 95% Confidence Interval of the Difference |       |
|                          |                     |                                         |      |                              |      |                 |            |                  | Lower                                     | Upper |
| Metán-tart.              | Equal var. ass.     | 4,109                                   | ,052 | 1,211                        | 28   | ,236            | 2,6        | 2,186            | -1,83                                     | 7,12  |
|                          | Equal var. not ass. |                                         |      | 1,211                        | 25,4 | ,237            | 2,6        | 2,186            | -1,85                                     | 7,14  |

38. melléklet: A fermentorok gáztermelése az összehasonlító kísérletek során, a friss anyag rátöltésének időszakában, malomipari korpa adalék alkalmazásával.

| Eltelt nap | Biogáz-termelés Ndm <sup>3</sup> |    | Metántartalom % |      |
|------------|----------------------------------|----|-----------------|------|
|            | 2.                               | 3. | 2.              | 3.   |
|            | fermentor                        |    |                 |      |
| 1          | 49                               | 18 | 54,1            | 47,2 |
| 2          | 54                               | 15 | 51,5            | 43,7 |
| 3          | 56                               | 19 | 52,3            | 40,4 |
| 4          | 51                               | 15 | 55,6            | 48,2 |
| 5          | 58                               | 25 | 54,7            | 51,6 |
| 6          | 71                               | 19 | 54,1            | 51,0 |
| 7          | 63                               | 21 | 57,0            | 55,0 |
| 8          | 66                               | 24 | 57,8            | 56,5 |
| 9          | 70                               | 30 | 58,2            | 54,2 |
| 10         | 78                               | 32 | 59,1            | 55,4 |
| 11         | 67                               | 22 | 60,6            | 59,6 |
| 12         | 71                               | 32 | 59,4            | 57,1 |
| 13         | 66                               | 32 | 60,1            | 60,9 |
| 14         | 62                               | 33 | 59,7            | 60,7 |
| 15         | 58                               | 26 | 61,8            | 61,6 |

39. melléklet: A fermentorok biogáztermelése az összehasonlító kísérletek során visszaforgatásos technológia mellett, malomipari korpa adalékkal.

| Eltelt nap | Biogáztermelés dm <sup>3</sup> |    | Metántartalom % |      |
|------------|--------------------------------|----|-----------------|------|
|            | 2.                             | 3. | 2.              | 3.   |
|            | fermentor                      |    | fermentor       |      |
| 1          | 69                             | 28 | 61,9            | 59,6 |
| 2          | 61                             | 23 | 63,8            | 64,2 |
| 3          | 50                             | 20 | 62,8            | 66,2 |
| 4          | 50                             | 17 | 62,3            | 64,6 |
| 5          | 49                             | 16 | 61,0            | 66,3 |
| 6          | 44                             | 13 | 57,4            | 66,7 |
| 7          | 44                             | 10 | 54,7            | 64,8 |
| 8          | 45                             | 2  | 53,1            | 62,2 |
| 9          | 39                             | 5  | 52,8            | 61,2 |
| 10         | 35                             | 6  | 55,5            | 56,2 |
| 11         | 33                             | 4  | 54,3            | 50,1 |
| 12         | 34                             | 0  | 53,8            | 51,6 |
| 13         | 30                             | 3  | 49,8            | 50,9 |
| 14         | 26                             | 3  | 49,3            | 49,8 |
| 15         | 22                             | 2  | 51,3            | 49,1 |

40. melléklet: A 4. sz. fermentor fajlagos gáztermelése az összehasonlító kísérletek során

|                |                                       | Fajlagos gáztermelés<br>Ndm <sup>3</sup> /kg |       |
|----------------|---------------------------------------|----------------------------------------------|-------|
|                |                                       | Biogáz                                       | Metán |
| Korpa          | Friss anyag<br>rátöltése során        | 283,3                                        | 110,0 |
|                | Visszaforгатásos<br>technológia során | 377,2                                        | 174,3 |
| Szár-<br>anyag | Friss anyag<br>rátöltése során        | 377,8                                        | 146,6 |
|                | Visszaforгатásos<br>technológia során | 504,4                                        | 234,0 |

