

DEBRECENI EGYETEM
Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma
Logisztikai Koordinációs Központ

KERPELY KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető:
Prof. Dr. Nagy János
MTA doktora

Témavezető:
Dr. Grasselli Gábor
a mezőgazdaság tudomány kandidátusa

**A SZEKUNDER BIOMASSZÁRA ALAPOZOTT BIOGÁZTERMELÉS
LOGISZTIKÁJA ÉS HATÉKONYSÁGI KÉRDÉSEI**

Készítette:
Szendrei János
doktorjelölt

Debrecen
2008.

**A SZEKUNDER BIOMASSZÁRA ALAPOZOTT BIOGÁZTERMELÉS
LOGISZTIKÁJA ÉS HATÉKONYSÁGI KÉRDÉSEI**

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

Írta: Szendrei János 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:

	Név	Tud. fokozat
Elnök:	Dr. Csizmazia Zoltán	CSc
Tagok:	Dr. Patay István	CSc
	Dr. Rátonyi Tamás	PhD

A doktori szigorlat időpontja: 2008. április 17.

A bíráló bizottság:

	Név	Tudományos fokozat	Aláírás
elnöke:
tagjai:

titkár:
opponensei:

Az értekezés védésének időpontja: 200.....

Az értekezés védésének időpontja: 200.....

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS.....	5
1.1. A TÉMAFELVETÉS INDOKLÁSA	5
1.2. A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSEI.....	7
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	8
2.1. A BIOGÁZELJÁRÁS	8
2.1.1. A biogázjeljárás a megújuló energiaforrások rendszerében	8
2.1.2. A biogázjeljárás technológiája és jellemzői.....	14
2.1.3. A biogázjeljárás mint biomasszahasznosítási mód	19
2.1.4. A biogázjeljárás mint szerves hulladék-lebontó folyamat	21
2.2. A BIOGÁZFEJLESZTÉSRE FELHASZNÁLHATÓ TÉRSÉGI BIOMASSZA-KÉSZLET SZÁMÍTÁSAI ÉS EREDMÉNYEI.....	25
2.2.1. A biogázpotenciál kutatásának hazai eredményei	25
2.2.2. Biomassza- és biogáz potenciálfelmérések Magyarországon.....	26
2.3. A BIOGÁZTERMELÉS LOGISZTIKAI ÖSSZEFÜGGÉSEI	31
2.4. A BIOGÁZELJÁRÁS HATÉKONYSÁGÁNAK NÖVELTÉSE	32
2.4.1. A biogázkihozatal növelésének kísérletes kutatási-fejlesztési lehetőségei..	32
2.4.2. A biogázfejlesztés rendszerintegrációjának lehetőségei.....	35
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	36
3.1. A BIOGÁZFEJLESZTÉSRE FELHASZNÁLHATÓ TÉRSÉGI BIOMASSZA-POTENCIÁL SZÁMÍTÁSA	36
3.1.1. A trágyatermelés és a biogázpotenciál együtthatói a vizsgált állatfajoknál	36
3.1.2. Térségi biogázpotenciál meghatározása Hajdú-Bihar megyében	38
3.2. A BIOGÁZTERMELÉS LOGISZTIKAI (ÜZEMTELEPÍTÉSI) SZEMPONTJAINAK VIZSGÁLATAI	39
3.2.1. A biogáztermelés logisztikai szempontjai Hajdú-Bihar megye példáján	39
3.2.2. A logisztika energiámérlegének vizsgálata	42
3.3. A BIOGÁZTERMELÉS HATÉKONYSÁGNÖVELÉSÉVEL KAPCSOLATOS VIZSGÁLATOK.....	47
3.3.1. A biogázkihozatal növelésének kísérleti anyagai és módszerei	47
3.3.2. A biogázfejlesztés rendszerintegrációjának vizsgálata.....	55

4. EREDMÉNYEK	58
4.1. A BIOGÁZFEJLESZTÉSRE FELHASZNÁLHATÓ TÉRSÉGI BIOMASSZA-POTENCIÁL EREDMÉNYEI.....	58
4.1.1. A trágyatermelés és a biogázpotenciál együtthatói a vizsgált állatfajoknál	58
4.1.2. Térségi biogázpotenciál meghatározása Hajdú-Bihar megyében	59
4.2. A BIOGÁZTERMELÉS LOGISZTIKAI (ÜZEMTELEPÍTÉSI) SZEMPONTJAI.....	65
4.2.1. A biogáztermelés logisztikájának alapjai Hajdú-Bihar megyében	65
4.2.2. A logisztika energiamérlegének racionalizálását szolgáló tényezők	70
4.3. A BIOGÁZTERMELÉS HATÉKONYSÁGNÖVELÉSI VIZSGÁLATAINAK EREDMÉNYEI	75
4.3.1. A biogázkihozatal növelésének kísérleti-fejlesztési eredményei.....	75
4.3.2. A biogázfejlesztés rendszerintegrációjának eredményei	81
5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK	84
6. AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ, ILLETVE ÚJSZERŰ EREDMÉNYEI	86
7. ÖSSZEFOGLALÁS	87
8. SUMMARY	88
9. IRODALOMJEGYZÉK	89
10. FÜGGELÉK.....	98
I. A szarvasmarha trágyatermelésének alapadatai	99
II. A szarvasmarha trágyatermelésének számított adatai	100
III. A sertés trágyatermelésének alapadatai.....	101
IV. A tyúk és a pulyka trágyatermelésének alapadatai.....	102
V. A tyúk és a pulyka trágyatermelésének számított adatai.....	102
VI. Az egyes állati trágyák biogázkihozatala	103
VII. Az állatállomány megyei alapadatai	103
VIII. Az biogázpotenciál koncentrációja Debrecen körül	103
IX. Hajdú-Bihar megye településeinek listája a diagramok értelmezéséhez	104
X. A kísérletek helyszínei	106
XI. Táblázatjegyzék.....	107
XII. Ábrajegyzék	109

1. BEVEZETÉS

1.1. A TÉMAFELVETÉS INDOKLÁSA

Napjainkban egyre inkább központi kérdéssé válnak a természeti erőforrások, azon belül is az energiaforrások. A fejlődés jelenlegi irama és iránya nem tartható tovább, egy fenntartható pályára kell átállni, amihez elengedhetetlen a megújuló energia.

A megújuló energia előtérbe kerülésének világszinten három fő okát lehet megemlíteni: a fosszilis energiahordozóknak is tulajdonítható atmoszférikus CO₂-szint növekedését, a fosszilis eredetű készletenergiák végeességét, valamint az ellátás biztonságának veszélyeztetettségét, különösen a kőolaj- és földgázellátás területén.

Európa a Kiotói Jegyzőkönyvben foglalt vállalásának megfelelően csökkenteni kívánja CO₂-kibocsátását, amit az energiahatékonyság növelése mellett a megújuló energiaforrások felhasználásának növelésével tervez elérni. Emellett függetleníteni is szeretné magát a határain kívülről származó energiahordozóktól, ezért megállapodás született a megújuló energifajták használatának növelésére. Magyarország szintén növelni köteles a megújuló energia arányát, amit a kötelezettségeken túl az importfüggőség is indokol.

További érv a megújuló energiák mellett, hogy hazai erőforrásokkal lehet munkahelyteremtő, gazdaságélénkítő hatást elérni. A centralizált, néhány nagy erőműre támaszkodó energiahálózattal szemben a megújuló energiaforrások hasznosítása alapvetően decentralizált rendszerben hatékony, így a munkahelyteremtés a vidéki térségekben is jelentkezik. A biomassza alapú energiatermelés pedig, mivel jellemzően a mezőgazdasági és az erdészeti ágazatokhoz kapcsolódik, elsősorban a vidéki térségekben jelent pótlólagos munkahelyteremtő és bevételnövelő forrást.

A biogáztermelés olyan forrásokat használ, amelyek másképp nem vagy nem ilyen hatékonysággal hasznosulnának. A szerves hulladékok más irányú hasznosítása nem megoldott, sőt kezelésük külön ráfordítást igényel. Az élelmiszergazdaság melléktermékei között sok olyan van, amelyek beszántásánál, elégetésénél környezetkímélőbb és gazdaságosabb a biogázerjesztésük.

A megújulók arányának növelésére hazánkban a nap, a geotermális és a biomassza alapú energiák terén vannak nagy lehetőségeink. A vízenergia felhasználását egyrészt

kedvezőtlen adottságaink (folyók csekély esése), másrészt politikai-környezetvédelmi kérdések (pl. Bős-Nagymaros) akadályozzák. Szélenergia-potenciálunk természetesen elmarad a tengerparti országokétól, de az országnak vannak olyan helyszínei, ahol eredményesen lehet telepíteni szélérőműveket, és a kisebb szélérőgépek is sokfelé hasznosíthatók. A napenergia fotovillamos hasznosításának magas a tőkeigénye, ami a geotermikus energiára is igaz. A leginkább kézenfekvő lehetőség a biomassza energetikai hasznosítása.

A biomassza energetikai felhasználása lényegében a Nap energiájának hasznosítását teszi lehetővé változatos formákban, környezetbarát, gazdaságos és társadalmilag is hasznos módon. E téren Magyarország kedvező adottságokkal bír. A közvetlen hőhasznosítás ma is a legszélesebb körben alkalmazott megoldás, például az erőművi áramtermelésben is. Várhatóan a folyékony bio-hajtóanyagok, így a biodízel és bioetanol előállítása is emelkedni fog. A biogázjelzés szintén fellendülőben van, jellemzően a szerves hulladékok kezelési módjaként, mind a szennyvíztisztítás, mind a hígtrágyakezelés, mind pedig a kommunális és élelmiszeripari hulladékok feldolgozása terén.

Az anaerob fermentáció a biomassza hasznosításának talán a legsokoldalúbb módja: másra nem használható alapanyagokból képes energiát előállítani, ugyanakkor veszélyes hulladékok ártalmatlanítására is alkalmas, végül értékesek a fermentáció különböző termékei is, a mezőgazdaságban fontos biotrágyától kezdve a gyógyszeripari alapanyagokig. Az eljárás alkalmazásának hangsúlyai természetesen a felhasználás területeitől függően változnak, így világszinten jellemzően hulladékkezelési célból alkalmazzák, de pl. Németországban az energetikai oldala hangsúlyos, egyes biotechnológiai iparágakban pedig az előállított anyagok tekinthetők főterméknek.

A biogázjelzés elterjedtsége hazánkban jelenleg elmarad a kívánatostól. Az elterjedés különösen indokolt lenne egy olyan, nagy biomassza-termelő képességgel rendelkező területen, mint amilyen az Alföld jellemzően mezőgazdasági hasznosítású térségei. Kérdés tehát, hogy melyek az objektív lehetőségek és korlátok, amelyek a helyzetet és a megoldásokat valóságosan jellemzik. Mivel a Debreceni Egyetem az Észak-alföldi régió fő regionális tudásközpontja, így kutatásaimban a régión belül vizsgáltam az egyes térségek adottságait és lehetőségeit.

1.2. A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSEI

A biomassza-potenciál, azon belül a biogázpotenciál meghatározására a jelenleg használatos becslésekkel szemben olyan módszer kidolgozását tűztem ki célul, amely megyei szinten, illetve egyes tetszőleges körzetekre is használható megállapításokat szolgáltat. Célom volt az is, hogy a területi tervezés és döntéshozás körén túl az egyes üzemek beruházói, tervezői is tudják hasznosítani a módszert, azaz meghatározható legyen az adott területen rendelkezésre álló biogázpotenciálra telepíthető üzem kapacitása.

Vizsgálataimhoz az állati trágyát mint folyamatosan termelődő, sőt kezelendő alapanyagot vettem alapul. A szakirodalomban megtalálható – az állati trágya termelődését és biogázkihozatalát jellemző – együtthatókat egyesítettem, így a biogázpotenciál a vizsgált térség településeinek állatállományából közvetlenül számítható.

A vizsgált térségben az adott biogázpotenciálból létesíthető üzemméreteket három méretgazdaságossági határral vizsgáltam. Meghatároztam az üzemméret növelésének hatását a szállítási távolságokra, a szállítandó tömegre, az alapanyag-potenciál kihasználására és a fajlagos szállítási igényre. Energiámérleg segítségével a szállítás racionális határait is meghatároztam.

A növénytermesztés hulladékainak és melléktermékeinek felhasználása az állati trágyára alapozott üzemekben növeli a gázkihozatalt, amelyhez kísérleti mérésekkel és számításokkal is adatokat szolgáltattam. Számításokkal vizsgáltam szarvasmarha és sertés trágyájának együttes erjesztésével a gázkihozatal és a kapacitáskihasználás változását.

A rendelkezésre álló biogázpotenciál, az üzemtelepítési és logisztikai lehetőségek, valamint a várható fejlesztések figyelembe vételével javaslatokat fogalmaztam meg a célszerű üzemméretekre és biogáz-logisztikai rendszerre Hajdú-Bihar megyében.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az irodalmi áttekintésben a biogázjelzés főbb jellemzőit és a határterületekhez kapcsolódását, valamint a biogáztermelés céljára felhasználható biomassza-potenciál, az üzemméret-üzemtelepítés-logisztika és a fejlesztési lehetőségek témaköreit vizsgáltam.

2.1. A BIOGÁZELJÁRÁS

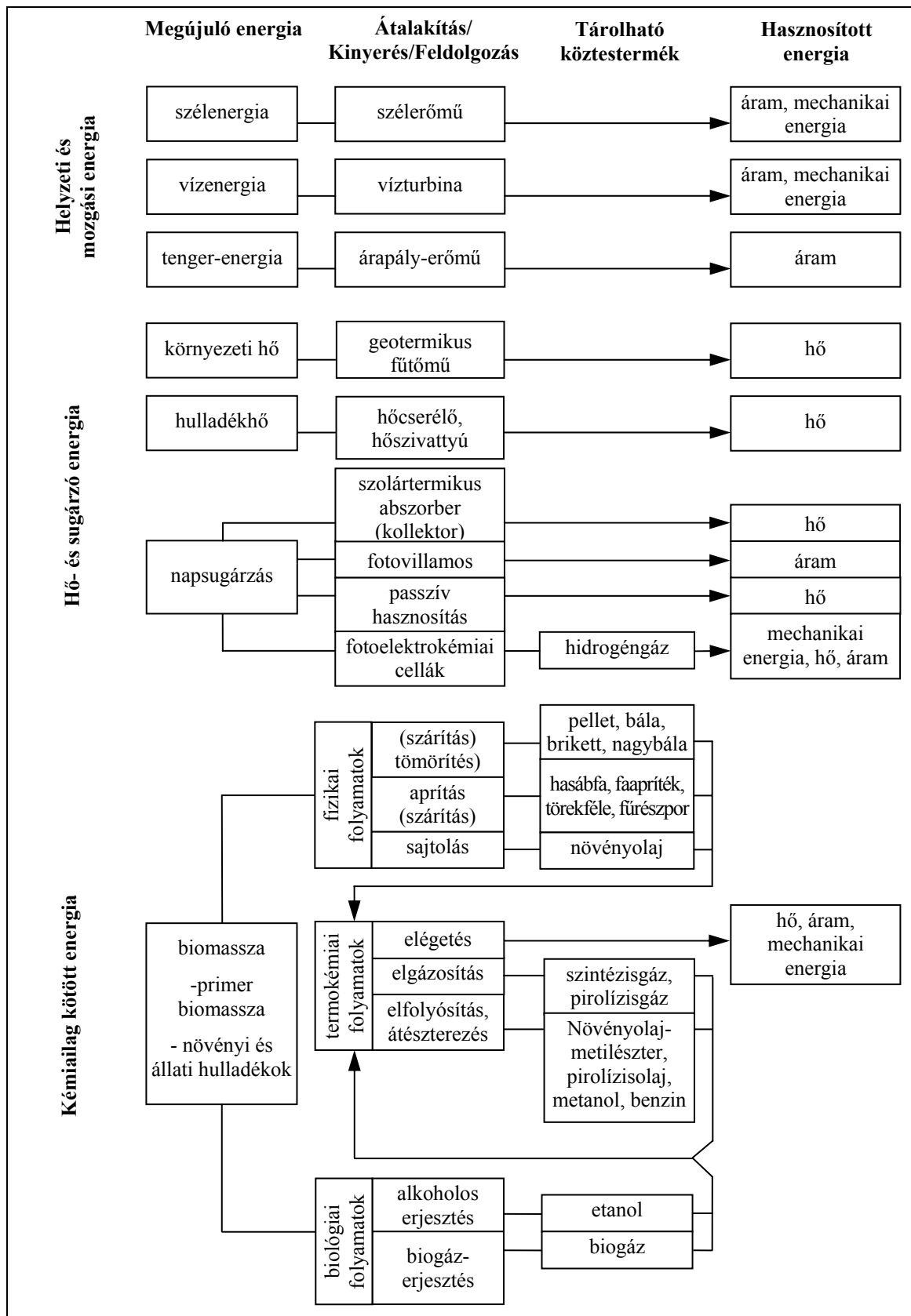
2.1.1. A biogázjelzés a megújuló energiaforrások rendszerében

Megújuló energia alatt azokat az energiaformákat értjük, melyek ugyanonnan, ugyanolyan mennyiségben és minőségben ismételtén kinyerhetők, vagy újratermelődésük biztosított. Megújulásuk záloga a Napnak a Földre érkező energiája, mely elengedhetetlen termelődésük és felhasználásuk egyensúlyához.

Ilyen energiaformák a nap-, szél-, víz- és geotermikus energia, valamint a biomasszából nyerhető energia. Van, aki a megújuló energiaformák közt említi a hulladékhő hasznosítását is, hiszen amíg az alapul szolgáló hőkibocsátó biológiai vagy technológiai folyamat működik, addig a folyamat során keletkező hulladékhő is újratermelődik (Schön, 1998 és Eichhorn, 1999). Ez utóbbi azonban úgy is felfogható, mint energiával való takarékoskodás – az emberi tevékenységek energiavesztésének csökkentése.

A megújuló energiaforrások közös jellemzője, hogy fosszilis energiahordozók kiváltására alkalmasak, ily módon megállíthatják a légkör CO₂ szintjének további növekedését; a kibocsátott anyagokat tekintve általában is környezetkímélőbbek; eredetüket tekintve pedig erőforrás-kímélők, nem csökkentik a Földön található készletenergiák szintjét.

A megújuló energiákból történő energiaátalakítás rendszerezése, az eljárások áttekintése az *1. ábrán* látható. A megújuló energiákból történő energiaátalakítás folyamatának összetettsége különböző lehet. A passzív (építészeti) napenergia-hasznosítással szemben a biomasszafelhasználás lépések sorából áll. Kezdeté a napenergia átalakítása biomasszává, amiből aztán vagy biológiai, vagy fizikai folyamatokban a köztes termékeket nyerjük a lezáró termokémiai folyamat számára (Eichhorn, 1999).



1. ábra: A megújuló energiaforrások előállítási és átalakítási folyamatai

Forrás: Szendrei, 2005a; Eichhorn (1999) ill. Hartmann és Strehler (1995) után

A **biomassza közvetlen hőhasznosítása** a száraz növényi részek elégetését jelenti. Számos gazdasági jellemző elemzése alapján legelőnyösebb a helyben fellelhető **melléktermékek** energetikai hasznosítása (Grasselli–Juhász, 2002), de sok esetben a fás- és lágyszárú **energianövények** felhasználása is kedvező eredménnyel járhat (Bai et al., 2002).

Az **erdei, fás** biomassa (dendromassza) **melléktermékei** az erdészetből (primer biomassa): (1) az ipari választékok (rönk, egyéb ipari fa) kitermelése közben keletkező melléktermék, a tűzifa; (2) a fakitermelési hulladék (kéreg, darabos hulladék, gallyanyag); és (3) az állománynevelési melléktermék, kisméretű fa, gallyfa. A faipari feldolgozás melléktermékei (tercier biomassa): a fűrészpor és a finomforgács.

A **mezőgazdaság** primer (növénytermesztési) biomassa-**hulladékai**: a gyümölcs- és szőlőtermesztés, valamint a zöldfelületfenntartás fás hulladékai: nyesedék, venyige, hasábfá, illetve aprítékuk; a szántóföldi lágyszárúak melléktermékei: szálás anyag (szár, szalma), vagy kis részecskeméretű melléktermék (maghéj, dara, stb.). Ezek az egyébként veszendőbe menő anyagok nem lebecsülendő energiapotenciált képviselhetnek egy intenzív mezőgazdaságú területen (Juhász, 2004).

A **lágyszárú energianövények** közül hazai kísérletek az egynyáriak közül repce, rostkender, triticale, az évelők közül zöld pántlikafű, magyar rozsnok, energiafű, miscanthus (kínai nád) növényekkel folynak. A **fásszárú energetikai ültetvények** a telepítési tőszámától és az alkalmazott technológiától függően lehetnek energiaerdők vagy energiaültetvények. A telepítésükről hozott rendelet (45/2007. (VI.11.) FVM r.) szerint csak minősített szaporítóanyagot lehet használni a telepítésükhöz, az engedélyezhető alapfajok: nyár, fűz, kőris akác, éger, tölgy, dió és juhar. A sarjzatatásos ültetvény viszont csak nyár, fűz és akác fajokból telepíthető. Védett természeti, valamint Natura 2000 területen fehér akácot nem szabad telepíteni.

A biomassa energiaként való felhasználására a közvetlen hőhasznosítás a legolcsóbb eljárás. Felhasználásuk darabolva, aprítva, vagy tömörítvények (bála, biobrikett, biopellet) formájában történik. Biopellettel teljesen automatizált tüzelés is megoldható. A mai berendezésekkel a szalmatüzelés is reális alternatívája lehet a hagyományos energiahordozóknak (Kacz és Neményi, 1998).

A használatban lévő kazánok 90%-a vegyes tüzelésű, míg 10%-a speciális kazán; az előbbieket hatásfoka alig 60%, míg az utóbbiaké 90%. Az energiahasznosítás átlagosan tehát 64%-nak vehető (Gombos, 2004). Alkalmazása leginkább intézmények, meglévő távfűtőhálózatok ellátására javasolható. Több példa van arra is, hogy széntüzelésű

erőműveket biomassza-tüzelésűvé alakítottak át (Borsodi, Pécsi, Ajkai Erőmű). Az átállást gazdasági okok motiválták: a szénerőművek környezetvédelmi előírásoknak megfelelő szűrőberendezésekkel való felszerelése többbe került volna, mint az átállás a biomasszatüzelésre. A legjobb megoldás azonban a kogeneráció és trigeneráció (villamos áram előállítása mellett hő, ill. hő és hideg előállítása), amely esetén az áram előállítása során keletkező hulladékhőt is hasznosítják (Grasselli–Szendrei, 2005b).

A **folvékony energiahordozók** elégetésekor a kémiai energiából hőenergiát, majd mechanikai energiát állítunk elő, amelyek mobil gépek hajtására is alkalmasak. A biomotorhajtóanyagokat benzinhez vagy gázolajhoz 5-30% arányban adva, esetleg egymással keverve, vagy önállóan használják fel (etanol, metanol, tercier butil alkohol; növényi olajok, illetve ezek észterezett változatai) (Barótfi, 1993).

A **biodízelt** magas olajtartalmú növényi termékekből, trigliceridek (növényi olajok, zsírok) átészterezésével, vegyi úton állítják elő. A növényi olajok közeli rokonságban vannak egymással és elvileg valamennyi alkalmas motorhajtó anyagok alapanyagának. Európában főként repcét és napraforgót, az USA-ban főként szóját, Délkelet-Ázsiában pedig olajpalmát használnak fel ilyen célra (Bai et al., 2002). Biodízelt használt sütőolajból, állati zsiradékból és olajtartalmú mikroszervezetekből is előállítható, vegyi úton szerves hulladékok és melléktermékek széntartalmából is szintetizálható (pl. SunDiesel). Megfelelő motorokban tiszta **növényolaj** is felhasználható hajtóanyagként.

Az **alkoholok** benzinmotorokban hasznosíthatók. **Etanolt** (etil-alkoholt) cukor, keményítő vagy cellulóz formájában nagy mennyiségben szénhidrátot tartalmazó növényekből készítenek erjesztéssel, illetve hidrolízis és fermentáció kombinációjával, majd pedig desztillációval. Dél-Amerikában cukornádat, az USA-ban kukoricát, Európában (Franciaországban) búzát használnak (Bai et al., 2002). Nálunk a cukorrépa, kukorica, burgonya, a kalászosok és a cukorcirok jöhetnek szóba alkohol előállítására (Kacz és Neményi, 1998). **Metanolt** (metil-alkoholt) termokémiai folyamatok révén állítanak elő. A metilalkoholt kedvezőtlen motorikus és korróziós tulajdonságai miatt motorhajtó anyagként nem használják, általában 5-15% arányban keverik a benzinhez; magas oktánszáma növeli a motor kompresszióviszonyát. A metilalkohol üzemanyagcellában is felhasználható hidrogénforrásként.

A biohajtóanyagok előnye, hogy a legfontosabb fosszilis üzemanyagokat képesek kiváltani, ugyanakkor a jelenlegi árviszonyok mellett (még) nem versenyképesek.

Gazdasági megítélésüknél hasznos melléktermékeiket (olajpogácsa, szeszmoslék) és foglalkoztatást növelő hatásukat is mérlegelni szükséges.

A **biogázelijárás** előnye, hogy a gáztermelésen kívül alkalmas a trágya és számos állati eredetű veszélyes hulladék ártalmatlanítására. Az Európai Unióhoz történő integrálódás hatásaként egyre szigorodnak a környezetvédelmi előírások (Hagymássy, 2004; Oláh, 2004). A mezőgazdasági eredetű melléktermékek és hulladékok (Szendrei, 2005c) erjesztésével nyert kiejert anyag maga is értékes biotrágya, sőt, megfelelő feltételekkel akár gyógyszeralapanyagok is előállíthatók így. Az eljárás beruházásigényes, üzemeltetése szigorú technológiai fegyelmet igényel.

A biomassa alapú energiatermelési módok gazdasági jellemzők alapján történő összehasonlításához a biomassa-féleségek három csoportba sorolhatók: a melléktermékek és hulladékok, az egyéves energianövények és a többéves energetikai ültetvények. Az anyagokból különböző eljárásokkal hőenergia, villamos áram, vagy hajtóanyag állítható elő. A hazánkban alkalmazottakat a 1. táblázat foglalja össze (Grasselli, 2004b).

1. táblázat: A biomassa alapanyagok és hasznosíthatóságuk

Hasznosítás módja	Alapanyag és jellemzői
Közvetlen eltüzelés	alacsony nedvességtartalmú és magas fűtőértékű növényi anyag
Biobrikett	az előzővel megegyező és felaprított növényi anyag
Biogáz	bármilyen szerves anyag, megfelelő arányban összekeverve
Biodízel	olajtartalmú magvak, illetve hulladékok
Bioetanol	szénhidrát- (cukor, keményítő, cellulóz) tartalmú növényi termékek

Forrás: Grasselli, 2004b

A különböző alapanyagok és eljárások alkalmazásának mikrogazdasági szinten jelentkező előnyeit és hátrányait a 2. táblázat foglalja össze.

A biomassa alapú megújuló energiaforrások társadalmi-gazdasági hatásai közül a munkahelyteremtő képesség kiemelten fontos. A munkahelyteremtő hatás számításainak eredményei a biomassa alapú megújuló energiaforrásokra a 3. táblázatban láthatók (részletesen: Grasselli, 2005; Grasselli-Szendrei, 2006b; Grasselli et al., 2006b, Grasselli-Szendrei, 2007a). A táblázatból megállapítható, hogy a munkahelyteremtő (illetve munkahelymegtartó) hatás nem kis részben az alapanyagtermelésnél jelentkezik, ami különösen a biogáztermelés esetén szembetűnő (itt ugyanis pótlólagos munkahelyekkel kevésbé számolhatunk, előnye főként a biogázüzem bevételei révén az állattenyésztésben megőrizhető munkahelyekben rejlik).

2. táblázat: A biomassza felhasználásának jellemzői

Felhasználás jellemzői		Biomassza alapanyag		
		Melléktermék vagy hulladék	Energia-növény (egyéves)	Energia-ültetvény (többéves)
Biomassza felhasználása	közvetlen tüzelés	+	+	+
	biobrikett gyártás	+	+	+
	biogáz előállítás	+		
	biodízel előállítás	+	+	
	bioetanol gyártás	+	+	
Gazdasági jellemzők	Földhasználat	nincs	jó talaj	hosszú lekötés
	Alternatív költség	kicsi	közepes	nagy
	Költség és munkacsúcsok jellege	bálázás, szállítás, tárolás	a helyettesített növényvel megegyező	ápolás, betakarítás
	Pénzforgalom	folyamatos, ill. kicsi	gabona előtti betakarítás	költséges telepítés
	Költség- és munkacsúcsok	betakarításhoz kötött*	vetésforgótól függ	őszvégi / téli munkák
	Speciális eszközhasználat	nincs	van	van
	Energiakihozatal	közepes	gyenge	erős
	Rugalmasság	nagy	nagy	kicsi (10-20 év)
	Alkalmazható technológia megléte	van	van	fejlesztés alatt

Jelmagyarázat: **előnyös** **semleges** **hátrányos**

Megjegyzés: *kivéve: folyamatosan keletkező állati és kommunális hulladékok

Forrás: Bai et al., 2002 alapján

3. táblázat: A biomassza alapú energiaformák munkahelyteremtő hatása

Me.: fő/MW_{el}

Jellemzők	Szilárd biomassza		Bioetanol	Biodízel	Biogáz
Hasznosítási forma	<i>sz</i>	<i>e</i>	<i>h</i>	<i>h</i>	<i>e</i>
Gyártás	0,4	11,5	4,9	2,8	18,1
Forgalmazás	0,03	0,9	0,4	0,2	1,4
Létesítés	0,3	9,2	4,0	2,2	14,4
Karbantartás	0,05	1,4	0,6	0,3	2,2
Üzemeltetés	0,3	10,0	0,6	0,6	2,0
Értékesítés		0,3	0,5	0,5	0,5
Alapanyag-előállítás	171,5	176,5	2,8*	9,3*	110,0*
Összes	172,6	209,7	13,8	15,9	148,6

Forrás: Grasselli-Szendrei, 2006c (Bai et al., 2002; Grasselli, 2004c; Schön, 1998; Magda, 2003; Vántus 2003 és 2004 alapján saját számítások)

Magyarázat:

hasznosítási forma: *sz*=szigetüzemű, *e*=erőmű (hálózatra kapcsolt), *h*=hajtóanyag;

munkahelyteremtés: *=munkahelymegtartó hatás

2.1.2. A biogázéltjárás technológiája és jellemzői

A kiterjedt nemzetközi szakirodalom mellett a biogázéltjárásról az utóbbi évtizedben számos publikáció jelent meg magyarul, sőt kizárólag ezzel foglalkozó könyvek is (Bai, 2005a; 2007).

A biogáz szerves anyagok anaerob lebomlásánál keletkező metántartalmú gáz. Alapanyagként bármilyen szerves hulladék – mezőgazdasági, feldolgozóipari vagy települési (kommunális) – szóba jöhet. A többféle eljárás közös jellemzője, hogy egy fermentorban szabályozott hőmérsékleten, anaerob viszonyok közt metántermelő baktériumok segítségével gázt termelnek, azt tisztítják, tárolják, majd a gáz kémiai energiáját hő, mozgási energia és villamos áram előállítására, illetve ezek kombinációjára használják (Marosvölgyi, 2004).

A felhasználás rendszere különböző összetettségi fokon valósulhat meg. A legegyszerűbb kazánban hőt előállítani. A blokkerőművekben gyújtósugaras dízel-motorral vagy gázmotorral generátort hajtának, az elektromos áram előállítása mellett a motor hulladékhője is felhasználható. Az utóbbi eset a kogeneráció. A decentralizáltan telepített mikroerőművekben előállított elektromos energia közelben történő felhasználásánál a hálózati veszteségek csökkennek, illetve az áramtermelés hulladékhőjének gazdaságos felhasználása is lehetővé válik. A termelt biogáz tisztítás és metántartalom növelése (dúsítás) után a földgázhálózatba is betáplálható, így a termelés helyétől távol, közvetlenül a fogyasztás helyén is megvalósulhat ez a kogeneráció.

Az energiatípus kimerülési sorrendje illetve gazdasági-politikai súlya miatt talán a legfontosabb a belsőégésű motorok működtetéséhez szükséges hajtóanyagok biztosítása. A tisztított, dúsított biogáz (a biometán) közlekedési célra sűrítve, esetleg cseppfolyósítva felhasználható üzemanyagként. A legújabb fejlesztési terület pedig a biometán felhasználása üzemanyagcellákban hidrogénforrásként: ez jelenleg stacionárius üzemben kiforrottabb, de mobil üzemi alkalmazásra is folynak kísérletek. Fejlesztés alatt áll a mikro-gázturbinás és a Stirling-motoros alkalmazás is.

A fermentációs folyamat értékes, kiterjedt szerves trágyát termel, de megfelelő alapanyagokkal és körülményekkel gyógyszeralapanyagok előállítására is alkalmas.

Fermentációval újabb tisztább hidrogént is fejlesztenek biomasszából, elterjedését gátolják a hidrogén tárolásának nehézségei (Sembery és Tóth, 2004).

Alapanyagként a primer, szekunder és terciér biomassza egyaránt szóba jöhet, a gyakorlatban biogázt főként szekunder és terciér (szerves) hulladékokból állítanak elő. A biogázgyártás technológiáit a gazdasági szükségszerűségek által meghatározott jellemző felhasználási kör, illetve alapanyagbázis szerinti sorolják be (Kissné, 1983).

Nyugat-Európában elsősorban a környezetvédelem igénye vezetett a **nagy állattartó telepek** trágyájának anaerob fermentációval történő ártalmatlanításához. A sertés- és szarvasmarha hígtrágya kezelésének egyik mellékterméke a biogáz. A technológia viszonylag drága.

Az **élelmiszeripari hulladékok** ártalmatlanításánál a keletkező gázt a technológiai melegvíz előállítására, illetve a helyiségek fűtésére használják, de Svájc, Németország, Hollandia üzemei elsősorban vízvédelmi okokból alkalmazzák a biogázélezést.

A **szennyvíztelepeken** az alacsony száraz- és szervesanyagtartalmú alapanyagból csak mérsékelt mennyiségű biogáz állítható elő, így elsősorban a környezetvédelem igényei dominálnak. A biogázzal termelhető áram csak mellékterméke a folyamatnak.

A mezőgazdaságban a túlnyomóan, illetve kizárólag **növényi** hulladékot tartalmazó anyagok kigázosítása hosszabb időt vesz igénybe. Baktériumokkal való beoltás is szükséges. Léteznek üzemek energianövények biogázélezésére is.

A **szemételepeken** a depógáz összegyűjtése az egyébként is termelődő – és időnként robbanásokat okozó – metántartalmú gáz hasznosítása céljából történik.

Az alkalmazott technológiák legegyszerűbb felosztása a működés szakaszos vagy folyamatos volta, illetve a kezelt anyag víztartalma szerint tehető (Kaltwasser, 1983 és Kacz-Neményi, 1998 alapján).

A **száraz eljárás** (szemételepek depógázának kinyerése) a legkisebb beruházási igényű, itt csupán megfelelő gázgyűjtő kutakat kell létesíteni, illetve a szemetet tömöríteni és nedvesíteni kell. Új létesítménynél a szemételep aljzatát víz-, illetve gázzáróra képezik ki, és kiépítik a gázgyűjtő, illetve a szerves anyagokat a nedvesítő csőhálózatot. A gáztermelés néhány év után éri el a maximumot, majd még további 15-20 évig gazdaságos a gáz kinyerése. Az alapanyag bejuttatása folyamatos, az összetömörödött, kiaknázott szemét azonban a helyszínen marad.

A **szakaszos, „félszáraz”** üzemű berendezéseknél az összekevert (17,5-25%) szárazanyagtartalmú biomasszát a fermentorba töltik, és erjedni hagyják. Az aerob és az anaerob szakasz egy térben zajlik. A metanogén fázisban a gázhozam először

emelkedik, majd egy maximum után csökkenni kezd. A gázhozam, illetve az üzemelés folytonosságának biztosítására több szakaszos üzemű fermentort össze is lehet kapcsolni, ami megfelelő pufferkapacitásokkal viszonylag egyenletes működést tesz lehetővé. A kierjedt anyagot szerves trágyaként juttatják ki.

A **folyamatos**, „folyékony” üzemnél a fermentorba nyersanyag naponta egy vagy többször kerül, a biogáztermelés, valamint az anyagáramlás kiegyenlített. Az eljáráshoz egyenletes minőségű alapanyag szükséges, a hidraulikus továbbítás miatt pedig 2-16% lehet a szárazanyagtartalom. Megfelelő alapanyagösszetétel esetén a kierjedt végtermék hígtrágyaként juttatható ki fázisbontással vagy anélkül.

A **mikrobiológiai lebomlás hőmérséklete, illetve időigénye** alapján megkülönböztethetünk mezofil (35 ± 2 °C, 25 ± 5 nap) és termofil (56 ± 5 °C, 15 ± 2 nap) eljárásokat. A folyamat hőmérsékletének növekedtével növekedik az abszolút (m^3) és a fajlagos (m^3 gáz/ m^3 reaktortér) gázhozam, nő a beruházás hatékonysága, de megnő az eljárás technológiai hőfogyasztása (a bekerülő anyag felmelegítésére, a hőveszteségek kompenzálására) is. A legelterjedtebb a mezofil eljárás (Pesta-Meyer, 2004). Amennyiben a kikerülő anyag csíráatlanítása, a gyommagvak elpusztítása kiemelt cél, a termofil eljárás ajánlott, esetleg egy megelőző magas hőmérsékletű aerob lebontási szakasszal is kiegészítve. Alkalmazzák a mezofil elő-és utóerjesztés, valamint a termofil főerjesztés kombinációját is.

A biogáz eljárás alkalmazásának jelenlegi helyzete hazánkban pozitívan megfogalmazva leginkább úgy jellemezhető, hogy ígéretes fejlődés előtt áll.

A kutatások kezdetén, 2004-ben Magyarországon még csak egy (bár kiemelkedő nagyságú és jelentőségű) mezőgazdasági jellegű biogázüzem működött, a Nyírbátori Regionális Biogáztermelő Üzem. Ma már a pálhalmi, kenderesi és klárafalvi üzem is megkezdte (próba)üzemét, illetve összesen 10-12 biomassza erőmű épül az országban. Mindezek azonban egyáltalán nem merítik ki hazánk igen kedvező mezőgazdasági adottságait.

Az alkalmazás kereteinek megállapítására 2007-ben készült ökonómiai elemzés (Bai et al., 2007) hat üzemméretet vizsgált. Az 1-5. modellek alapanyag-bázisát 2/3 részben sertés- és szarvasmarha, 1/3 részben szilázs alkotta, 16 % szárazanyag-tartalommal. A 6. modell mintegy 50 %-a hígtrágya, 1/3-a almos trágya, a 2/3-a silókukorica-szilázs, 15 % körüli szárazanyag-tartalommal. Az 1. és 3. modellek tényleges német üzemi adatokon, a 2., 4., 5. modellek német üzemi adatok átlagán, míg a 6. modell az egyik

legújabb hazai referenciaüzem adatain alapulnak. Utóbbi kétlépcsős (mezofil + termofil) erjesztést alkalmaz, ellentétben a kisebb üzemek egylépcsős mezofil technológiájával. A kisüzemek (1., 2. modell) blokkerőművei gyújtósugaras motort alkalmaznak, melyek elektromos hatásfoka mintegy 4-5 %-kal kisebb a nagyobb üzemekben (3.-6. modellek) használt Ottó-motortól, valamint jelentős a gyújtóolaj-szükségletük is. A vizsgált modellek legfontosabb működési-gazdasági alapadatait az 1. táblázat tartalmazza. A 3. modell adatainak igen kedvező értékei valószínűleg az elérhető optimumot (megfelelő receptúra, pontos méretezés) mutatják be.