41. melléklet: Kofermentációs kísérletek eredményeinek összefoglalása

| sertéshígtrágya (4% száa. tart.) +adalékolás, |                                | Fer-mentor sorsz. | rátöltés (trágya) V/V %/nap | adalék száa./tel-jes anyag (g/nap) | átl. biogáz-termelés (Ndm <sup>3</sup> /nap) | metán-tarta-lom (%) | egységnyi fermentor-térfogatra vonatkoztatott biogáz/ metán termelés (Ndm <sup>3</sup> /dm <sup>3</sup> nap) |
|-----------------------------------------------|--------------------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| kontroll (3,4 % száa.)                        |                                | III/1.            | 5                           |                                    | 16,98                                        | 58,92               | 0,34 0,20                                                                                                    |
| kontroll (4,59 % száa.)                       |                                | III/2.            | 5                           |                                    | 23,04                                        | 59,7                | 0,46 0,28                                                                                                    |
| 30g, 100 % gombakomposzt,                     |                                | III/3.            | 5                           | 30                                 | 29,00                                        | 54,50               | 0,58 0,32                                                                                                    |
| 75 % gombakomposzt + 25 % silókukorica        |                                | III/7.            | 5                           | 100                                | 74,47                                        | 48,86               | 1,49 0,73                                                                                                    |
| 50 % gombakomposzt + 50 % silókukorica        |                                | III/8.            | 5                           | 100                                | 58,16                                        | 40,42               | 1,16 0,47                                                                                                    |
| korpa                                         | rátöltés friss                 | V/2.              | 6,6                         | 45/60 <sup>*</sup>                 | 62,7                                         | 57,26               | 1,25 0,72                                                                                                    |
| kontroll                                      | anyaggal                       | V/3.              | 6,6                         |                                    | 24,2                                         | 54,55               | 0,48 0,26                                                                                                    |
| korpa,                                        | visszafor-gató-sos technológia | VI/2.             | 6,6                         | 45/60 <sup>*</sup>                 | 42,0                                         | 57,62               | 0,84 0,48                                                                                                    |
| kontroll                                      |                                | VI/3.             | 6,6                         |                                    | 10,1                                         | 62,38               | 0,20 0,13                                                                                                    |

Megjegyzések\*száranyag/teljes anyag adalék (g/nap);

## **KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

Köszönetet mondok témavezetőmnek, Dr. Grasselli Gábornak a kutatásban és az értekezés elkészítésében, a Szolnoki Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Fakultás, illetve jogelőd intézményében dolgozó kollégáknak az együttműködés lehetőségéért, valamint közvetlen kollégáimnak a saját laboratórium kialakításában és az eredmények elemzésében nyújtott segítségéért.

Hódmezővásárhely, 2012-07-03

Sallai László

jelölt

## KÉPJEGYZÉK

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. kép: Lerakódások a kiszerelt kazánbetéten, szennyvíztelepi biogáz esetében. ....   | 26 |
| 2. kép: Alapanyag betáplálás (letermett táptalaj) a Pilze-Nagy Kft. biogáz-üzemében . | 37 |
| 3. kép: Kísérleti fermentor rendszer .....                                            | 56 |

## TÁBLÁZATJEGYZÉK

|                                                                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. táblázat: A fenntartható termelés és felhasználás feltételei .....                                                                                                           | 12 |
| 2. táblázat: A biogáz tulajdonságai .....                                                                                                                                       | 14 |
| 3. táblázat: A biogáz összetétele .....                                                                                                                                         | 15 |
| 4. táblázat: A fermentáció mikrobiológiai összefoglalása .....                                                                                                                  | 16 |
| 5. táblázat: Különböző szerves vegyületek elméleti biogáz hozama és a gáz metántartalma.....                                                                                    | 19 |
| 6. táblázat: Monoreceptúras sertéshígtrágya fermentálási eredmények .....                                                                                                       | 31 |
| 7. táblázat: Az eredeti hígtrágya és a végtermék száraz- és szerves anyag tartalma .....                                                                                        | 32 |
| 8. táblázat: Sertéshígtrágya biogáz hozama, mezofil, 10m <sup>3</sup> fermentortérfogatnál .....                                                                                | 32 |
| 9. táblázat: Különböző szerves anyagok jellemzői.....                                                                                                                           | 33 |
| 10. táblázat: Szerves hulladékok biogáztermelése.....                                                                                                                           | 34 |
| 11. táblázat: Az SZTE MGK mintafarm állatállománya .....                                                                                                                        | 42 |
| 12. táblázat: A családi méretű tejtermelő tehenészet szerves hulladékaiból történő biogáz előállítás várható energiamérlege, [Mátyás-Pazsiczki, 2000] .....                     | 42 |
| 13. táblázat: Tanüzemi napi átlagos szerves hulladéktermelődés, valamint a belőle elméletileg előállítható biogáz mennyiség.....                                                | 43 |
| 14. táblázat: A tanüzemben reálisan számba vehető szerves hulladékokból történő biogáz előállítás várható energiamérlege irodalmi adatok alapján [Mátyás-Pazsiczki, 2000] ..... | 44 |
| 15. táblázat: A szántóföldi növénytermesztés melléktermékeinek energetikai hasznosítása .....                                                                                   | 46 |
| 16. táblázat: Hódmezővásárhely kistérség jelenlegi becsült állatállománya .....                                                                                                 | 47 |
| 17. táblázat: Az állatállomány által termelt éves szerves trágya mennyiség a kistérségben .....                                                                                 | 48 |
| 18. táblázat: A hódmezővásárhelyi kistérség energiában kifejezett biomassza potenciálja a főbb hasznosítási formáknak megfelelően .....                                         | 48 |
| 19. táblázat: A szarvasmarha fejőházi szennyvíz paraméterei .....                                                                                                               | 49 |
| 20. táblázat: Az almos szarvasmarha trágya és fejőházi szennyvíz kofermentációja során, a képződés arányában betárolt anyagok jellemzői két receptura esetében.....             | 50 |
| 21. táblázat: A családi méretű tejtermelő tehenészeti telep szerves hulladék képződés arányában összeállított szubsztrát jellemzői és elméleti biogáztermelése.....             | 50 |
| 22. táblázat: A betárolt anyagok minőségi összetétele .....                                                                                                                     | 51 |
| 23. táblázat: A sajtüzemi szennyvíz paraméterei .....                                                                                                                           | 51 |
| 24. táblázat: A vizsgálatok során kofermentként alkalmazott melléktermékek biogáztermelést befolyásoló paraméterei.....                                                         | 55 |
| 25. táblázat: A kofermentációs kísérletek technológiája .....                                                                                                                   | 55 |
| 26. táblázat: A kísérletsorozat folyamán mért paraméterek, használt mérőeszközök, módszer, gyakoriság .....                                                                     | 58 |
| 27. táblázat: Letermett laskagomba táptalaj, silókukorica kísérletek paraméterei, adalékolása.....                                                                              | 61 |
| 28. táblázat: Kísérleti kezeléskombinációk malomipari korpa adalékkal.....                                                                                                      | 62 |

|                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 29. táblázat: Gáztermelés szarvasmarha almos trágya és fejőházi szennyvíz<br>kofermentációja esetében.....                                                                                | 66 |
| 30. táblázat: Különböző állagú almos trágyaféleségek gáztermelése .....                                                                                                                   | 71 |
| 31. táblázat: A kiejedt anyagféleségek szerves és szárazanyag tartalma az eredetileg<br>friss trágya vonatkozásában .....                                                                 | 71 |
| 32. táblázat: A kiindulási és a kiejedt anyagféleségek szerves és szárazanyag tartalma<br>az eredetileg friss trágya tekintetében.....                                                    | 72 |
| 33. táblázat: A hígtrágya alapú kontroll fermentorok átlagos gáztermelése (csak<br>sertéshígtrágya, adalékanyagok és baktériumkezelés nélkül).....                                        | 73 |
| 34. táblázat: Az átlagos gázfejlődés paraméterei sertéshígtrágya alapon, letermett<br>gombakomposzt, valamint silókukorica adalékolással, baktériumkezelés nélkül.....                    | 77 |
| 35. táblázat: Hígtrágyaalapú fermentorok letermett gombakomposzt és silókukorica<br>adalékolással kísérletek statisztikai értékelése .....                                                | 78 |
| 36. táblázat: Hígtrágyaalapú fermentorok letermett gombakomposzt és silókukorica<br>adalékolással kísérletek gáztermelésének statisztikai értékelése metántartalom<br>szempontjából ..... | 81 |
| 37. táblázat: A fermentorok átlagos gáztermelése az összehasonlító kísérletek során,<br>búzakorpa adalékolásával .....                                                                    | 82 |
| 38. táblázat: A kiejedt anyag összes K-, P- és N tartalma .....                                                                                                                           | 85 |
| 39. táblázat: Az SZTE MGK tanüzemi szerves hulladékok energetikai célra történő<br>hasznosításának kísérleti eredményei .....                                                             | 87 |
| 40. táblázat: A szerves hulladék hasznosítás energetikai paraméterei villamos energia<br>előállítás esetében .....                                                                        | 87 |