4. táblázat: A hőtermelésnél és a kogenerációnál szereplő biogáz-üzemi modellek

Modell sorszám	1	2	3	4	5	6
Alapanyag, t/év	3 182	4952	17 411	23968	47936	90255
Fermentor-térfogat, bruttó m ³	420	750	2 400	3000	5500	8000
Blokkerőmű, kW _{el}	55	100	330	500	1000	1672
Biotrágya-tároló, m ³	410	410	1700	2770	2770	2770
Erjesztési hőmérséklet	mezofil			M+T*		
Beruházási költség MFt	61	137	191	495	908	1400
Blokkerőmű nélkül, MFt	45	93	112	405	788	1200
Termelt biogáz, ezer m ³ /év	233	363	1 320	1817	3633	6000
Ennek hőértéke, TJ/év	5,14	7,99	29,03	39,97	79,94	132
Kogeneráció esetén						
Vill. áram, MWh/év	410	800	2433	4000	8000	13211
Hő, MWh/év	546	933	2780	4667	9333	15412
Hő, TJ/év	1,96	3,36	10	16,79	33,57	55,44

Forrás: Bai et al., 2007

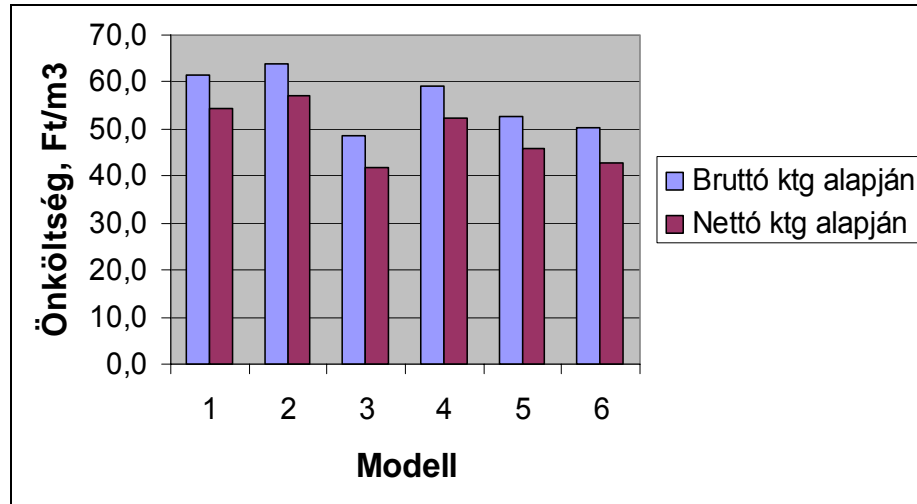
Jelmagyarázat: * mezofil+termofil erjesztés

A kisüzemben előállított biogáznál a rosszabb villamos hatásfok és a többlet-anyagköltség, illetve a kogeneráció többletberuházása miatt érdemes megfontolni a (lehetőleg saját) hőenergiaként történő felhasználását (2. ábra). Így akár már ma is alternatíva lehet a földgáztüzelésre, különösen, ha a biogázberuházás környezetvédelmi, munkahelymegtartási előnyeit is mérlegeljük.

A közepes és nagyüzemekben a nagyobb mennyiség miatt már megoldhatatlan a hő belső felhasználása, ezért a villamos áram kogenerációs előállítás javasolható (3. ábra), a hő részbeni vagy teljes felhasználása mellett.

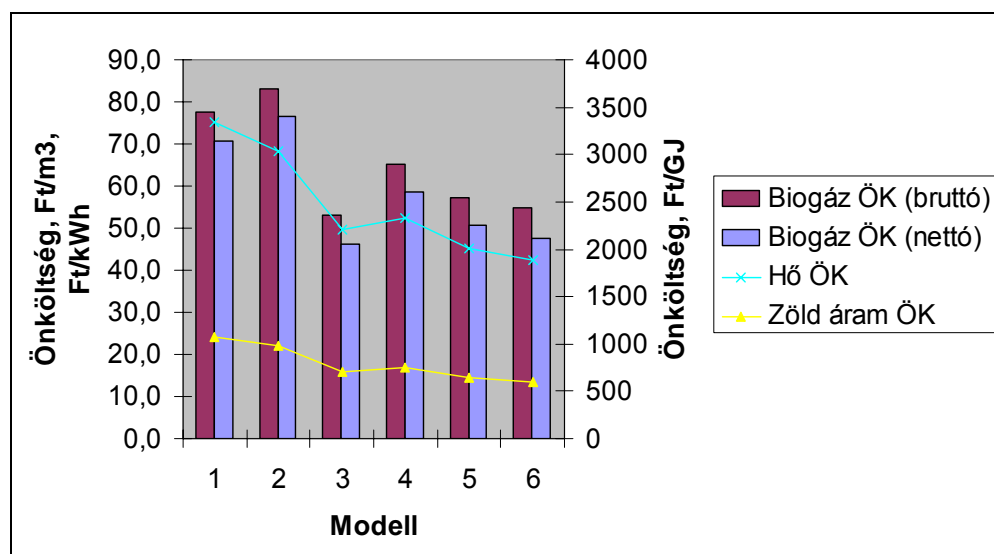
A hazai „zöld” villamos áram árai miatt mérlegelendő egy garantáltan piacképes termék, a bio-metánna történő átalakítás is (Bai et al., 2005a). Erre történt felmérés is Debrecen környékén (Bai et al., 2005b). Itt nem képződik hulladék-hő, aminek teljeskörű hasznosítása az előző esetekben mindig kritikus pontja a kogeneráció gazdaságos működtetésének. Hulladékokra alapozva, illetve a leválasztott szén-dioxid

hasznosításával, meghatározott méretnagyság fölött gazdaságos módon lehet így zöld energiát előállítani. Különösen városi környezetben lehet ennek felhasználásával számolni, elsősorban a közösségi közlekedés céljaira (Szendrei, 2005g).



2. ábra: A biogáz önköltsége hőelőállítás esetén

Forrás: Bai et al., 2007



3. ábra: A végtermékek önköltsége kogeneráció esetén

Forrás: Bai et al., 2007

A fentiekben jelzett gazdaságossági korlátok mellett, a biogáz eljárás alkalmazása ott javasolt, ahol nagy mennyiségben, folytonosan keletkezik szerves melléktermék, így alkalmas állattartó telepek hígtrágyájának ártalmatlanítására, feldolgozóüzemek

(vágóhíd, konzervgyár) hulladékának, szennyvizének kezelésére (Marosvölgyi et al., 2004), sőt a hőhasznosítás is megoldott (Szendrei-Grasselli, 2005a). Ezeken a helyeken az állattenyésztés gazdaságosságához, illetve az élelmiszerbiztonsághoz is hozzájárul az üzemlétesítés. Ma már az etanolgyártás melléktermékei is szóba jöhetnek alapanyagként (Szendrei-Grasselli, 2006a). Környezetvédelmi (klímavédelmi) okokból nehézipari üzemek mellé is kerülhet biogázüzem, azok energiaszükségletének fedezésére (Noma et al., 2004). A kommunális szennyvizek tisztításának gazdaságosabbá tételére (a lebontás gyorsítására, illetve biogáznyerésre) szintén bevált módszer az anaerob iszapkezelés, amivel a szennyvíztisztítási folyamatsor energiahatékonysága javítható. Biogáz nyerhető még gyűjtőcsövekkel személtlerakó telepekből is (depógáz), azonban itt a lerakott anyagot nem lehet trágyaként hasznosítani.

2.1.3. A biogázjelzés mint biomasszahasznosítási mód

A biogázjelzést tágabb összefüggésbe helyezni alapanyagától, a biomasszától kiindulva célszerű. Ennek alapfeltétele a földi életet fenntartó napenergia.

Az élővilág számára a fotoszintetizáló szervezetek teszik hozzáférhetővé a napfény energiáját. A növények, algák által megkötött fényenergia szerves vegyületekkel, kémiaiilag kötött formában kerül be a táplálékláncba. A többi élő szervezet ezekből a nagy energiatartalmú vegyületekből nyeri testanyagait és az életműködéshez szükséges energiát. A biológiailag megkötött napenergia fosszilis energiaforrásokban tárolt formája pedig alapvető fontosságúvá vált az emberi civilizáció számára.

A biomassza a képződés szerint három csoportra bontható (Láng et al., 1985):

- primer produkció: a növények által előállított biomassza;
- szekunder produkció: az állattenyésztésben képződő fő- és melléktermékek;
- terciér produkció: a feldolgozóiparból és a kommunális szférából származó szerves anyag.

A biomassza egyrészt nyersanyagként, másrészt környezetünk részeként hasznos számunkra. A biomassza, a környezet részelemeként, a tájgazdálkodás, a vidék- és területfejlesztés, a természet- és környezetvédelem révén nyer sokirányú hasznosítást. A biomassza mint nyersanyag elsősorban élelmiszerként hasznos számunkra, de a mezőgazdaság és az ipar alapanyagaként is jelentős erőforrás; napjainkban pedig egyre inkább előtérbe kerül a biomassza energetikai felhasználása. A nyersanyagként

számbavehető biomassza alapvetően öt gazdasági területről származik (növénytermesztés, állattenyésztés, élelmiszeripar, erdőgazdaság, kommunális szféra) (Bai et al., 2002).

A biomassza termelése és felhasználása az élelmiszergazdaságban világszinten egyre növekvő számú népesség eltartását kell lehetővé tegye, változatlan termőterület mellett. A növénytermesztésben, az állattenyésztésben és az élelmiszeriparban a termelőknek a természeti és a közgazdasági tényezők bizonytalanságaival kell szembenézniük. Nagyon az egyenlőtlenségek: míg a világ egy része éhez, a fejlett országokban túltermelés okoz gondokat. Hosszabb távon megoldást a fejlett technológiák exportja jelenthet (Bai et al., 2002).

Az állattenyésztés a növénytermesztés főtermékei (takarmánynövények) mellett az élelmiszergazdaság melléktermékeiből is sokat használ fel; almóásra főként szalmát használunk. A talajerő-gazdálkodásnál az ember által fel nem használt biomasszát használjuk. (Bai et al., 2002).

A biomassza ipari célú termelése és felhasználása napjainkban újra előtérbe kerül. A szántóföldi növények nem élelmezési célú felhasználása a fejlett országok, illetve az EU élelmiszerfeleslegeinek növekedésével kerül előtérbe. A biopolimerek (keményítő, cellulóz, protein), illetve olajok és egyéb anyagok nagy mennyiségű, újratermelő és biológiailag lebomló anyagok forrását képezik, hasznosításukra számos új eljárás létezik (Bai et al., 2002). A **keményítő**nek fontos szerep jut a papíriparban, a textiliparban és a bioműanyagok előállításában. A tisztított keményítőt az élelmiszeripar mellett a kozmetikai és a gyógyszeripar használja fel készítményeiben. A **rost**növényeket a textilipar használja fel, de növényi rostokból bioműanyagokat is gyártanak. A szántóföldi faültetvények a bútorigarban kapnak szerepet. A növényi **olajok** nem-élelmiszeripari hasznosításban a kozmetikai és a gyógyszeriparon kívül elsősorban természetes eredetű kenő- és hidraulikaolajokként elterjedtek. **Fehérjéket** nagy mennyiségben a papír-és nyomdaipar használ fel; az egyik legolcsóbbat, a kollagént ragasztók alapanyagaként, illetve a kozmetikai iparban emulziók stabilizálására hasznosítják. A gyógyszer- és vegyipari hasznosítás, a bioműanyagok előállítása is fontos területe a fehérjék ipari felhasználásának. Az **egyéb** biogén anyagok (köztük növényi színanyagok, nedvek, gyógyhatású vegyületek) felhasználási köre is széleskörű és növekvő jelentőségű.

A biomassza energetikai célú termelése és felhasználása a megújuló energiák közül kiemelkedő szerepet tölt be mind európai, mint hazai viszonylatban (Kaltschmitt-Hartmann, 2001; Bai et al., 2002). Energia előállítására a biomassza élelmezési és ipari célú felhasználásának melléktermékei, hulladékai is hasznosíthatók valamilyen módon (Szendrei, 2004).

Hazánk teljes biomasszakészlete 350-360 millió tonna, ebből 105-110 millió tonna évente regenerálódik és újra felhasználható. Ez mintegy 1185 PJ energiának felel meg, ami több, mint az ország energiafelhasználása (1040 PJ/év). A növényekben tárolt szén kb. 30,4 millió tonna, ami meghaladja a hazai szénbányák termelésének négyszeresét. Ennek a biomassza-mennyiségnek az előállításához közvetlenül mintegy 14,8 PJ energiahordozó szükséges, így átlagosan nyolcszoros energiahatékonyság és országosan 1154 PJ, hektáronként 141 GJ energiátöbblet érhető el. Az egyéb ráfordítás, a beruházás és az emberi munka energiátartalmát is figyelembe véve összességében 4-5-szörös az energiahatékonyság.

Nemcsak a potenciális, hanem az energetikai célra ténylegesen javasolható biomassza mennyisége is nagy:

- Növénytermesztés: 7-8 millió tonna melléktermék, 0,5-1 millió tonna főtermék (repce, kukorica);
- Állattenyésztés: 7-8 millió tonna melléktermék (almos- és hígtrágya);
- Élelmiszeripar: 150-200 ezer tonna melléktermék (napraforgóhéj, kukoricacsutka);
- Erdőgazdaság: 3-4 millió tonna faanyag (tűzifa, energiaerdő);
- Települési hulladék: 20-25 millió tonna.

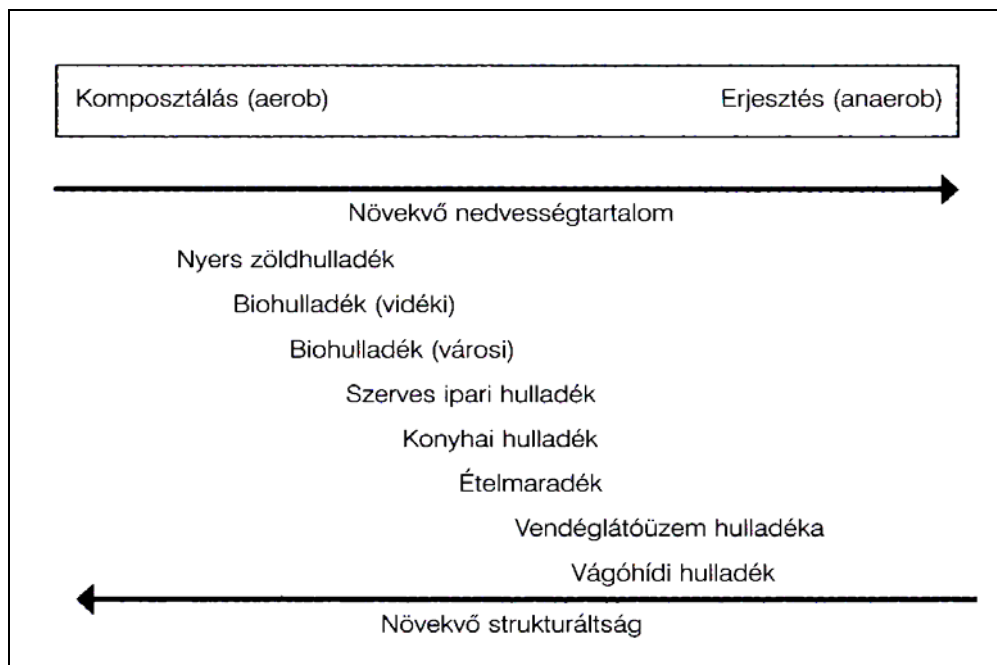
A fenti biomasszapotenciálnak csak elenyésző részét használják fel energia előállítására; a túlnyomó rész tűzifaként hasznosul (Bai, 2002). Az egyéb irányú felhasználásban sokat segíthet(ne) a megfelelő állami szabályzórendszer (Kormányos, 2005).

2.1.4. A biogázéltárás mint szerves hulladék-lebontó folyamat

A mezőgazdasági jellegű biogázüzemekben az alapanyag valamilyen állati trágya. A biogázéltárás kedvező tulajdonsága a hagyományos trágyakezeléssel szemben, hogy a búzanyagokat, csakúgy, mint a patogén mikroorganizmusokat, valamint a gyommagvakat hatékonyan semmisíti meg, mert a trágya már mezofil tartományban is tartós

hőkezelésen megy át. Előny az is, hogy az egyébként improduktív trágyakezelési beruházást gazdaságilag jövedelmezővé tudja tenni (Schulz-Eder, 2005), és ily módon az állattenyésztés és a növénytermesztés ökológiai összekapcsolásán túl ökonómiai értelemben is segíti a fenntartható gazdálkodást (Szendrei – Grasselli, 2006b).

A szerves hulladékok közül a darabosabb, szárazabb nyesedékek, biohulladékok fő felhasználási illetve kezelési területe a komposztálás (4. ábra), mintegy 30-40% szárazanyagtól kezdődően (Szendrei, 2006a). Megjegyzendő, hogy ahol az alapanyag ezt lehetővé teszi, a komposztálás fő termékének tekinthető kezelt anyag, a biotrágya kedvezőbb beltartalmi értékekkel állítható elő, ha az aerob lebontást megelőzően ill. a helyett anaerob lebontást alkalmazunk (Szendrei, 2005f).



4. ábra: Aerob és anaerob eljárásban kezelhető szerves hulladékfélék

Forrás: Schulz-Eder, 2005

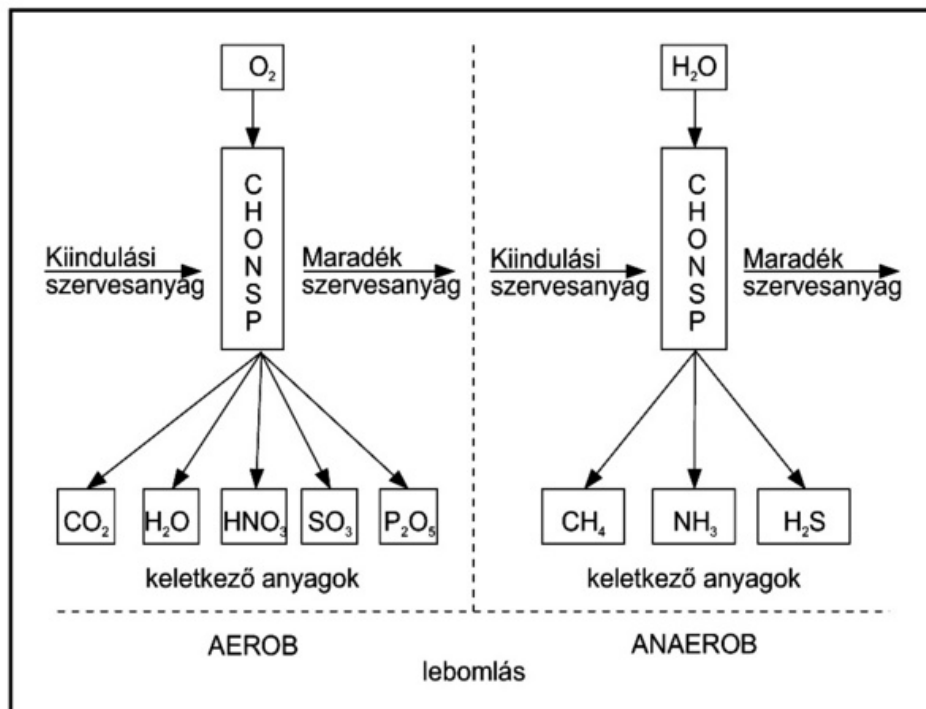
A komposztálás elvi alapjait és néhány technológiai kérdését Barótfi részletes leírása alapján foglalom össze (Barótfi, 2000).

A **komposztálás** olyan biotechnológiai eljárás, melynek három feltétele: a szubsztrát túlnyomóan szilárd vagy vízzeloldhatatlan fázisban van; felületét vízfilm vonja be; a mikroorganizmusok aerob körülmények között végzik a lebontást.

A komposztálás lényege, hogy a szerves anyagot tartalmazó hulladékok (szemét, szennyvíziszap) megfelelő környezeti feltételek mellett, elsősorban mikroorganizmusok

és oxigén hatására lebomlanak, szervesen ásványi és stabil szerves anyagok keletkeznek. A komposztálási folyamat hőfejlődéssel jár, amely az alkalmazott technológiai tényezőktől függően eléri az 50–70 °C-ot is. Ezáltal a hulladékokban jelenlevő patogén mikroorganizmusok – a spórások kivételével – elpusztulnak, a lebomlott szerves anyag (komposzt) már nem tartalmaz kórokozókat. Az eljárás végterméke a földszerű kb. 40–50% nedvességtartalmú anyag, mely humuszképző szervesanyag- és növényi tápanyag-(NPK) tartalma miatt a mezőgazdaságban a talajtermelékenység növelésére hasznosítható.