## MELLÉKLETJEGYZÉK

|                                                                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. melléklet: A biogáz tulajdonságai.....                                                                                                                               | 107 |
| 2. melléklet: Az erjesztésre alkalmas ipari hulladékok főbb jellemzői .....                                                                                             | 107 |
| 3. melléklet: A földterület használata művelési ágak szerint a Hódmezővásárhelyi<br>kistérségben .....                                                                  | 108 |
| 4. melléklet: A kistérség becsült vetésszerkezete a szántóterületen .....                                                                                               | 108 |
| 5. melléklet: A gazdasági állatok ürülékéből évente kinyerhető energia a kistérségben<br>.....                                                                          | 109 |
| 6. melléklet: Hódmezővásárhely kistérség biomassza potenciálja .....                                                                                                    | 110 |
| 7. melléklet: A kistérségben termelődő biomassza energetikai potenciálja .....                                                                                          | 111 |
| 8. melléklet: Gázóra, mintavételezési, vizsgálati pontokkal, a mennyiségmérés utáni<br>elkülönítetten történő tárolás lehetőségével (SZTE MGK biogáz laboratórium)..... | 112 |
| 9. melléklet: GIBERTINI EUROPE 1700 mérleg (SZTE MGK biogáz laboratórium).....                                                                                          | 112 |
| 10. melléklet: Dräger X-am 7000 hordozható gázanalizátor. (SZTE MGK biogáz<br>laboratórium) .....                                                                       | 112 |
| 11. melléklet: Keverőmotor, feltöltő csomaggal, gázvezető csatlakozással és golyós<br>csappal, (SZTE MGK biogáz laboratórium).....                                      | 113 |
| 12. melléklet: Vario Max CN elemvizsgáló .....                                                                                                                          | 113 |
| 13. melléklet: Hydrolab mérőműszer.....                                                                                                                                 | 113 |
| 14. melléklet: NANOCOLOR 300 D spektrofotométer .....                                                                                                                   | 114 |
| 15. melléklet: GA45 gázanalizátor .....                                                                                                                                 | 114 |
| 16. melléklet: Sajtüzemi szennyvízvizsgálati jegyzőkönyv .....                                                                                                          | 115 |
| 17. melléklet: Kövér sertéstrágya fontosabb minőségi mutatói.....                                                                                                       | 116 |
| 18. melléklet: Sovány sertéshígtrágya fontosabb minőségi mutatói.....                                                                                                   | 117 |
| 19. melléklet: A különböző almos trágyaféleségek szárazanyag tartalmának<br>meghatározása.....                                                                          | 117 |

|                                                                                                                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 20. melléklet: Sertés almos trágya szerves anyag tartalmának meghatározása .....                                                                                                                             | 118 |
| 21. melléklet: A szarvasmarha almos trágya szerves anyag tartalmának meghatározása .....                                                                                                                     | 118 |
| 22. melléklet: Tejtermelő tehenészeti telep szerves hulladékainak biogáztermelése (Ndm <sup>3</sup> /nap).....                                                                                               | 119 |
| 23. melléklet: Holland típusú tejtermelő tehenészet almos trágyájának és fejőházi mosófolyadékának kofermentációja során képződő gázmennyiség-adatok statisztikai elemzése .....                             | 120 |
| 24. melléklet: Holland típusú tejtermelő tehenészet almos trágyájának és fejőházi mosófolyadékának kofermentációja során képződő biogáz metántartalom-adatainak statisztikai elemzése.....                   | 120 |
| 25. melléklet: Az SZTE MGK tanüzem szerves hulladékainak kofermentációja során képződő biogáztermelés adatainak statisztikai elemzése.....                                                                   | 121 |
| 26. melléklet: Az SZTE MGK tanüzem szerves hulladékainak kofermentációja során képződő biogáz metántartalom adatainak statisztikai elemzése .....                                                            | 121 |
| 27. melléklet: Letermett gombakomposzt kísérletekben alkalmazott sertéshígtrágya kontroll fermentorok gáztermelésének statisztikai vizsgálata .....                                                          | 122 |
| 28. melléklet: Letermett gombakomposzt kísérletekben alkalmazott sertéshígtrágya kontroll fermentorokban termelődött biogáz metántartalmának statisztikai vizsgálata                                         | 122 |
| 29. melléklet: Sertéshígtrágya kontroll és 30g száa. tartalmú letermett laskagomba komposzttal adalékolt sertéshígtrágya kofermentációs kísérletek statisztikai értékelése .....                             | 123 |
| 30. melléklet: Sertéshígtrágya kontroll és 30g száa. tartalmú letermett laskagomba komposzttal adalékolt sertéshígtrágya kofermentációs kísérletek statisztikai értékelése metántartalom szempontjából ..... | 123 |
| 31. melléklet: Különböző letermett laskagomba komposzt – hígtrágya receptúrák gáztermelésének vizsgálata Tukey - teszt alkalmazásával .....                                                                  | 124 |
| 32. melléklet: Különböző letermett laskagomba komposzt – hígtrágya receptúrák gáztermelésének vizsgálata metántartalom szempontjából Tukey - teszt alkalmazásával .....                                      | 125 |
| 33. melléklet: Különböző letermett laskagomba komposzt – hígtrágya receptúrák gáztermelésének vizsgálata metántartalom szempontjából Tukey - teszt alkalmazásával .....                                      | 125 |
| 34. melléklet: A sertéshígtrágya kontroll - sertéshígtrágya korpaadalékkal friss anyaggal történő rátöltéses kísérletek gáztermelési eredményeinek statisztikai vizsgálata.....                              | 126 |
| 35. melléklet: A sertéshígtrágya kontroll - sertéshígtrágya korpaadalékkal friss anyaggal történő rátöltéses kísérletek metántartalom eredményeinek statisztikai vizsgálata.....                             | 126 |
| 36. melléklet: Sertéshígtrágya, búzakorpa adalék <b>visszaforgatásos rátöltéses</b> kofermentációja során képződő biogáz mennyiségek statisztikai vizsgálata .....                                           | 127 |
| 37. melléklet: Sertéshígtrágya, búzakorpa adalék <b>visszaforgatásos rátöltéses</b> kofermentációja során képződő biogáz metántartalmának statisztikai vizsgálata.....                                       | 127 |
| 38. melléklet: A fermentorok gáztermelése az összehasonlító kísérletek során, a friss anyag rátöltésének időszakában, malomipari korpa adalék alkalmazásával. ....                                           | 128 |
| 39. melléklet: A fermentorok biogáztermelése az összehasonlító kísérletek során visszaforgatásos technológia mellett, malomipari korpa adalékkal.....                                                        | 128 |
| 40. melléklet: A 4. sz. fermentor fajlagos gáztermelése az összehasonlító kísérletek során.....                                                                                                              | 129 |
| 41. melléklet: Kofermentációs kísérletek eredményeinek összefoglalása.....                                                                                                                                   | 129 |