Az aerob és anaerob biodegradáció jellemző anyagi folyamatait az 5. ábra hasonlítja össze.



5. ábra: Az aerob és az anaerob lebomlás

Forrás: Barótfi, 2000

A **komposztálást befolyásoló főbb tényezők**: anyagösszetétel (bonthatóság), nedvességtartalom, levegőellátottság, tápanyagarány, az anyag(ok) keveredése, szemcsemérete.

A **komposztálási technológiák** ezeknek a tényezőknek az optimalizálását célozzák, gazdaságosan megvalósítható módon. Az egyes komposztáló üzemek (eljárások) a technológia körülményeitől az adott alkalmazási helyzettől függően több szempont

szerint is osztályozhatók. Fő besorolás szerint a következő három csoportot különböztethetjük meg: nyílt rendszer (az egész komposztálási folyamat nyílt téren megy végbe), zárt rendszer (a folyamat zárt térben folyik), és a kettő kombinációja, a részben zárt rendszer. A nyílt rendszerű technológiák az anyag-előkészítés alapján lehetnek anyag-előkészítés nélküli, illetve anyag-előkészítést alkalmazó eljárások. A zárt rendszerek az anyag-érlelés során történő mozgás szerint statikus, átmeneti és dinamikus eljárások lehetnek.

A komposztálási technológiák gyakorlati alkalmazhatóságát döntően a hulladék összetétele és minősége, a kapott komposzt minősége (nehézfém-tartalom, szerves mikro-szennyezők), valamint a kapott komposzt-termék értékesítési lehetősége. Ma a komposztálás a települési szennyvíziszapok, a mezőgazdasági hulladékok és a kertészeti, városüzemeltetési (parkfenntartás) hulladékártalmatlanítás alapanyagainak területén jellemző. A szilárd települési hulladékok ártalmatlanítására ma már csak speciális esetekben (pl. együttes komposztálás esetén, melegéögvi településeken) kerül sor.

Hazánkban a komposztálást főként szennyvíztelepen vagy a szennyvíztelepeken keletkező iszapok önálló telephelyen vagy adott hulladék lerakóhelyen történő kezelésére alkalmazzák. Az előzőekben ismertetett eljárásváltozatok közül a nyílt téri, elő és utóérleléssel összekapcsolt technológiát alkalmazzák, ahol adalékként szalmát, fűrészport, aprított fahulladékot használnak.

A komposztálás a biogázjeljáráshoz képest hosszabb ideig tart: kedvező körülmények között a teljes lebomláshoz elég néhány hét, de egy komposztálási periódus általában több mint két hónap, mivel a felhasználás előtt 4-8 hét érlelés szükséges [Ragoncza, 2007]. Egyes fejlett, gépesített technológiákhoz ugyanakkor egy hét sem szükséges. Komposztálással a keletkező 50-70 °C-os hőenergia felhasználása általában véve nem megoldott, míg a biogázjeljárás energiamérlege – lényegéből fakadóan – mindig pozitív (Domschke, 2002). Az intenzívebb technológiáknál még feltűnőbb ez a különbség a két eljárás között.

2.2. A BIOGÁZFEJLESZTÉSRE FELHASZNÁLHATÓ TÉRSÉGI BIOMASSZA-KÉSZLET SZÁMÍTÁSAI ÉS EREDMÉNYEI

2.2.1. A biogázpotenciál kutatásának hazai eredményei

A '80-as évek közepén Láng akadémikus irányításával felmérték a teljes magyarországi biomassza-termelést és –felhasználást (Láng et al, 1985). Az elsődleges biomassza-termelésen belül a növénytermesztés és az erdészet, a másodlagos biomasszán belül az állattenyésztés, a harmadlagos biomasszán belül az élelmiszeripari, a könnyűipari és a ffeldolgozási jellegű biomassza anyag- és energiaforgalmát vizsgálták. A hasznosításnál az ipari, biotechnológiai és környezetvédelmi feltételeket is elemezték. A felmérés kiemelt megállapításai:

- A főtermékre koncentrált szemlélet és gyakorlat helyett a biomassza teljesebb és gazdaságos használatát kell célul kitűzni.
- A növénytermesztési biomassza tömege az erőforrások racionális kihasználása, a megfelelő anyagi-technikai és társadalmi feltételek mellett jelentősen növelhető. Ez az erdőtelepítés, fásítás révén a hazai faanyagra is igaz.
- Az állattenyésztés takarmánytermelésének, faj- és fajtaösszetételének racionalizálásával, a tartás és a trágyakezelés (trágyafelhasználás) javításával az ágazat hatékonysága növelhető, a megfelelő makro- és mikroszabályzók mellett.

A fentiek egyértelműen bizonyítják a fontosságát a biohulladékok széleskörű és hatékony kezelésének, és ennek a biogáz-eljárás az egyik legjobb eszköze.

Alma materemből Nemessályi professzor idevágó kutatásait emelném ki, aki egy könyvet szentelt a biomasszatermelési melléktermékek felhasználásának ökonómiai elemzésére, melyben a hazai felhasználásra is közöl összefoglalást (Nemessályi, 1982).

2.2.2. Biomassza- és biogáz potenciálfelmérések Magyarországon

A biomassza felhasználására vonatkozóan több tanulmány is megjelent Magyarországról (újabbak pl. Zsuffa, 1998; Bohoczky, 2004; Unk Jné, 2004; Grasselli-Szendrei, 2007b). Ezek közül a legutóbbi országos szintre vonatkozó biomassza-energetikai felmérést ismertetem (Kohlheb et al., 2007); az országos szintnél nagyobb felbontást adók közül pedig kettőt mutatok be (Bai, 2005b; Fenyvesi et al., 2005).

Magyarország energetikai biomassza potenciálja a 2007-ig bejelentett fejlesztések tükrében címmel jelent meg a legutóbbi, országos szintre kiterjedő felmérés (Kohlheb et al., 2007). A szerzők szerint Magyarországon a megújuló energia termelésének vállalt céljai és eredményei meglepő képet mutatnak: a 2001/77 EC direktíva szerint 2010-ig csupán 7,2% a megújulókból termelt primer energia és 3,6% a zöld áram elérendő aránya; a tényszámok 2005-ben 5,2% és 4,17% voltak. Ebből arra lehet következtetni, hogy Magyarország megújuló energiatermelési potenciálja sokkal kedvezőbb, mint azt korábban feltételeztük, amit az elmúlt két évben megvalósult illetve tervezett kapacitásbővülés is alátámaszt. A növekvő számú zöldenergia-projektek jelentős mértékű szántóterület-igénybevétellel járnak, ezért az energetikai biomassza termesztésére alkalmas területeket szembeállították a jelentkező igényekkel. A biogázüzemeknél, mivel hulladékot hasznosítanak, az alapanyag területigényével nem számoltak.

Az adatgyűjtés és az elvégzett számítások alapján a Magyarországon 2007-ig bejelentett és megvalósítani tervezett, biomasszára alapozott energetikai üzemek alapanyagai 1,633 millió hektár szántóterületet igényelnek. Az összesen 4,5 millió ha szántóterületből a térképi lehatárolás nyomán 3,9 millió hektáron folytatható intenzív növénytermesztés. A magyar lakosság növekvő élelmezési – avagy endoszomatikus – energiaigényének ellátására 300-400 PJ-t kell termelni (Kohlheb et al., 2006). Ennek előállítására búzából 3,8-5 millió ha területre van szükség, vagyis (400 PJ-nál) akár a mezőgazdaságilag művelt terület nagy részére is szükség lehet (5,8 millió ha 2005-ben). (A forrásmű előző mondatba foglalt megállapítása szerint tehát a szántóterület egésze sem lenne elég a lakosság növekvő endoszomatikus energiaigényének fedezéséhez, művelési ág módosításra lenne szükség.) Tehát, ha a jelenlegi szántóterületünk 35%-át

energiatermelésre használjuk, akkor az emiatt kieső élelmiszert importálni kell. Amennyiben a termelt zöld energia az élelmiszerimportnál drágább fosszilis energiahordozó importot vált ki, nemzetgazdaságilag akár még kedvező változást is jelenthet. Az élelmiszerimport-függőség azonban élelmiszerbiztonsági és ellátásbiztonsági szempontból kockázatos lehet.

Az Európai Környezetvédelmi Hivatal modellszámításai (EEA 2006) alapján Magyarországon 2010-ig 413 ezer ha szántó vehető igénybe energianövény termesztésre, ami 2030-ra 547 ezer hektárra növekedhet, energiában kifejezve 145,5 PJ-ra. Ezzel szemben az eddigi beruházások és tervek összesen 172,3 PJ hasznosítását célozzák (Kohlheb et al., 2008). A mérleg részletesen az 5. táblázatban látható.

5. táblázat: A hazai biomassza kapacitások és a környezetbarát potenciál

Biomassza forrás	Biomassza igény és kínálat	
	jelenlegi energetikai biomassza igény, PJ	környezetbarát energetikai biomassza potenciál, PJ
Erdő	27,5	8,3
Szántó	193,3	50,2
Hulladék	5,5	87,0
Összesen	172,3	145,5

Forrás: Kohlheb et al., 2008 és EEA, 2006 (in: Kohlheb, 2007)

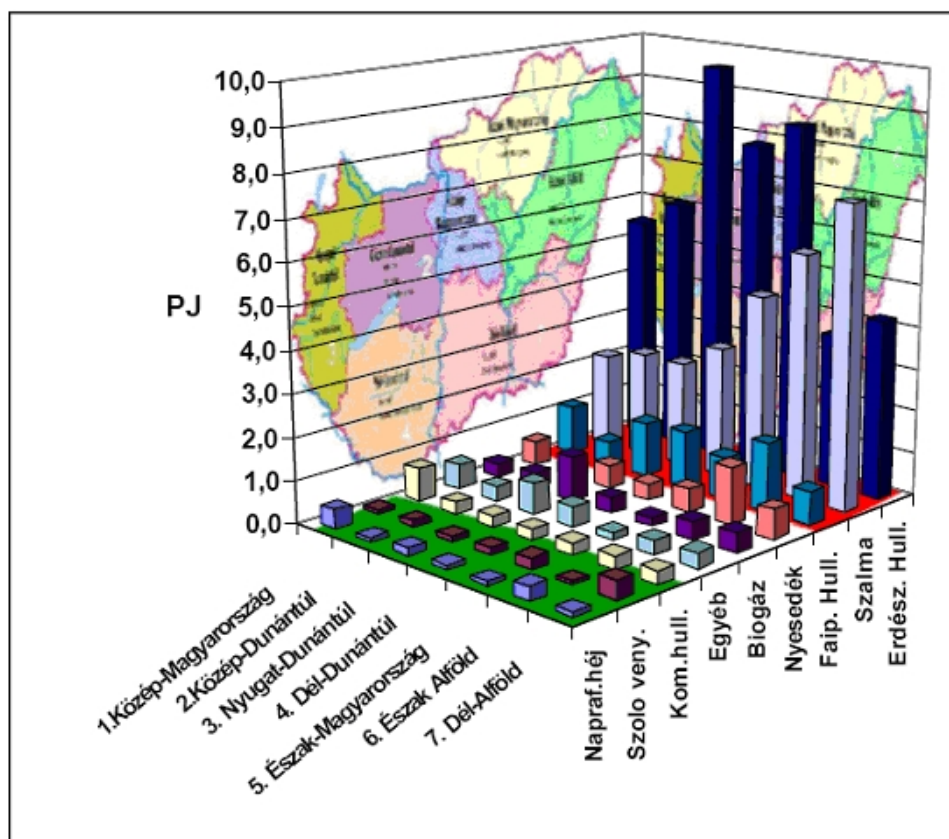
Még feltűnőbb különbségek figyelhetők meg az igény és a potenciál között a szántóterületnél, ahol 193,3 PJ áll szemben 50,2 PJ-lal. Ugyanakkor hulladékból csak 5,5 PJ-t használunk, holott 87 PJ lenne megtermelhető.

Az említett tanulmány rámutat, hogy a hazai szabályozás egyelőre a piacra bízva a feltételelesen megújítható természeti erőforrásainkat. Ez különösen az energetikai biomassza-termelés és hasznosítás területén veszélyes, ahol a leggyakrabban vall kudarcot a „piac” (a tanulmány utal Polányi Károly (2004) fiktív javak elméletére, magam a rizs árának ezévi megduplázódását említeném). A veszély egyik összetevője, hogy míg élelmiszerből „jóllakik” a lakosság, az energia-fogyasztásnak nincsenek ilyen korlátai. A felmérésben a szerzők aggályaikat is megfogalmazták: a biomassza-tüzelés, majd a biodízel-alapanyagok (2007-ben a repcetermesztés területe ugrásszerűen megnőtt) termelésének növekedése, megfelelő szabályozás híján, veszélyeztetheti hazánk természeti erőforrásait és élelmiszer-önellátásunk.

A fentiek alapján az is megállapítható, hogy hazai élelmiszerfogyasztásunk és gabonafelhasználásunk trendjének megvizsgálásával nagyobb biztonsággal lehetne

meghatározni az energiatermelésre felhasználható földterület nagyságát. A dolgozat témája szempontjából a hulladékban rejlő energiapotenciál kihasználatlansága emelhető ki (lásd pl. Barta, 2006), a hulladékokból termelt energia – és a biogáztermelésnél ez a szokásos – sem termőterületet, sem vizet, sem egyéb fontos erőforrást nem vesz igénybe, leszámítva a létesítés tőke- és területigényét, illetve az üzemeltetés munkaerőigényét.

A **régiós felbontást tartalmazó felmérések** közül Fenyvesi és munkatársai (2005) megvizsgálták, válhat-e Magyarország Európa biomassza-energetikai ellátójává. Többirányú felmérésükben területi felbontást is alkalmaztak: az előbbieken idézett felméréseken túl itt már pl. az észak-alföldi régió biogázpotenciáljára is leolvasható energiaérték (számításaik szerint mintegy 0,5 PJ) (6. ábra). A 6. táblázatban összesített eredmények szerint országosan 3,2 PJ/év biogázpotenciállal lehet számolni.



6. ábra: Az energetikai célú melléktermékek biomasszaféleségenként és régióként

Forrás: Fenyvesi et al., 2005

6. táblázat: A reálisan hasznosítható biomassa mennyisége

Alapanyag	Energiatartalom (PJ/év)
<i>Erdőgazdálkodási és faipar melléktermékei + tűzifa</i>	53,1
Erdészeti fő- és melléktermék (tűzifa, erdei apríték)	45,3
Faipari melléktermék	7,8
<i>Mezőgazdasági melléktermékek</i>	37,9
Szalmafélék	27,7
Napraforgóhéj	1,4
Gyümölcsfa nyesedék	4,4
Szőlészetek venyigéi	1,4
Egyéb anyagok	3,0
<i>Biogáztermelés</i>	3,2
Állati eredetű melléktermékek	1,7
Szennyvíziszapból	0,9
Kommunális hulladéklerakón	0,6
<i>Kommunális szerves hulladék</i>	2,5
Összesen	96,7

Forrás: Fenyvesi et al., 2005

További adatokat tudhatunk meg a régióban a biogáz céljára felhasználható alapanyagokról és azok energiatartalmáról Bai Attila munkáiból (Bai et al., 2002; Bai, 2005a; Bai, 2005b; Bai, 2005c; Bai et al., 2005b; Bai, 2007). A 7. táblázatban látható, hogy az alapanyagok összes mennyiségét az Észak-alföldre vonatkozóan az összesen 123 PJ energia 6%-át képviseli az almos trágya, 2%-át a hígtrágya, és 27%-át a kommunális hulladék. Az ezekből nyerhető biogáz technikai potenciálja 15 PJ/év, a jelenleg felhasznált mennyiség 12 PJ/év.

Régiós felbontáson túli felmérések is készültek hazánkban. Meg kell azonban jegyezni, hogy bár biomassa alapú energiatermelésre jelent már meg felmérés egészen nagy felbontással is (Juhász, 2003; Grasselli et al., 2004; Grasselli, 2004a; Grasselli-Szendrei, 2005a; Unk Jné, 2005; Juhász, 2006; Grasselli et al., 2006a; Grasselli-Szendrei, 2006a), biogázzal kapcsolatos megyei szintű felmérés nem található a szakirodalomban, ezért szerepel a kutatási céljaim között megyei szintű felbontással bíró számítás megalkotása. A biogázpotenciál felmérését, az üzemméretek és a logisztika számításait egy fajra (Szendrei, 2005b), egy szűkebb területre (Szendrei – Grasselli, 2005b) szorítkozó, és az állatállomány nagyságát Hajdú-Biharban vizsgáló tanulmányok (Szendrei, 2006b), alapozták meg.

7. táblázat: Az energetikai biomassza-potenciál hazánkban és az Észak-Alföldön

Kategória		Me.	Magyarország	Észak-Alföld
Elméleti potenciál	Szilárd biomassza	Mt	36	7,5
		t/ha	3,85	4,22
	Folyékony biomassza	M m³	571	49
		m³/ha	61,4	27,6
	Előállítható energia	PJ	942	123
		GJ/ha	101	69
	Ebből: erdő	%	12	9
	növterm. főterm.	%	15	25
	növterm.mellter.	%	22	31
	almos trágya	%	3	6
	hígtrágya	%	1	2
	élelm.ipari hull.	%	0,0	0,0
kommunális hull.	%	47	27	
Technikai potenciál	Előállítható energia	PJ	297	51
	Ebből: közvetlen eltüzelés	%	67	76
	biobrikett	%	3	2
	biogáz	%	26	15
	biodízel	%	2	6
	bioetanol	%	2	1
Jelenlegi felhasználás	Előállított energia	PJ	44	4
	Ebből: közvetlen eltüzelés	%	93	88
	biobrikett	%	1	0,0
	biogáz	%	6	12
	biodízel	%	0	0
	bioetanol	%	0	0

Forrás: Bai, 2005b

2.3. A BIOGÁZTERMELÉS LOGISZTIKAI ÖSSZEFÜGGÉSEI

A biogázjeljárás alkalmazásának legalapvetőbb feltételei: az alapanyagellátás és a felvevőpiac biztosítottsága, valamint a technológia gazdaságossága.

A technológia gazdaságos voltára elméleti igazolás található gazdaságossági számítások nyomán (ifj. Sinóros-Szabó – Maniak, 2005). Gyakorlati bizonyítékot a működő szennyvíztelepi biogázreaktorok, és az európai szinten is nagyméretű nyírbátori biogázüzem (Petis, 2004) ad. Külföldi (Niebaum–Döhler, 2005) és hazai körülményekre végzett modellvizsgálatok szerint (Bai et al., 2007) a különböző mérettartományokban (kisüzemi: 55 és 100 kW_{el}, középüzemi: 300 és 500 kW_{el}, nagyüzemi: 1000 és 1672 kW_{el}) a biogázberuházás megfelelő megoldásokkal már a jelenlegi közgazdasági feltételek mellett is gazdaságosan megvalósítható.

Kisebb területre is történtek vizsgálatok a biogázpotenciál mennyisége és területi eloszlása, a biogázpotenciál kihasználásához szükséges szállítási munka megállapításához. A felmérés kiindulópontja az volt, hogy a jövő a helyi, decentralizált energiaellátásé, ahol az energia előállítása a helyi fogyasztók közelébe települ. A számításokban a Debrecen körüli körzet biogázpotenciálját és annak koncentrációját vizsgáltuk (Bai et al., 2005b).

2.4. A BIOGÁZELJÁRÁS HATÉKONYSÁGÁNAK NÖVELÉSE

A biogáz előállítás céljából létesítendő bioreaktorok környezetében rendelkezésre álló biomassza potenciál üzemenként igen eltérő összetételű is lehet. Ugyanakkor az egységnyi térfogatú biomasszából kinyerhető biogázmennyiség számos tényező függvénye, ilyenek a technológiai hőmérséklet, elméleti benntartózkodási (lebomlási) idő, mikrobiológiai kezelés, rátöltések és leürítések gyakorisága, keverési ciklusok (gyakoriság, időtartam), a lebomló közeg fizikai és kémiai tulajdonságai (Kalmárné et al., 2007). Az optimális üzemi technológiai paraméterek és a maximális biogázhozamot eredményező receptúrák meghatározása céljából indokolt az üzemek létesítése előtt laboratóriumi ill. az üzemi körülményeket reprezentáló, növelt léptékű kísérletek elvégzése.

2.4.1. A biogázkihozatal növelésének kísérletes kutatási-fejlesztési lehetőségei

Az alábbiakban a gázkihozatal meghatározásának módszereit hasonlítom össze, német forrás (Schwab, 2005) alapján.

A **szakaszos üzemű kísérletek** (batch-eljárás) megbízható módszerek a biogáz- és metánhozamok megadására, amennyiben egységes eljárás szerint hajtják végre. Az eljárásnál a maximális metánkihozatal értékének megállapítása a cél, mely értékek a működő üzemeknél alacsony szervesanyagterhelésnél mérhető biogázkihozatalnak felelnek meg (pl. 0,5 kg sze.sza./m³·d) (8. táblázat).

A szakaszos üzemű kísérletek az anaerob lebontás sebességének és a vizsgált anyagok gátló hatásának kvalitatív megítélést is lehetővé teszik, azonban a kísérletek eredményeit a felhasznált oltóiszap mikrobiológiai aktivitása is befolyásolja. Nem állapítható meg a folyamat stabilitása, a szubsztrátok mono-erjeszthetősége a különböző folyamatjellemzők mellett, a pozitív és negatív szinergiahatások és a fermentorterhelés határai sem.

8. táblázat: A szakaszos üzemű kísérletek előnyei és hátrányai

Előnyök	Hátrányok
Alacsonyabb műszaki ráfordítás	Nem szimulálható a működő üzemek tartózkodási ideje és fermentorterhelése
Nagy ismétlési szám lehetséges	A lebontási folyamatok nem azonos idő alatt játszódnak le
Egy szubsztrátcsoporton belül könnyen standardizálható	Gyakran szükséges a szubsztrátok előkezelése a kísérletekhez (aprítás)
Hamar kapunk eredményeket (30-50 nap)	Az eredmények átvihetősége (nagy)üzemi méretekre korlátozott
Költségtakarékos	
Alkalmazási terület	
Standardizált összehasonlítás egy szubsztrátcsoporton belül a megfelelő szubsztrátok és szubsztráttulajdonságok megvizsgálására	
A szubsztrát maximális biogáz- és metánkihozatalának megadása	
Különböző szubsztrátok alkalmasságának tudományos vizsgálata	

Forrás: Schwab, 2005.

A **folyamatos üzemű kísérletek** (rátöltéses módszer) alkalmasak a fermentorterhelés, tartózkodási idő, többfázisú folyamatirányítás, folyamatstabilitás, hirtelen terhelésváltozás, beindítási folyamatok és hasonlóak szimulációjára, és jól átültethető eredményeket adnak (9. táblázat).

9. táblázat: A folyamatos üzemű kísérletek előnyei és hátrányai

Előnyök	Hátrányok
A tartózkodási idő és a fermentorterhelés szimulációja jól megoldható	Nagy műszaki ráfordítás
	A standardizálhatóság korlátozott, mivel a biológia alkalmazkodása következik be
A lebontási folyamatok hasonlóak az üzemi körülményekhez	Alig van lehetőség az ismétlésre, és az eredmények legkorábban három tartózkodási idő után állnak rendelkezésre
Minden folyamatjellemző beállítható és megfigyelhető	A táplálás gyakoriságának és a keverés intenzitásának szimulációja csak korlátozottan lehetséges
Az erjesztés biológiája alkalmazkodik a beállított feltételekhez	Szilárd anyag bevitele csak nehezen szimulálható
	Költségintenzív
Alkalmazási terület	
Az eljárások és szubsztrátok folyamatbiológiai és eljárástechnikai kérdéseinek vizsgálatai	
Optimalizálási kísérletek	
Az eljárás biogáztermelésének meghatározása a szubsztráttal és a szubsztrátkeverékekkel összefüggésben	
Üzemméretezési javaslatok	
Alapkutatások	

Forrás: Schwab, 2005.

A reaktorformákra, a táplálás gyakoriságára és a keverés intenzitására nézve azonban csak korlátozott érvényű kijelentésekre képes. A nagy idő- és személyzeti ráfordítások miatt igazi ismétlésekre ritkán kerül sor, ami a statisztikai kiértékelhetőséget korlátozza. Nem célszerű a folyamatos üzemű kísérletek alkalmazása, ha a vizsgált anyag csak korlátozottan áll rendelkezésre.

A **számítási modellek** értékes segítséget nyújthatnak megbízható mérési eredmények hiányában a feltételezett gázkihozatalról ill. a végzett kísérletek a felhasználásra kerülő szubsztrátfajtát és tulajdonságait nem kielégítően írják le. A modellek meglévő laboreredmények esetén is összehasonlító szubsztrátértékelést tesznek lehetővé, jó tervezési alapot szolgáltatnak egy üzemtervhez ill. döntéselőkészítéshez egy adott szubsztrát felhasználására (10. táblázat). A modellek verifikálását és fejlesztését az egyre növekvő mennyiségű (szakaszos és folyamatos üzemű) laboreredmények illetve üzemi eredmények szolgálják.

10. táblázat: A számítási modellek előnyei és hátrányai

Előnyök	Hátrányok
Egyszerű és széles körben alkalmazható	A szubsztrátok kémiai összetételének adatai szükségesek (pl. Weend-i analízis és emészthetőségi együttható)
A takarmányok beltartalmi mérései kiterjedten állnak rendelkezésre ill. olcsón kivitelezhetők	A modell verifikálása szükséges
Azonnal ad eredményt	Az eredmény használhatósága a modell minőségétől függ
Olcsó	Részben kiegészítő labor-standardkísérletek szükségesek
Alkalmazási terület	
Írányszámok a szubsztrátválasztáshoz és az üzemméretezéshez	
A biogázképződés elméleti megadása laborértékek és analógiák alapján	
Különböző szubsztrátcsoportok előzetes kiválasztása	

Forrás: Schwab, 2005.

A módszerek között az aktuális feltételek alapján kell dönteni. A szubsztrát kiejlesztésének dinamikája szakaszos üzemben sokkal egyszerűbben megfigyelhető, és elég a folyamat elején egy viszonylag csekélyebb anyagmennyiség. Folyamatos üzemű vizsgálatok még léptéknövelés nélkül is folyamatos alapanyag-utánpótlást igényelnek. Félüzemi léptékű vizsgálatokhoz pedig (a nagy anyagmennyiségek okán is) célszerű lehet a tervezett vagy a már működő biogázüzem helyszínére, az alapanyag forrásához telepíteni a kísérletet.

2.4.2. A biogázfejlesztés rendszerintegrációjának lehetőségei

A biogáztermelés egyik fontos kérdése az alapanyag szárazanyag-tartalma. A szakirodalom szerint a 2% szárazanyag-tartalmú gáztermelés (kommunális szennyvizek) energiatermelés céljára nem gazdaságos, a 8-12% szárazanyag-tartalmú hígtrágyák a leginkább megfelelőek a folyékony eljárás számára (Kissné, 1983). A 12-16% szárazanyag-tartalmú alapanyag is kezd elterjedni, bár itt a baktériumok törzseinek mennyiségét és arányát kívánatos lenne (egyszerűen) szabályozni, 20% felett pedig már műszaki akadályai vannak folyékony eljárásnak.

A szárazanyag-tartalmat és a biogáztermelést vizsgálva a sertéstrágya túl híg, a szarvasmarha trágyája túl sűrű. Magától adódik a kérdés: nem lehetne-e a kettőt összekeverni? Ez a szárazanyag-tartalom növeléséből (optimalizálásából) következően a gáztermelést is növelné, mind egységnyi reaktortérfogatra, mind az állatállományra vetítve. Emellett a kevert trágya erjesztése a mikroszervezeteknek biztosított kedvezőbb tápanyag-összetétel révén is növeli a fejlődő gáz mennyiségét. A kérdés megválaszolásával számítható, hogy egy térség mezőgazdaságának energiatermelő képessége mennyivel javítható az erőforrások megfelelő kombinációjával (pl. az alapanyagok keverése).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. A BIOGÁZFEJLESZTÉSRE FELHASZNÁLHATÓ TÉRSÉGI BIOMASSZA-POTENCIÁL SZÁMÍTÁSA

3.1.1. A trágyatermelés és a biogázpotenciál együtthatói a vizsgált állatfajoknál

Biogáztermelés szempontjából, egy térségi felméréshez, a legnagyobb állománnyal és legalkalmasabb trágyával rendelkező gazdasági állatfajokat célszerű figyelembe venni, ide sorolható a szarvasmarha, sertés, juh, tyúk és pulyka. Ezek istállózott tartásban, koncentrált, nagyüzemi technológiával tartott fajok, így a trágyakezelés és -elhelyezés problémája is koncentráltan jelentkezik. Hasznosítás és a műszaki megoldások gazdaságos alkalmazása szempontjából meghatározó, hogy a trágya egy helyről nagy mennyiségben legyen összegyűjthető. A víziszarnyasok és a ló trágyája nagy területen, szétszórva jelentkezik, az egyéb állatfajok pedig térségi szinten nem vehetők figyelembe.

A számításokhoz elsőként az egyes állatok trágyatermelésének jellemző mutatóit és az ezekre alkalmazott számításmenetet, majd az egyes állatfajok trágyáinak fajlagos gázhozamát tekintem át.

A szarvasmarhatrágya termelődésének és beltartalmi mutatóinak vizsgálatánál a rendelkezésemre álló alapadatok (Függelék, 40. táblázat– 43. táblázat) alapján a trágyatermelési, beltartalmi, állományösszetételi és biogázkihozatali mutatókból alkottam egyesített mutatót. A számítások során (Függelék, 44. táblázat– 49. táblázat) az egyes hasznosítási és korcsoportok trágyatermeléséből indultam ki. Az anyagcseretermékek csoportokra bontott fajlagos termelése és a trágyaalkotók beltartalma ismeretében meghatároztam az egyes korcsoportok napi termelését. Ehhez járult az egyes tartásmódokat jellemző napi alomfelhasználás, illetve az ezzel a trágyába jutó szárazanyag és szerves szárazanyag számítása az egyedtömeg arányában. Itt egy megyei felmérés alapján (Vántus, 2003) a tehén esetében a pihenőboxos tartás, a többi csoport esetében a mélyalmos tartás adatait alkalmaztam. Az állatok anyagcseretermékei és a felhasznált alom összes tömegben és beltartalomban is összesített értékei adták az állatonkénti napi trágyatermelést. Ezt azután az állomány

korcsoportjainak állatlétszáma alapján az állományra vetítve tudtam megadni napi és éves mennyiségekben. Ezután a 100 egyed (elméleti) állomány eredményeit számítottam át egy (400 kg-os) egyed illetve egy nagyállategység trágyatermelésére.

A sertétrágya termelődése és beltartalmi mutatóinak számításánál a kiindulópont egy 1200 db-os egységtelepre megadott mérési adatok voltak, amely a Magyarországon leginkább elterjedt hígtrágyás rendszerre jellemző (Fenyvesi et al., 2003, ill. Függelék, 50. táblázat). Az egységtelepre megadott állományösszetétel és egyedtömegek alapján az állomány és a trágya össztömegéből számítottam ki egy (57 kg-os) átlagegyed illetve egy nagyállategység trágyatermelését, 4,5%-os szárazanyagtartalmú hígtrágyával számolva.

A juhtrágya termelődése és beltartalmi mutatóinak számításánál, a statisztikai számbavételnek megfelelően, az átlagos egyedtömeg 35,7 kg volt. Így, a kérődzők hasonló emésztési tulajdonságaiból kiindulva, a szarvasmarha trágya mennyiségi és beltartalmi adatait tömegarányosan számítottam át a juhra.

A tyúktrágya és a pulykatrágya termelődése és beltartalmi mutatóinak számításánál a baromfiürülék éves és napi termelt mennyiségéből és a trágyaalkotók beltartalmi adataiból számítottam ki az állatonkénti éves trágyatermelés mennyiségi és beltartalmi értékeit (Függelék, 51. – 53. táblázat). Az alapul vett technológia a két hasznosítási irány jellemző mélyalmos illetve hígtrágyakihúzásos rendszer termelési adatait átlagolva, 2 kg-os átlagtömeggel számolva kaptam az állatonkénti, egységállományonkénti és nagyállategységre vetített termelési adatokat. A pulyka trágyatermelésénél a – mélyalmos tartású – broilercsirke adataiból indultam ki, az átlagegyedre, 1000 darabos egységállományra és nagyállategységre számított fajlagos mutatókat 10 kg-os átlagos egyedtömeggel kaptam.

A vizsgált állatfajok trágyájának fajlagos biogázpotenciáljának számításánál az előzőekben kiszámított fajlagos trágyatermelési adatokat a szakirodalmi biogázkihozatali együtthatókkal (Függelék, 54. táblázat) szorozva kaptam végül az egyes állatfajok fajlagos biogázpotenciálját.

3.1.2. Térségi biogázpotenciál meghatározása Hajdú-Bihar megyében

Az egyes állatfajokra meghatározott biogázhozam-együtthatók kiszámítása és az állatlétszám ismeretében kiszámítható az állati trágya és a belőle fejleszthető biogáz mennyisége. A megyei biogázpotenciál felmérésénél nem vettem figyelembe a juhot és a baromfi fajokat. A **juhok** trágyakezelése az évszázados mélyalmos technológiával ma is megoldott. A **baromfi fajok** trágyája nagy mennyiségben tartalmaz mind ülepedő (homok), mind felúszó, nehezen bomló (toll, szalma) anyagokat, amelyek a nedves technológiájú üzemekben gondot okoznak. Ezenkívül az állomány igen nagy ingadozásokat mutat, a tyúk létszáma például öt éven belül 2 millió és 4 millió között változott, ami az előrejelezhetőséget nehezíti meg. Ezért a Hajdú-Bihar megyére kiterjedő felmérés során a figyelembe vett állatfajok körét a szarvasmarhára és a sertésre szűkítettem.

Az 1995-2005 évi adatok alapján (Függelék, 55. táblázat) meghatároztam Hajdú-Bihar megyében a **szarvasmarha- és sertésállomány** létszámának, illetve létszámuk különbségének és összegének jellemző statisztikai mutatóit ezer állatban illetve nagyállategységben. Az **állományváltozás ingadozásait** lineáris trend számításával egyenlítetttem ki, és vizsgáltam az éves változást, valamint a trendtől való eltérések nagyságát. Összehasonlítottam a bázisév (1995), a települési adatokat szolgáltató mezőgazdasági összeírás (2000) és az utolsó év (2005) adatait, valamint a trendadatokat. A változás irányának figyelembevételéhez, az állatállományoknak a 1995-2005 évek átlagánál közelebbi értékkel történő jellemzéséhez a számításokhoz az utolsó évhez tartozó trendadatot használtam fel a megyei állatlétszám adataként.

A **településenkénti állatlétszám** számításához a 2000. évi mezőgazdasági összeírás településsoros adatait vettem alapul, oly módon, hogy az egyes települések adatait a 2005. évi trendértéknek a 2000. évi tényadathoz képesti százalékos értékével szoroztam (ez szarvasmarha esetében 92,0%, sertésnél 102,0%).

A fentiekben meghatározott állatlétszám és a vizsgált fajok biogáztermelési együtthatói alapján fajonként és településenként meghatároztam a **Hajdú-Bihar megyében keletkező szarvasmarha- és sertés trágya mennyiségét**, valamint az abból **fejleszthető biogáz mennyiségét és eloszlását az egyes települések között.**

3.2. A BIOGÁZTERMELÉS LOGISZTIKAI (ÜZEMTELEPÍTÉSI) SZEMPONTJAINAK VIZSGÁLATAI

3.2.1. A biogáztermelés logisztikai szempontjai Hajdú-Bihar megye példáján

A megyei biogázpotenciál településenkénti értékei alapján 500, 300 és 100 kW_{el}-os minimális mérethatárral vizsgáltam a Hajdú-Bihar megye településeinek biogázpotenciáljához tartozó, **szállítás nélkül és szállítással elérhető üzemméreteket**, az adott alsó üzemi mérethatárral és településstruktúrával **kihasználható biogázpotenciált**, valamint mindennek a **szállítási igényét**.

A térségi lehetőségek megvizsgálásának első lépcsője a **szarvasmarha- és sertésrágyára alapozott biogázfejlesztés lehetséges üzemméreteinek** meghatározása volt, **alapanyszállítás nélkül**. A biogázpotenciál számításánál az egyes településekre kapott biogázmennyiségeket átszámítottam energiaértékre (60% CH₄, 22 MJ/m³ energia alapul vételével), majd az így kapott energiaértékeket átszámítottam a gázmotoros energiatermelés mutatóival üzemnagyság-értékekbe. Az energiából teljesítményre átszámításnál évi 8000 üzemórával (91,3%-os kihasználtság) és 35%-os elektromos hatásfokkal számoltam, az üzemnagyságot elektromos teljesítményben (kW_{el}) kaptam. Az egyes településekre adódó üzemnagyságot ezután Excel-függvényekkel szűrtem, meghatározva azokat a településeket, amelyek az 500, 300 és 100 kW_{el}-os **alsó teljesítményhatárokat** teljesítették. Az eredménytáblából meghatároztam az egyes mérethatárokon felüli településeken létesíthető biogázüzem-méreteket Hajdú-Bihar megyére jellemző fajlagos és összesített mutatóit: **összteljesítmény**, minimális és átlagos **üzemnagyság**, a biogáztermelésbe bevonható **települések száma, hányada**, valamint az elérhető **biogázpotenciál-kihasználás**. Ugyanezen mutatókat kiszámítottam a kategóriahatárokkal létrehozott öt **méretosztályra is**.

A térségi lehetőségek második lépcsőjében meghatároztam **a szarvasmarha- és sertésrágyára alapozott biogázfejlesztés lehetséges üzemméreteit alapanyszállítással**. Az egyes erőművek méretét, és ezzel (össz)teljesítményét tovább **növelni az alapanyszállításával** lehet. Megvizsgáltam, hogy az 500, 300 és 100 kW_{el}-os minimális teljesítményhatárokat teljesítő településekre – mint központokba – alapanyszállítással

odaszállításával milyen mértékben lehet kihasználni a rendelkezésre álló állati trágya energiatartalmát, és ehhez mekkora szállítási igény párosul. A kiejert fermentátum, azaz szerves trágya elszállítása, illetve visszaszállítása az állattartó telepre nem szerepel a kalkulációban, mivel azt a szervestrágyázás rendszerében tartom értékelhetőnek. (Erre vonatkozó számításaim a 47. oldalon, a 3.2.2 pontban találhatóak.)

A szállítási munka mennyiségének megállapításához szükség volt az egyes települések közötti távolságok ismeretére. Ezeket internetes térképalkalmazás segítségével gyűjtöttem ki. Körzetközpontnak a kérdéses mérethatárt teljesítő településeket jelöltem ki. Így az 500 kW_{el}-os határhoz 7 település lett körzetközpontnak kijelölve, a 300 kW_{el}-os határhoz még további három település járult, a 100 kW_{el}-ot teljesítő települések esetén pedig 32 körzetközpontot jelöltem ki. A körzetközpontként kijelölt településekhez táblázatokat készítettem, melyekben a megye összes települése szerepelt (betűrendben). A számolótáblák szerkezetét a 11. táblázat szemlélteti.

11. táblázat: A számolótáblázat felépítése az első centrum (C1) adataival

Sor-szám	Település neve	Beépíthető teljesítmény	Trágyamennyiség	Távolság	Szállítási munka	Fajlagos szállítási munka
		kW _{el}	t	km	tkm	tkm/kW _{el}
C1	Álmosd	52,6	4 887,7	60,4	295 214,2	5 612,2
C1	Ártánd	8,5	954,6	84	80 188,1	9 398,0
C1	Bagamér	62,6	4 886,4	56,5	276 080,6	4 408,2
...						
	Összesen/ átlag	13 279	1 262 749	54,2	46 790 362	3 523,5

Forrás: saját számítások

Az adott centrumhoz tartozó mindegyik település sorában szerepel az oda telepíthető biogázerőmű teljesítménye (kW_{el}), az ahhoz tartozó trágyamennyiség (t), és a távolság attól a körzetközponttól, amelynek táblázatában szerepel (km). A távolság és a trágyamennyiség szorzata adja a trágya körzetközpontba szállításához szükséges szállítási munkát (tkm). Az utolsó oszlopban a települési trágyamennyiség központba szállításának a trágyából előállítható energiára vetített fajlagos szállítási munkája (tkm/kW_{el}) található.