## ÁBRAJEGYZÉK

|                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. ábra: Energetikai potenciálok .....                                                                                                                                                                                            | 9  |
| 2. ábra: Saját kialakítású biogáz laboratórium vázlata, fűtéssel, elő- és utótárolásra alkalmas gázgyűjtéssel, gázmérővel .....                                                                                                   | 52 |
| 3. ábra: A 3. sz. fermentor (5,43% száa. tartalom) biogáztermelése és a gáz metántartalma.....                                                                                                                                    | 65 |
| 4. ábra: A 4. sz. fermentor(6,03% száa.) biogáztermelése és a gáz metántartalma .....                                                                                                                                             | 66 |
| 5. ábra: Gáztermelés szarvasmarha almos trágya és fejőházi szennyvíz kofermentációjában.....                                                                                                                                      | 67 |
| 6. ábra: A tejtermelő tehenészeti telep szerves hulladékaiból (friss almos trágyából és fejőházi szennyvízből) képződött biogáz metántartalma.....                                                                                | 68 |
| 7. ábra: Biogáz képződés szobahőmérsékleten tárolt almos trágyakeverék esetében ....                                                                                                                                              | 68 |
| 8. ábra: Biogáz képződés friss almos trágyakeverék fermentációjánál .....                                                                                                                                                         | 69 |
| 9. ábra: Különböző állagú almos trágyaféleségek gáztermelése .....                                                                                                                                                                | 70 |
| 10. ábra: Különböző állagú almos trágyaféleségek fermentációjában képződő biogáz metántartalma.....                                                                                                                               | 70 |
| 11. ábra: A hígrágya alapú kontroll fermentorok átlagos napi gáztermelése (csak sertéshígrágya, adalékanyagok és baktériumkezelés nélkül).....                                                                                    | 73 |
| 12. ábra: Sertéshígrágya kontroll gáztermelése és szárazanyag tartalom változása 3,4 % száa. tartalomnál. ....                                                                                                                    | 74 |
| 13. ábra: Sertéshígrágya kontroll gáztermelése és szárazanyag tartalom változása 4,6 % száa. tartalomnál. ....                                                                                                                    | 74 |
| 14. ábra: A hígrágya alapú kontroll fermentorok metántartalma (csak sertéshígrágya, adalékanyagok és baktériumkezelés nélkül).....                                                                                                | 75 |
| 15. ábra: A hígrágya alapú kontroll fermentorok szárazanyag tartalma (csak sertéshígrágya, adalékanyagok és baktériumkezelés nélkül).....                                                                                         | 75 |
| 16. ábra: A kísérlet paramétereinek alakulása letermett gombakomposzt adalékolással (30 g száa./nap). ....                                                                                                                        | 76 |
| 17. ábra: Átlagos gázfejlődés paramétereinek sertéshígrágya alapon, letermett gombakomposzt, valamint silókukorica adalékolással, baktériumkezelés nélkül.....                                                                    | 78 |
| 18. ábra: A kísérlet paramétereinek alakulása letermett GK:KS=75:25 adalékolással (100 g sz.a./nap).....                                                                                                                          | 79 |
| 19. ábra: A kísérlet paramétereinek alakulása letermett GK:KS=50:50 adalékolással (100 g sz.a./nap).....                                                                                                                          | 79 |
| 20. ábra: Gázképződés alakulása: 3. fermentor, 30gszáa. 0,06-0,07%száa. adagolás/nap – 100% GK; 4. fermentor, GK:KS=50:50; 5. fermentor GK:KS=75:25- 0,20-0,22% száa. adagolás/nap, 4% száa. tartalmú sertéshígrágya alapon ..... | 80 |
| 21. ábra: Metántartalom alakulása letermett laskagomba komposzt és silókukorica adalékolással 4% szárazanyag tartalmú sertéshígrágya alapon .....                                                                                 | 80 |
| 22. ábra A vizsgált időszak gáztermelése, rátöltési technológia, <i>friss anyag</i> rátöltése mellett (15 nap: 37. naptól az 51. napig.....                                                                                       | 82 |
| 23. ábra: A reaktorokban termelődött biogáz metántartalma, rátöltési technológia, <i>friss anyag</i> rátöltése mellett (15 nap: 37. naptól az 51. napig .....                                                                     | 83 |
| 24. ábra: Gáztermelés, visszaforgatásos rátöltési üzemmódban .....                                                                                                                                                                | 84 |
| 25. ábra: Metántartalom, visszaforgatásos rátöltési üzemmódban.....                                                                                                                                                               | 84 |
| 26. ábra: Szárazanyag tartalom-változás visszaforgatásos rátöltési üzemmódban .....                                                                                                                                               | 85 |

## **NYILATKOZAT**

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum Mezőgazdaságtudományi Karán az Kerpely Kálmán Doktori Iskola keretében készítettem el a Debreceni Egyetem ATC MTK doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2012-07-01.....

-----  
a jelölt aláírása

## **NYILATKOZAT**

Tanúsítom, hogy Sallai László...doktorjelölt 2006..... - 2012..... között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal – irányításunkkal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom – javasoljuk.

Debrecen, 2012-07-01 .....

-----  
a témavezető(k) aláírása)