A kijelölt körzetközponokra elkészített számolótáblákból egy újabb számolótáblába a 82 településhez azt a sort emeltem át, ahol az adott település mellett a legkisebb fajlagos szállítási munka szerepelt (12. táblázat). Így mindegyik település ahhoz a centrumhoz volt rendelve, amelyre a legkisebb fajlagos szállítási munkával hordhatta be a trágyáját.

12. táblázat: A számolótáblázat az összes centrum adatsorainak rendezése után

Sor-szám	Település neve	Beépíthető teljesítmény	Trágyamennyiség	Távolság	Szállítási munka	Fajlagos szállítási munka
		kW _{el}	t	km	tkm	tkm/kW _{el}
C3	Álmosd	52,6	4 887,7	35,2	172 045,4	3 270,7
C2	Ártánd	8,5	954,6	25,5	24 342,8	2 853,0
C3	Bagamér	62,6	4 886,4	31,4	153 432,4	2 449,9
...						
	Összesen/átlag	13 279	1 262 749	20,2	11 953 725	900,2

Forrás: saját számítások

A fajlagos szállítási munka alapján sorbarendezett települések adatait tartalmazó számolótáblát tovább bővítettem a kumulált szállítási munka, a kumulált beépíthető teljesítmény és a fajlagos szállítási munka oszlopával. Ez utóbbi a centrumok sorai után, azaz a legközelebb eső települések trágyájának bevonása esetén volt a legkisebb értékű, míg az oszlop aljára elérte a sorbarendezés nélkül a 82 településre jellemző értéket. A negyedik oszlopban a maximális összes teljesítmény arányában megadott potenciálkihasználtságot tüntettem fel. Ez a táblázat foglalja össze, hogy az 50, 60, 70, 80, 90 és 100%-os potenciál-kihasználást az egyes minimális üzemméret-határoknál hány település illetve központ bevonásával, milyen átlagos szállítási távolság, mekkora trágyamennyiség, összteljesítmény, összes szállítási munka és kumulált fajlagos szállítási munka tartozik (13. táblázat). Az adatok alapján határozható meg az egyes potenciál-kihasználási szintekhez tartozó átlagos üzemméret is.

13. táblázat: A számolótáblázat a potenciálkihasználással bővítve

Sor- szám	Település neve	...	Fajlagos szállítási teljesít- mény	Kumulált szállítási munka	Kumulált beépíthető teljesítmény	Fajlagos szállítási munka	Potenciál- kihaszná- lás
			tkm/ kW _{el}	Σtkm	ΣkW _{el}	Σtkm/ ΣkW _{el}	kW _{el} /kW _{el} (%)
	...						
C3	Bagamér	...	2 449,9	8 035 549	12 113,4	663,4	91,2%
	...						
C2	Ártánd	...	2 853,0	8 815 177	12 415,6	710,0	93,5%
	...						
C3	Álmosd	...	3 270,7	10 164 345	12 861,8	790,3	96,9%
	...						
	Összesen / átlag		900,2	11 953 725	13 279	900,2	100,0%

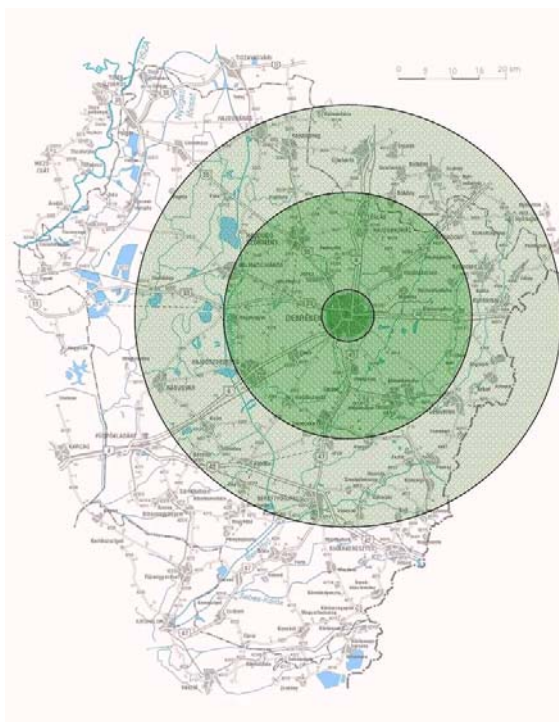
Forrás: saját számítások

Végül megvizsgáltam, hogy a 100, 300 és 500 kW_{el}-os mérethatároknál a szállítás nélkül elérhető összteljesítményeket további 0,5, 1 illetve 1,5 MW_{el}-tal növelve, azonos mennyiségű illetve energiatartalmú trágya odaszállítása az egyes méretek kategóriáknál mekkora összteljesítményt és alapanyagpotenciál-kihasználást eredményez, illetve mekkora összes és fajlagos szállítási munkával jár.

3.2.2. A logisztika energiamérlegének vizsgálata

Debrecen mint körzetközpont körül a biogázpotenciál koncentrációját, területi eloszlását vizsgáltam, a biogázpotenciál kihasználásához szükséges szállítási munka megállapításához. A vizsgálatok alapfeltevése az volt, hogy a jövő a helyi, decentralizált energiaellátásé, ahol az energia előállítása a helyi fogyasztók közelébe települ (Szendrei – Grasselli, 2006c).

A vizsgált terület lehatárolásához a településeket két (három) csoportba (körbe) soroltam (7. ábra), amit a településszerkezet, illetve a megye határmenti fekvése indokol.

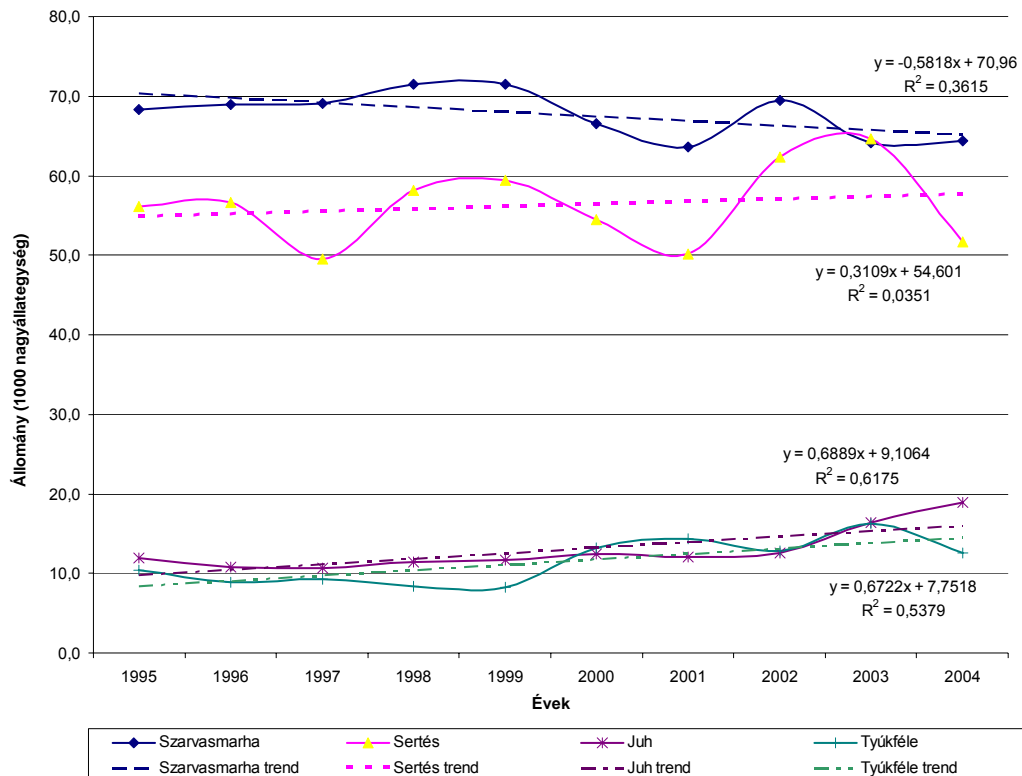


7. ábra: A vizsgált terület elhelyezkedése

Forrás: saját

A nagyobb, mintegy 40 km sugarú körnek az országhatár a korlátja, ezt a távolságot növelve már határon túli települések is beleesnének a körbe. A kisebb, mintegy 20 km sugarú kör vizsgálatát az indokolja, hogy a Debrecen környéki hajdúvárosok többsége itt található. A harmadik „kör” maga Debrecen, mintegy 5 km-es sugárral lehatárolva. Ez a terület eredetileg nem képezte a vizsgálat tárgyát, az adatok elemzése nyomán kapott jelentőséget (Szendrei, 2005h).

A települések állatállománya a 2000. évi mezőgazdasági összeírásból származó alapadatait az állományváltozás KSH-adatokból számított megyei trendjével aktualizáltam (8. ábra). A számítás szarvasmarha, sertés, juh és tyúk esetében volt tényadatokkal elvégezhető, a pulyka létszámát kalkuláltam.



8. ábra: A szarvasmarha, sertés, juh és tyúk állománya Hajdú-Bihar megyében

A pulykalétszámot a tyúkfélék, illetve a 14. táblázatban feltüntetett egyéb baromfi adataiból számított állományarányok alapján becsültem. A faj létszámát első lépésben a tyúk/pulyka aránnyal (8,08 %) számítottam. Ahol a tyúklétszámból kiszámított pulykaállomány meghaladta az összes egyéb baromfi nagyállategységben kifejezett állomány nagyságát, ott a pulyka fajnak az összes egyéb baromfi állományához viszonyított nagyállategység-arányával (51,96 %) számoltam. Így a vizsgált településeken a 2004. decemberi 4,5 milliós tyúklétszámmal szemben mintegy 200 ezres pulykalétszámot kaptam, ami 4,9 %-os arányával óvatos, alulról közelítő becslést jelent.

14. táblázat: A pulykalétszám a baromfifélék arányában Hajdú-Bihar megyében

Mutatók	Me.	Tyúkféle	Liba	Kacsa	Pulyka	Összes egyéb
Állomány	1000 db	4 928	338	60	398	796
Állomány	nagyállat-egység	19 712	6 760	600	7 960	15320
A faj a tyúk létszám-arányában	%				8,08	
A pulyka az összes egyéb nagyállategység-arányában	%				51,96	

Forrás: KSH (2001), ill. saját számítások

Az egyes körzetekben fajonként ill. összesen **termelő trágya mennyisége, szárazanyag-tartalma és biogázhozama** meghatározására a szakirodalom alapján képzett együttthatókat (Grasselli-Szendrei, 2008) használtam.

Az egyes **állati trágyák energiaegyensúlyi szállítási távolságát** a biogázüzembe szállítás energiaigénye és az állati trágyákból fejleszhető biogáz energiatartalma alapján határoztam meg. A szállítás energiaigényét 10 t-s raktömegű tehergépkocsikra, a földútra és közútra számított fogyasztási adatokból a 15. táblázat alapján határoztam meg. A fogyasztási adatokból kiszámítottam a felhasznált gázolaj energiatartalmát (sűrűség 850 kg/m³, fűtőérték 43 MJ/kg), majd az egy tonnakilométerre eső energiafelhasználást.

A kiejert trágya felhasználásának, biogázüzemből elszállításának energiaigényét elsősorban nem az energiatermeléssel, hanem a kiváltott műtrágya gyártásának és szállításának energiaigényével tartom összevethetőnek.

15. táblázat: A szállítás energiaigénye az átlagebesség függvényében

A szállítás útviszonyai (üzemmód neve)	Átlagebesség*	Átlagfogyasztás nehéz tehergépkocsival *	A szállítás energiaigénye **	Szállítás fajlagos energiaigénye nehéz tehergépkocsival**
	km/h	l/100 km	MJ/km	MJ/tkm
Földút	30	28,70	10,47	1,05
Közút	50	25,50	9,30	0,93

Forrás: *Schuchmann-Kisgyörgy, 2001 alapján **saját számítások

Az állati trágyákból fejleszthető **biogáz mennyiségét fajonként** a trágya szerves szárazanyagához tartozó fajlagos biogázhozam és a trágya szerves szárazanyag-tartalmának szorzatából számoltam. Ezt 22 MJ/Nm^3 értékkel (60% CH_4 tartalom) szorozva kaptam a **trágya energiakihozatalát** (16. táblázat). A egységnyi tömegű trágyából biogázfejlesztéssel kinyerhető energiatartalom (MJ/t) és a szállításához egységnyi úthossz alatt felhasznált energia (MJ/tkm) hányadosából kaptam meg az állati trágyák állatfajonkénti **energiaegyensúlyi szállítási távolságát**.

16. táblázat: Az egyes állati trágyák biogáztermelési energiatartalma

Állatfaj	A szerves szárazanyag fajlagos biogázkihozatala*	A trágya szerves szárazanyag tartalma	A trágya fajlagos biogázkihozatala	A trágya fajlagos energia-kihozatala
	dm^3/kg	%	m^3/t	MJ/t
szarvasmarha	225	24,15%	54,3	1,20
sertés	445	3,69%	16,4	0,36
juh	225	24,15%	54,3	1,20
tyúk	465	66,46%	309,0	6,80
pulyka	480	68,49%	328,8	7,23

*Megjegyzés: mezofil körülmények között (30°C , 20 napos erjesztés) (Barótfi, 1993).

A szerves trágya szántóföldi hasznosításával műtrágyát lehet kiváltani, így a ráfordításokat a műtrágya alkalmazásával célszerű összevetni. Ez igaz akkor is, ha biogázcélú felhasználás illetve szállítás nem történik.

A keletkezés helyén külön energiaráfordítás nélkül rendelkezésre álló leghígabb sertés hígtrágya N-tartalma 5 kg/m^3 (0,5%) (Barótfi, 2000), míg 5 kg N műtrágya-hatóanyag előállításához $5 \times 30 = 150 \text{ MJ}$ energiát igényel (Antal, 2003). Ez a fázisbontás nélküli sovány hígtrágya esetében a hatóanyagot tartalmazó mennyiség (1 tonna) mintegy 150 km szállításának felel meg a 15. táblázat adataival. Ezt a számot a koncentrációkülönbségből adódó többlet szállítási igény és a kijuttató berendezések eltérő energiaigénye módosíthatja. Magyarországi távolságokkal a műtrágya mezőgazdasági üzembe szállításának ráfordítása átlagosan 200 km/t , azaz $\approx 200 \text{ MJ/t}$; 5 kg hatóanyagra $2,9 \text{ MJ}$.

A számítások szerint még a leghígabb trágyaféleségnél és egyetlen hatóanyagnál is jelentős energiamegtakarítás származik a szerves trágya felhasználásából. Ez még akkor

is jelentkezik, ha a kiszóráshoz a biogázüzemben kiejedt trágyát visszajuttatjuk a keletkezési helyére (0,4-7,8 km, 33. táblázat). Összességében a biogáztermelés szállítási energiamérlegét csak javítja, ha a trágya tápanyagtartalmának hasznosítását is bevonjuk a számításba.

3.3. A BIOGÁZTERMELÉS HATÉKONYSÁGNÖVELESÉVEL KAPCSOLATOS VIZSGÁLATOK

A biogázpotenciál és felhasználásának logisztikai vizsgálatai mellett a biogáztermelés fejlesztési lehetőségeivel is foglalkoztam, mivel ezek növelik a biogázélejárás hatékonyságát.

3.3.1. A biogázkihozatal növelésének kísérleti anyagai és módszerei

A 2007-es év során több kísérletben vizsgáltam a biogázkihozatal növelésének lehetőségeit.

Szakaszos üzemben végzett vizsgálatok lefolytatásában a gyöngyösi Károly Róbert Főiskola, a gödöllői FVM MGI, a nyírbátori Bátortrade Kft. illetve a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum Logisztikai Koordinációs Központja működött együtt. Az alapanyagok beltartalmi mérései Nyírbátorban, Gyöngyösön és Gödöllőn, a gázkihozatali mérések Gödöllőn zajlottak, két sorozatban.

Az alapanyagok szállítás során fellépő erjedési veszteségeit a minták hőmérséklet- és pH-változása alapján vizsgáltuk. A fázisbontás előtanulmányai után (Szendrei – Grasselli, 2007) a kísérletek során a fázisbontott biogáz-fermentátum beltartalmi és gázkihozatali mutatóit önmagában és cukorcirokkal kevert kukoricaszilázs adalékkal vizsgáltuk, a mintáknál a szennyvíziszap és szarvasmarha hígtrágya oltóanyagok hatását, ill. a szilázsnál az aprítás hatását is vizsgáltuk a gázkihozatalra. A gázkihozatali adatokat a minták beltartalma alapján számított elméleti gázkihozattal is összevettem.

Folyamatos üzemi vizsgálatok keretében a Szolnoki Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Fakultása kísérleti laboratóriumában, Mezőtúron lefolytatott kísérletek tervezésében, az aprítékminták lemérésében és a kiértékelésben vettem részt, ahol

kétfajta berendezéssel cukorcirok apríték és baktérium adalék hatását vizsgáltam a gázkihozatalra.

Az elméleti gázkihozatal számításával a kísérletek eredményeit a számítások oldaláról is megerősítettem. A Gyöngyösön mért beltartalmi mutatók (nyersrost, nyersfehérje, nyerszsír) alapján a szakirodalomból átvett módszer segítségével kiszámítottam az egyes minták elméleti gázkihozatalát (Gruber, 2003; Schwab, 2005; Keymer – Reinhold, 2005).

A számítási módszerek azon alapszanak, hogy a biogázberendezésben lezajló anyagátalakulási és lebontási folyamatok megegyeznek a kérődzők bendőjében lezajló folyamatokkal, így azonos összefüggésekkel írhatók le. A kofermentumokból nyerhető gázmennyiség kiszámítási módszere feltételezi, hogy egy alapanyag biogáz illetve metánkinyerésének mennyiségét annak fehérje-, zsír- és szénhidráttartalma, valamint a nevezett anyagcsoportok lebontható (emészthető) hányada (EH) határozza meg. Ha elfogadjuk ezeket a kitételeket, a kérődzőkre vonatkozó takarmányozási táblázatokból a nyerstápanyag-tartalom és az emésztési hányados közelítő jelleggel alkalmazható a biogáz-üzem “takarmányára”, és a várható biogázhozam kiszámítható. A fehérjéből, zsírból, szénhidrátból nyerhető biogáz ill. metán mennyiségére vonatkozóan több szerző is végzett kísérleteket, az adatokat a 17. táblázatban foglaltam össze.

17. táblázat: Az egyes szervesanyag-frakciók gázkihozatala

Anyagcsoport	Gázkihozatal (NI/kg sze.a.)	CH₄-hányad (V%)
Szénhidrátok	790	50
Nyersfehérje	700	71
Nyerszsír	1.250	68

Forrás: Gruber, 2003 cit. Baserga U. (1998): Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen. FAT-Berichte Nr. 512

A következő számítási példa (virágzás közepi első kaszálású fűszénáz) a “Célérték-takarmányoptimalizálás” (“Zielwert-Futteroptimierung”) nevű számítógépes program (Rutzmoser–Span, 2001) adatain (18. táblázat) alapul. Az adatokból az alábbi képletek alapján kiszámítható 1 kg szárazanyagra (sza.) vetítve, mennyi az alapanyagban a szerves szárazanyag (sze.sza.), az emészthető szénhidrát (ami a nyersrost és a N-mentes

kivonható anyag (NfE) összegeként adódik), az emészthető nyersfehérje és az emészthető nyerszsír.

18. táblázat: Nyersanyag-tartalom és emészthetőségi hányados példaadatai

Szárz- anyag- tartalom	Nyers- rost	EH _{nyersrost}	NfE	EH _{NfE}	Nyers- fehérje	EH _{nyers- fehérje}	Nyers- zsír	EH _{nyerszsír}
%	g/kg sza.	sza. %-a	g/kg sza.	sza. %-a	g/kg sza.	sza. %-a	g/kg sza.	sza. %-a
36	293	74,30	436	69,97	132	65,09	37	67,51

Forrás: Schwab, 2005. A példa virágzás közepi első kaszálású fűszénázásra vonatkozik

Szerves szárazanyag-tartalom: $\frac{(\text{nyersrost} + \text{NfE} + \text{nyersfehérje} + \text{nyerszsír})}{1000} = 89,80\%$

Emészthető szénhidrát: $(\text{nyersrost} \times \text{EH}_{\text{nyersrost}}) + (\text{NfE} \times \text{EH}_{\text{NfE}}) = 522,77 \text{ g}$

Emészthető nyersfehérje: $(\text{nyersfehérje} \times \text{EH}_{\text{nyersfehérje}}) = 85,92 \text{ g}$

Emészthető nyerszsír: $(\text{nyerszsír} \times \text{EH}_{\text{nyerszsír}}) = 24,98 \text{ g}$

Egy kg szerves szárazanyagra így 582 g emészthető szénhidrát, 96 g emészthető nyersfehérje és 28 g emészthető nyerszsír adódik.

Az emészthető beltartalomhoz hozzá kell rendelni a megfelelő gázkihozatali rátát és metántartalmat, melyeket a 19. táblázat foglal össze:

19. táblázat: Gázkihozatal példaszámítása

Anyag- csoportok	Gáz- kihozatal*	CH ₄ - hányad	Tömeg	Gáz- kihozatal	CH ₄ - hányad
	l/kg sza.	V%	kg/kg sze.sza.	l/kg sze.sza.	V%
Szénhidrát	790	50	0,582	459,9	40,9
Fehérje	700	71	0,096	67,0	8,5
Zsír	1250	68	0,028	34,8	4,2
Összesen	-	-	0,706	561,7	53,6

Forrás: *Baserga, 1998. Megjegyzés: sza. = szárazanyag, sze. sza. = szerves sza. (A számítás virágzás közepi első kaszálású fűszénázásra vonatkozik)

A számítások szerint 1 kg szerves szárazanyag-tartalmú fűszénázból 562 l biogáz nyerhető, kb. 53,6 % metántartalommal. Ez 36% száraznyagtartalom mellett 182 m³ gáztermelésnek felel meg 1000 kg friss tömegre (561,7 x 0,898 x 0,36).

Az előbbi példa szerint, a számításhoz csupán a kérdéses szubsztrát beltartalmi mutatóit kell a szarvasmarha emésztésére jellemző emészthetőségi együtthatóival megszorozni (20. – 21. táblázat). A vágóhídi szennyvíz (T01 minta) a nyírbátori biogázüzembe bevezetett vágóhíd szennyvize, és innen származik a szarvasmarhatrágya (pihenőbokszos, mechanikus eltávolítású rendszerből) (T05, T08), a kukorica-cukorcirok szilázs (T04, T07), valamint a biogázüzem fázisbontott outputja (T03, T06, T10, T11). Az oltóanyag az első mérésorban a gödöllői szennyvíztelepről származó eleveniszap (T02), illetve egy Gödöllőhöz közeli tehenészetből származó szarvasmarha hígtrágya (T09) volt. A minták pontos beltartalmi mutatói a 21. táblázatban találhatók.

A kapott emészthető beltartalmat az egyes szervesanyag-frakciókra jellemző metántermelési és gázkihozatali értékekkel (17. táblázat) szorozva kapjuk a kérdéses szubsztrátból termelhető biogáz mennyiségét.

20. táblázat: A minták emészthetőségi együtthatóinak referenciatakarományai

Minta ssz.	Minta neve	A mintához leghasonlóbb takarmányféleség
T01	vágóhídi szennyvíz	savó, édes
T02	szennyvíziszap	burgonyapulp friss
T03	szeparált híg	savó, édes
T04	szilázs	kukorica+cirok szilázs
T05	szarvasmarha trágya	kukoricaszár szilázs (közepes)
T06	szeparált szilárd	paradicsomtörköly (szárított)
T07	szilázs	kukorica+cirok szilázs
T08	szarvasmarha almos trágya	kukorica+cirok szilázs
T09	inokulum sz.m.	burgonyapulp friss
T10	szeparált híg	savó, édes
T11	szeparált szilárd	paradicsomtörköly (szárított)

Forrás: saját

A szakaszos üzemű kísérleteknél a minták oltóanyaga az I. sorozatban a gödöllői szennyvíztelepről, az eleven iszapos medence utóülepítőjét az iszapkezelő szakasszal összekötő csővezetékéből származó fölösiszap, a II. sorozatban egy Gödöllőhöz közeli szarvasmarhatelepről származó friss hígtrágya volt. Szubsztrátként a nyírbátori Bátortrade Kft. által rendelkezésünkre bocsátott anyagokat (a biogáz üzem néhány input anyagát) használtuk: almos szarvasmarhatrágya, kukorica-cirok vegyes szilázs, valamint a kierjedt biomassza szeparálás utáni híg- és szilárd fázisa.

21. táblázat: A minták beltartalma és annak hasznosíthatósága

Minta ssz.	Tápanyagtartalom és emésztesi együtthatók (1 kg szárazanyagban)							
	Nyers- rost	EH	N- mentés kivon- ható anyag	EH	Nyers- fehérje	EH	Nyers- zsír	EH
	g	%	g	%	g	%	g	%
T01	1,9	0	0,0	97	857,1	90	1 714,3	99
T02	55,4	31	179,7	84	299,0	10	130,6	23
T03	132,9	0	0,0	97	1 276,1	90	129,6	99
T04	366,6	54	390,8	69	97,7	52	41,9	80
T05	275,3	59	322,0	47	221,4	38	14,5	60
T06	498,9	59	166,4	65	173,7	40	5,7	42
T07	325,2	54	488,5	69	94,9	52	28,5	80
T08	254,8	54	336,8	69	171,1	52	13,4	80
T09	301,0	31	339,9	84	183,6	10	29,5	23
T10	105,9	0	0,0	97	1 162,2	90	36,0	99
T11	444,6	59	144,0	65	162,8	40	5,5	42

Forrás: KRF mérések alapján saját számítások. Megjegyzés: EH = emészthető hányad

A **szárazanyag-tartalom meghatározásához** a méréseket mindhárom laboratóriumban elvégezték. A **szerves anyag, szerves szárazanyag** meghatározása Gyöngyösön és Gödöllőn történt. Az I. (T01-T06) és a II. (T07-T11) mérési sorozat eredményeit a 22. táblázatban foglaltam össze.

A mikrobiális tevékenységhez szükséges **C/N arány** vizsgálatát Gödöllőn végezték, az eredmények a 23. táblázatban találhatóak. A táblázatban Gyöngyösön mért nitrogéntartalmat is szerepeltetem. Megállapítható, hogy a Gödöllőn használt analízatorégetéses Dumas módszere – a 9. minta kivételével – kisebb N-értékeket mutat, mint a Gyöngyösi laborban alkalmazott Kjeldahl-módszer. Bizonyos minták esetében (T03, T10: szeparált híg fázis) a Kjeldahl-módszer 5-9 szeres értékeket adott az automata

elemanalizátorhoz képest, aminek egy lehetséges magyarázata, hogy az alacsony szárazanyag-tartalmú minták oldott N-tartalma az égetéses módszerrel nehezen mérhető.

22. táblázat: Szárazanyag-tartalom mérések

Minta ssz.	Szárazanyag				Szervesanyag-tartalom			Sze. sza.
	m/m% (az eredeti anyagban)				m/m% (100% sza.-ra)			m/m% (e.a.)
	Ny	Gy	G	átlag	G	Gy	átlag	átlag
T01	-	0,08	-	0,08	60,43	-	60,43	-
T02	6,56	4,53	4,94	5,34	66,47	69,96	68,21	3,74
T03	1,95	2,18	1,94	2,03	61,60	70,42	66,01	1,43
T04	23,53	24,84	23,37	23,91	89,70	90,52	89,11	21,65
T05	18,27	18,24	20,67	19,06	83,32	86,31	84,81	16,45
T06	28,67	24,89	23,27	25,61	84,470	88,16	86,32	22,58
T07	23,53	27,20	24,03	24,92	95,80	93,71	94,75	23,87
T08	18,27	19,02	15,43	17,57	82,92	77,60	80,26	14,57
T09	-	17,25	7,57	12,41	89,07	85,40	87,23	11,05
T10	1,95	2,64	2,22	2,27	72,44	62,40	67,42	1,64
T11	28,67	24,70	22,97	25,45	85,38	75,70	80,54	21,73

Forrás: Bátortrade (Nyírbátor=Ny), KRF (Gyöngyös=Gy), FVMMI (Gödöllő=G)

Megjegyzés: e.a.= az eredeti anyagban, sza.=szárazanyag, sze. sza. = szerves sza.

23. táblázat: C/N értékek mérési eredményei

Minta ssz.	C	N	C/N	N
	m/m% (100% sza.-ra)			m/m% (100% sza.-ra)
	Gödöllő			Gyöngyös
T01	-	-	-	14,29
T02	36,13	3,74	9,66	4,80
T03	36,31	4,02	9,04	20,42
T04	42,36	1,43	29,66	1,56
T05	40,52	2,11	19,20	3,54
T06	42,03	1,23	34,14	2,78
T07	42,77	1,22	35,07	1,52
T08	42,72	2,30	18,56	2,74
T09	36,89	4,26	8,66	2,93
T10	41,16	2,07	19,87	18,60
T11	42,38	1,49	28,47	2,60

Forrás: FVMMI és KRF mérések. Megjegyzés: sza.=szárazanyag.

A minták hőmérséklete és pH-értéke az I. sorozatban elsősorban a szállítási során bekövetkező erjedési veszteség vizsgálata céljából volt fontos, a szállítás elején

Nyírbátorban és a szállítás végén Gödöllőn mértük. Az értékek a 35. táblázatban láthatók.

Mintaelőkészítéshez a nagyobb fajlagos felület feltárása érdekében a szilárd mintákat laboratóriumi homogenizálóval tovább aprítottuk, így 4-féle aprítottsági fokú vegyes-szilázs mintát állítottunk elő. Az egyes aprítási fokozatok jellemző szecskahosszának megállapításához a 4 aprítási fokozatból vett minták szecskadarabjait megmértük, a mért értékeket 0-5,5 mm között 0,5 mm-es méretlépcsőkkel tagolt gyakorisági osztályközökbe soroltuk, majd megállapítottuk az egyes aprítási fokozatok jellemző értékeit (24. táblázat).

24. táblázat: Egyes aprítási fokozatok jellemző értékei

Paraméter neve	szilázs 1 (eredeti)		szilázs 2		szilázs 3		szilázs 4	
Minta elemeinek száma (<i>n</i> , db):	150							
A minta középértéke (cm):	1,80		1,93		1,48		1,10	
A középérték szórása (cm):	0,08		0,10		0,08		0,05	
A középérték alsó és felső konfidenciahatára (P=5%), (cm):	1,64	1,95	1,72	2,13	1,33	1,64	1,00	1,19

Forrás: FVMMI mérések alapján saját számítások

Látható, hogy az eredeti szilázs és a 2. aprítási fokozat jellemző szecskahosszai csak kis mértékben térnek el, a P=5%-hoz tartozó konfidenciaintervallumok átfedik egymást. A 3. és 4. fokozat mért értékei ezektől illetve egymástól határozottan eltérnek.

A biogázkihozatali mérések az FVM MGI laboratóriumában, mezőgazdasági hulladékokra módosított DIN 38414-S8 szabvány szerint zajlottak. Inokulumként szennyvíziszap illetve szarvasmarha hígtrágya szolgált. A mintákból, a vakpróbából és a referencia (kontroll) mérésből 2 párhuzamos futtatás történt. A mintákból a várható gáztartalom figyelembevételével 30–50 g mennyiséget (4-8 g sz.a.) 700-900 ml anaerob iszapban szuszpendáltak fel 1 literes csiszolatos üvegedényekben, 38°C termosztálási hőmérsékleten. A minták gáztermelését a légköri nyomással és a hőmérséklettel együtt regisztrálták.

A szubsztrátok közül a baromfifeldolgozó szennyvizével nem végeztünk gáztermelési vizsgálatot, mivel a bemérendő anyagmennyiség megállapítására végzett próbaerjesztésnél nem indult be a gáztermelés.

A folyamatos üzemű kísérletek során **felhasznált anyagok** közül a vizsgált adalékanyag a Róna cukorcirok aprítás és préselés utáni maradványa volt. Az aprítékkészítés **teljes** zöld növényekből történt, a DE ATC Karcagi Kutató Intézetéből származó cukorcirokkal. A cirok jellemzője a 10-14 mm-es szárkeresztmetszet és a 75-80 %-os nedvességtartalom volt. A kipréselt anyagban visszamaradt nedvességtartalom 27-30 %.

A **kísérletek beállítása** a Szolnoki Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Fakultása laboratóriumában történt. A mezőtúri intézmény saját fejlesztésű, növelt léptékű, folyamatos üzemű kísérleti laboratóriumot hozott létre, melyet 2006-ban továbbfejlesztettek (Kalmárné et al., 2007). A hét fermentort tartalmazó félautomata vizsgálósor az üzemi körülményeket reprezentáló feltételekkel alkalmas a biogáz keletkezési folyamatát befolyásoló technológiai paraméterek változtatására, szabályozására, és a jellemzők regisztrálására.

A **vizsgálati anyagok előkészítéséhez** ALKO H2200 előaprítóval és tárcsás aprítóval felszerelt, **valamint** a BOSCH AXT Rapid 180 tárcsás aprítóval felszerelt házi komposztáló aprító berendezéseket (Kalmár–Krizsán, 2008) használtak. Az aprítékból a lényeres 1,5 mm résméretű csigás préssel történt. A biogázkísérletekhez a kipréselt aprítékot használtuk.

Az **apríték hossz vizsgálatához** 30-30 g eredeti nedvességű mintát használtunk. A kimért apríték darabkáiból 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 75 mm-es határokkal hossz kategóriákat képeztem. Az aprítékot 0,01 g pontosságú elektronikus táramérlegen lemértem. A több napon át tartó válogatás alatt az apríték tömege az I. mintánál 22,7, a II. mintánál 18,07 g-ra csökkent, a mérés hibahatára így $\pm 0,044\%$ illetve $0,055\%$ lett. Az apríték méret tömegeloszlása alapján számítottam az elméleti (átlagos) apríték hosszát és szórását. A mintaátlagokat SPSS program segítségével, egytényezős varianciaanalízissel hasonlítottam össze. A varianciák egyezőségét Levene-teszttel igazoltam. A számítások 95%-os szignifikanciaszinten történtek.

A **gázkihozatal méréséhez** az összehasonlító kísérletek során a fermentorokban rátöltéses biogáz-előállítási technológiát modelleztünk mezofil körülmények között, oly módon, hogy az 50 dm³-es hasznos fermentor térfogat meghatározott %-ának megfelelő kiejert trágyát kiengedtünk és ugyanannyi frisset utántöltöttünk, 32 napos

reaktortérben való tartózkodási időt modellezve. Az összehasonlító mérések egy homogenizálási és stabilizálási szakasz után, a 47. napon kezdődtek, és a 78. napon értek véget, ezután már csak a fermentortartalom végkierjesztése zajlott, utánadagolás nélkül, szakaszos üzemmódban. Az üzemi körülményeket reprezentáló friss trágya szárazanyag-tartalma 4,5 %, szerves szárazanyag-tartalma 3,25 % volt. Az 1-2. fermentorba az I. aprítású minta, a 3-4. fermentorba az II. aprítású minta került, az 1. és a 3. reaktorba baktériumadalékkal együtt. Az 5. fermentorba a kontroll sertés hígtrágya került. A fermentorok keverése automatikusan, kétóránként történt (Kalmár et al., 2007).

A naponta mért gázkihozatali értékeket SPSS segítségével, varianciaanalízissel vizsgáltam a gázkihozatalra, a termelt metánra és a fajlagos metánkihozatalra. Az apríték és a baktériumkezelés hatását külön is és összhatásában is számítottam. A számítások 95%-os megbízhatósági szinten történtek.

3.3.2. A biogázfejlesztés rendszerintegrációjának vizsgálata

Az alapanyagok hasznosításának javítása sertés és szarvasmarha trágyájának együttes felhasználásával is lehetséges. A sertés és a szarvasmarha trágyáját külön erjesztve a sertéstrágyából 569, a marhatrágyából 380, együtt erjesztve pedig 510 m³ biogáz keletkezik egy tonna szerves anyagból (25. táblázat). Az alapanyagok elegyítésével keletkező biogáz mennyisége tehát 7,5%-kal nagyobb, mint ha külön erjesztjük a sertés és a szarvasmarha trágyáját (Szendrei, 2005d).

25. táblázat: A különböző szerves anyagokból előállítható biogáz mennyisége

Megnevezés	A nyerhető biogáz mennyisége* (m ³ /t szerves anyag)	1 kg szerves anyagból nyerhető biogáz	
		külön	együtt erjesztve (m ³)
Marhatrágya	380,0	380	
Sertéstrágya	569,0	569	
Marhatrágya+sertéstrágya (50:50%)	510,0		510x2
Összesen		949	1020

Forrás: Kissné (1983) adatai alapján

*Feltétel: lebontási idő 40 nap

Megvizsgáltam az egységnyi reaktortérfogatra és az egységnyi nagyállategységre vetített biogáztermelés alakulását, valamint a sertéstrágya szárazanyagtartalmának

növekedését a hozzákevert szarvasmarhatrágya által. A szárazanyag-tartalommal ugyanis közel lineárisan nő a gázhozam, ezért célszerű a sertés hígtrágya 4% körüli szárazanyagát az optimális tartományba (8-12%) növelni.

Kiszámoltam azt az állatlétszámot, amely a recept szerinti 1 tonna szerves anyagot termeli trágyájában, majd az állatlétszámhoz tartozó biogáztermelést az egyes állatfajoknál, illetve kevert trágyájuk erjesztésénél. Végül összehasonlítottam a három lehetőséget a szárazanyag-tartalom és a fajlagos gáztermelés szempontjából (26. táblázat).

A receptben szereplő szerves anyagból a szárazanyagra következtettem Kissné (1983) adatai alapján, majd a szárazanyag mennyiségéből az egyes állatfajokra jellemző trágya szárazanyag-tartalom alapján kiszámoltam az adott szervesanyag-mennyiséget tartalmazó trágya tömegét. A trágya mennyiségéből pedig számolható volt az azt előállító állatok száma, amit nagyállategységben adtam meg. A továbbiak során ezzel az 1:1 tonna szerves anyagot produkáló állatlétszámokkal számoltam.

26. táblázat: Az 1:1 arányú keverékhez tartozó állatlétszám

Mennyiség	Mértékegység	Sertés	Szarvasmarha
Szervesanyag (40 napos erjesztés)	t	1,00	1,00
Szervesanyag (éves)	t	9,13	9,13
Szárazanyag	t	11,15	10,66
Trágya	t	278,63	47,57
Állatlétszám	db n.e.	11,39	3,15
Állatlétszám (kerekítve)	db állat	75,98 (76)	3,94 (4)

Forrás: Fenyvesi et al (2003), Kissné (1983), Schön (1998), Tóthné (1996) alapján saját számítások. Megjegyzés: n.e.: nagyállategység.

Fenyvesi és munkatársai közlése szerint egy 100 kocás, 1200 db-os termelőegység éves trágyatermelése 1,83 t/db, illetve 12,22 tonna/nagyállategység, ahol egy **sertés** 0,15 nagyállategységnek felel meg (Fenyvesi et al., 2003). A **trágyatermelés** adatai 8%-os szárazanyagra vonatkoznak, ha a trágyát 1:1 arányban hígítják, a szárazanyag 4%, a trágyatermelés pedig a duplája: 3,67 tonna/db, illetve 24,44 tonna/nagyállategység. A nagy sertéstelepek hígtrágyás kitrágyázási rendszerét alapul véve, az utóbbi adatokkal számoltam.

A szarvasmarha trágyatermelését ebben a számításban (Szendrei, 2005e) a Wolf-képlettel (Tóthné, 1996) számoltam:

$$\text{Trágyatermelés} = \left(\frac{\text{Takarmány szárazanyag}}{2} + \text{alom szárazanyag} \right) \times C [\text{kg/nap, t/év}]$$

ahol:

- a takarmány szárazanyagtartalma átlag a testtömeg 4%-a (16 kg/nap) a modern tejelő fajtáknál (holstein-fríz), egy nagyállategységre: 10 kg/nap, 3,65 t/év.
- az alom szárazanyagtartalma nagyállategységenként 4 tonna 12%-os nedvességtartalmú alomnál 3,52 tonna/év ill. 9,6 kg/nap.
- C a trágya víztartalmát jelző tényező: friss trágyánál C=4, érett trágyánál C=3. Az alom növekedésének kezdetén a magasabb, végén az alacsonyabb érték érvényes; folyamatos bealmozást és szakaszos kialmozást feltételezve ezt a C-értéket 3,5-nek vettem.

Az egy nagyállategységre jutó éves trágyatermelés így 25,1 tonna/év ill. 68,75 kg/nap lenne. Ennek azonban csak az istállóban keletkező részét tudjuk felhasználni; a legelő állatok által elhullatott ürülék nem vehető számba. Ez a rész tulajdonképpen az üszöket jelenti, mivel ezeket általában 8 hónapon át legelőn tartják. Ezek teszik ki az állomány felét, a tehenek, borjak, növendék (hízó) bikák a másik felét (Schön, 1998). Így az egy nagyállategységre jutó trágyamennyiség $(25,1 \times 1/2 + 25,1 \times 1/2 \times 1/3 =)$ 16,7 tonna/év, 28,6%-os szárazanyag-tartalommal

A biogáztermelést az 1. táblázatban megadott együtthatókkal 40 napos lebontással, 1 tonna szerves szárazanyaggal számított állatlétszám esetén számoltam ki. A termelt gázt 22 MJ/ m³ energiatartalommal számolva (Bartha, 1993) összes termelt energia formájában, illetve 60% CH₄-tartalommal földgáz-egyenértéken is kifejeztem, majd a fajlagos mutatókat számoltam ki.

Térségi szinten vizsgáltam, hogy **sertés és szarvasmarha trágyájának együttes felhasználásával elérhető-e** az adott helyen a legjobb méretgazdaságossághoz szükséges **üzemméret**. A biogázpotenciál számításához használt táblázataimban megvizsgáltam, hogy az 500 kW_{el} elektromos teljesítmény eléréséhez szükséges 41 TJ energiát szolgáltató 1,87 millió m³ biogáz mely településeken termelődik meg már a sertésnél, mely településeken a szarvasmarhánál és mely településeken csupán a két faj trágyatermelésének együttes felhasználásával.

4. EREDMÉNYEK

4.1. A BIOGÁZFEJLESZTÉSRE FELHASZNÁLHATÓ TÉRSÉGI BIOMASSZA-POTENCIÁL EREDMÉNYEI

4.1.1. A trágyatermelés és a biogázpotenciál együtthatói a vizsgált állatfajoknál

A kutatás célkitűzéseinek megfelelően a szarvasmarha, sertés, juh, tyúk és pulyka fajokra kiszámított biogáztermelési együtthatókat határoztam meg (Grasselli-Szendrei, 2008) az alábbiakban mutatom be.

Az állatfajonként termelődő trágya mennyisége és beltartalmi mutatóinak elemzéséhez táblázatot állítottam össze a szakirodalom és a saját számítások alapján (27. táblázat). A számítások a szarvasmarha és sertés esetében figyelembe veszik az állományösszetételt is, a sertés fajnál a táblázat az alapul vett 1200 db-os egységtelep adataiból indul ki. A juh átlagos éves trágyatermelése, ill. annak beltartalma alapvetően a szarvasmarha adataiból indul ki. A tyúk és a pulyka főként az egy állat által termelt trágya mennyisége tekintetében különbözik, és a beltartalmi mutatókban is tapasztalható eltérés.

A táblázatból látható, hogy az egyes állatfajok nagyállategységre vetített trágyatermelésében jelentős különbségek adódnak. A szarvasmarha trágyatermelése a sertésétől alapvetően a felhasznált alom miatt több, a sertésnél a vízöblítés valamivel kevesebb trágyát eredményez, az alacsony (4,5%-os) szárazanyagtartalom miatt azonban az összes szerves szárazanyag kevesebb, mint a szarvasmarhatrágya esetében. Juh esetében a fajlagos értékek megegyeznek a szarvasmarháéval. A baromfifajok trágyatermelése az eltérő alommennyiség miatt különbözik.

Összességében megállapítható, hogy a nagyállategységenkénti trágyatermelés 5,7-32,4 t/év között, a szárazanyagtartalom a trágyakezelés módjától függően 4-73% között, a fajlagos biogáztermelés szempontjából fontos szerves szárazanyag pedig 3,7-68%, azaz 0,3-22,2 t/év között változik.

Az egyes állatfajok fajlagos biogázpotenciáljának együtthatói az előbbieken bemutatott fajlagos trágyatermelési adatokat a fajlagos biogázkihozatali együtthatókkal (Függelék, 54. táblázat) szorozva adódnak. A legnagyobb biogáztermelési potenciállal a

pulyka és a tyúk, majd a szarvasmarha (juh) rendelkezik, a sertés – alacsony szervesanyag-tartalmú trágyája miatt – a leghátsó a sorban.

27. táblázat: Gazdasági állatfajok trágyatermelése és fajlagos biogázpotenciálja

Vonatkoztatás	A trágyatermelés jellemzői	Me.	Szarvasmarha	Sertés	Juh	Tyúk	Pulyka
1 átlagos egyedre	éves trágyamennyiség	t, kg*	9,5	0,9	0,8	22,6*	129,6*
1 nagyállat-egységre	éves trágyamennyiség	t	11,9	8,0	11,9	5,7	6,5
Fajlagosan	száranyag-tartalom	%	28,8	4,5	28,8	71,2	73,1
	szervesanyag-tartalom		24,2	3,7	24,2	66,5	68,5
	a trágya éves fajlagos biogázhozama	m ³ /t	54,3	16,4	54,3	309,0	328,8
1 nagyállat-egységre	éves fajlagos biogázhozam	m ³	156,2	131,2	156,2	1162,0	1458,9
	éves fajlagos energiahozam	GJ	8,5	2,8	8,5	23,1	28,1

Forrás: Ábrahám, 1980, Bai, 2005a, Fenyvesi et al., 2003, Loch, 1999, Posta, 2002, Szendrő, 2003, Vántus, 2003 és Barótfi, 1993 alapján saját számítások

4.1.2. Térségi biogázpotenciál meghatározása Hajdú-Bihar megyében

A biogázhozam-együtthatók meghatározása után felmértem a térségben az állati trágya mennyiségét, biogázpotenciálját. Juh esetében a trágyakezelés megoldott volta, illetve baromfinál a technológia jelenlegi állása és az állomány nagyság múltbeli ingadozásai miatt a Hajdú-Bihar megyében végzett felmérésnél az állatfajok körét a szarvasmarhára és a sertésre szűkítettem.

A Hajdú-Bihar megyei szarvasmarha- és sertésállomány létszámát, illetve létszámuk különbségét és összegét jellemző statisztikai mutatókat (28. táblázat) az 1995-2007 évi KSH adatok alapján határoztam meg. A táblázatból megállapítható, hogy a szarvasmarha és sertés állomány egymással összevethető nagyságú, mintegy 50-70 ezer nagyállategység közé eső nagyságú. Ez településenként átlag 800 ill. 730 nagyállategységet jelent a két fajból, nagy szórással: a minimumérték 5 ill. 15 nagyállategység, a maximum pedig 8000 ill. 9400 nagyállategység körül alakul.

A különbség az állatlétszámok között megyei szinten mintegy 11,5 ezer nagyállategység, azaz élősúlyban mintegy 20 %-kal több szarvasmarha található a

megyében, mint sertés. A tizenhárom év során egyszer sertésből volt több 400 nagyállategységgel, máskor viszont szarvasmarhából 20 ezer nagyállategységgel. A két állatlétszáma együttesen átlag 123 ezer nagyállategységet ér el, a minimum és a maximum között 18 ezer nagyállategység különbség van. A szarvasmarha létszámának szórása 3, a sertésé majdnem 5, míg az összesített állatlétszámé 6 ezer nagyállategység.

28. táblázat: Hajdú-Bihar megye szarvasmarha és sertés állománya (1995-2007)

	Szarvasmarha		Sertés		Különbség	Együtt
	1000 db	1000 n.e.	1000 db	1000 n.e.	1000 n.e.	1000 n.e.
Minimum	79,6	63,7	434,0	49,5	-0,4	113,8
Maximum	89,4	71,5	566,7	64,6	19,6	131,9
Átlag	84,4	67,5	490,7	55,9	11,6	123,4
Szórás	3,8	3,1	40,9	4,7	5,1	6,0

Forrás: KSH 2001, 2002, 2004, 2005 saját számítás. Megjegyzés: n.e.: nagyállategység

Lineáris trend számításával meghatároztam a változás irányát, jellegét is. A megyében 1995 és 2007 között a szarvasmarha-állomány trendje csökkenő, évi átlag 651 egyeddel lett kevesebb – ez a 2000. évi állomány 0,7%-a, a sertésé szinte konstans, évi mintegy 410 egyeddel nő – ami a 2000. évi állomány 0,1%-a (9. ábra).

Az állatállományok ingadozása különösen a sertés esetében jelentős, 2003-ban a tényadat a trendértéktől 75 ezer állattal is eltér, ez 15,3%-os eltérés. A szarvasmarhánál a legnagyobb eltérés mintegy 5 ezer állat a 2001. évben, ami 4,8%-os eltérés. Az állatállományok változásának főbb adatait a 29. táblázatban mutatom be.

29. táblázat: A Hajdú-Bihar megyei szarvasmarha- és sertésállomány változása

Időpont	Szarvasmarha			Sertés		
	Állomány	Trend	Eltérés	Állomány	Trend	Eltérés
	1000 db		%	1000 db		%
1995. évi állatállomány	85,4	88,3	-3,26%	492,4	488,3	0,8%
2000. évi állatállomány	89,1	85,0	4,81%	478,2	490,3	-2,5%
2007. évi állatállomány	81,0	80,5	0,65%	502,0	492,4	2,0%

Forrás: tényadatok: KSH, trendadatok: saját számítás

A szarvasmarhánál az állomány csökkenése az 1995. évihez képest 4400, a 2000. évihez képest 8100, míg a trend csökkenésének megfelelően az első időponthoz képest nagyobb, a közelebbi időponthoz képest kisebb az eltérés. A sertésnél az állomány szintén kisebb volt 2000-ben, mint 1995-ben, így ott a növekedés viszonyítási évtől függően 9 600, illetve 23 800.

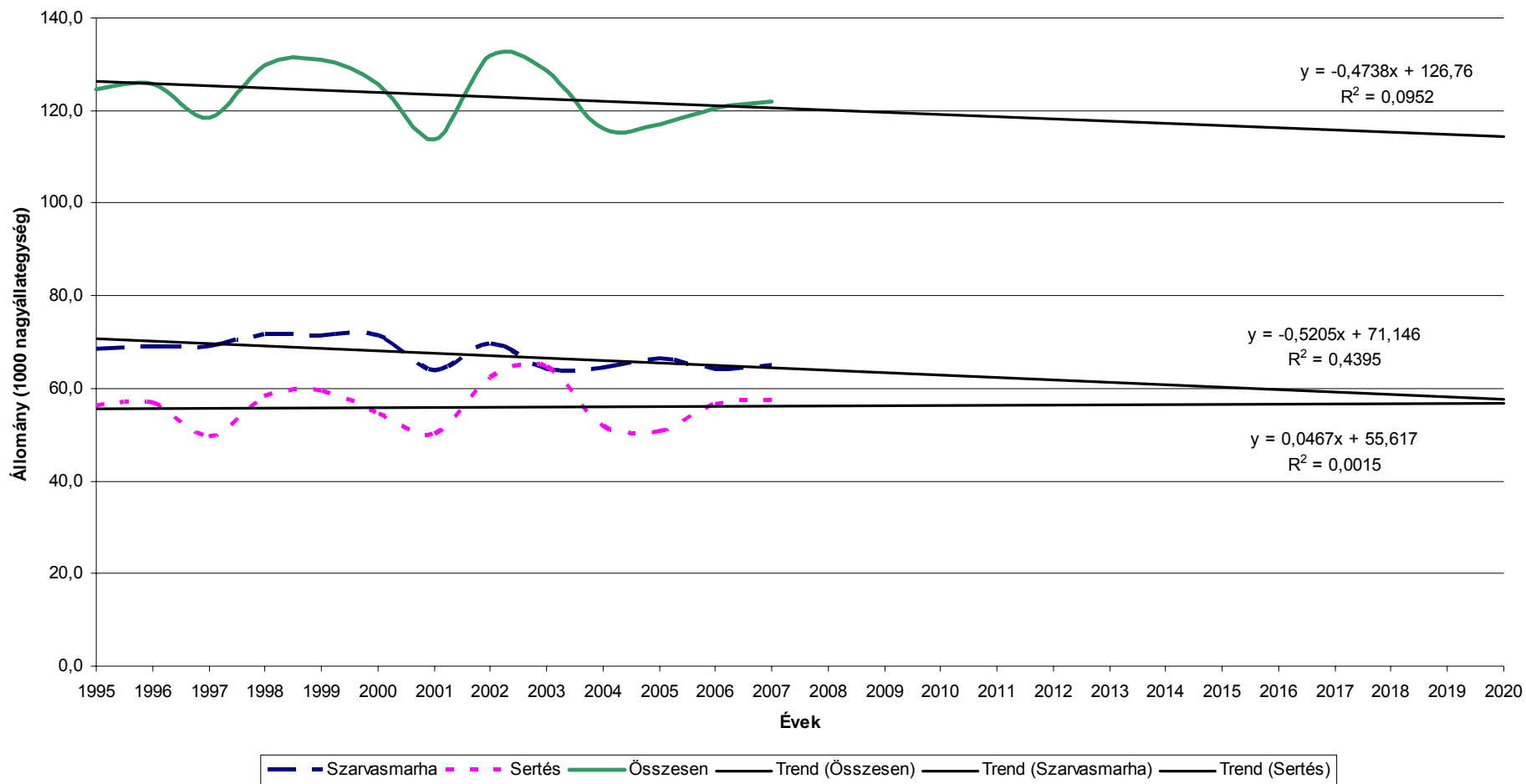
A két faj adatsorára alkalmazott lineáris regressziós trenddel ugyan jól jellemezhető a változások iránya és mértéke, a tényadatokkal való kapcsolat szorosságát jellemző regressziós együttható sem az egyes állatfajoknál, sem összes állatlétszámuknál nem mutat elég szoros összefüggést ahhoz, hogy statisztikailag megbízható következtetéseket vonjunk le ezekből a jövőre nézve. A hosszútávú előrejelzés a dolgozat célkitűzésein túlmutató statisztikai-módszertani alapot igényelne.

A két fajra az egyes települések állatlétszámát a megyei állománylétszám 2005 évi értékével számoltam ki a 2000. évi településsoros adatokból. Azért a 2005. évet választottam tervezési évként, mert a folyamatosan és jelentősen változó sertéslétszám itt minimumot ér el, emellett ez a kiértékeléshez legközelebb eső adat (minimum észlelhető még 2001-ben és 1997-ben is). Szarvasmarhánál szintén a 2001. évi minimumhoz hasonló adat található ebben az évben.

Az állatlétszám és a vizsgált fajok biogáztermelési együtthatói alapján fajonként és településenként meghatároztam **a Hajdú-Bihar megyében keletkező szarvasmarha- és sertéstrágya mennyiségét, valamint az abból fejleszthető biogáz mennyiségét és területi eloszlását.**

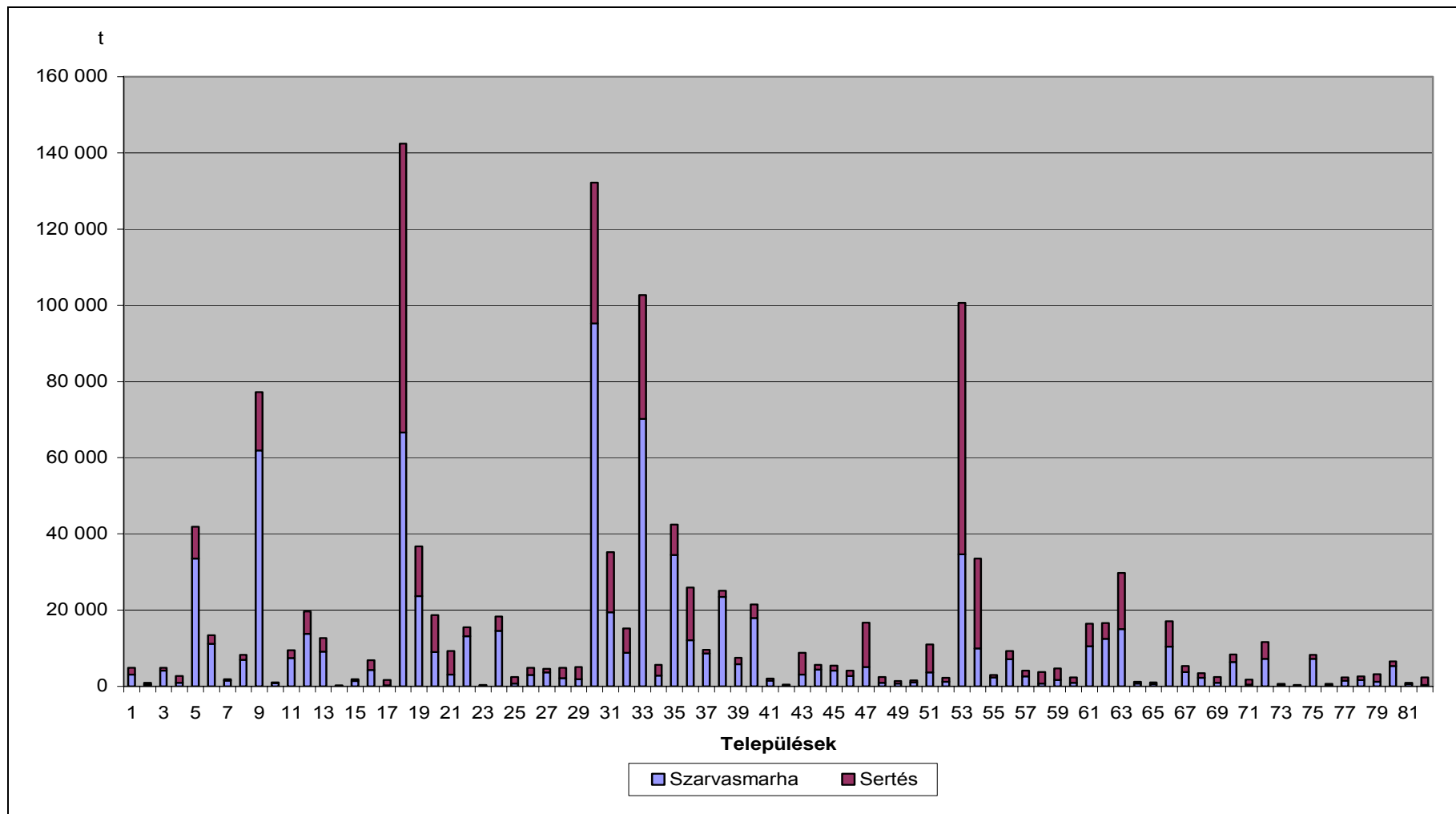
A Hajdú-Bihar megye településein keletkező **szarvasmarha- és sertéstrágya** mennyisége összesen mintegy 1,3 millió tonna, ahol a legkisebb érték 300 tonna, a legnagyobb pedig 142 ezer tonna körül alakul. Az átlagos trágyatermelés mintegy 15 ezer t településenként, az átlag szórása 27 ezer tonna. A nagy szórás a néhány kiugró trágyatermelésű (állatsűrűségű) település miatt adódik. A települések 67%-án (82-ből 55-ön) keletkező trágya mennyisége ugyanis kevesebb, mint 10 000 tonna/év (10. ábra), ez az összmennyiség 17 %-a (Szendrei-Grasselli, 2008).

A trágyából fejleszthető **biogázpotenciál** összesen mintegy 50 millió m³-t tesz ki, a két állat eltérő településenkénti számaránya következtében a fajlagos biogázkihozatal a 38,21-es átlagértéktől 7,85-es szórással tér el (m³/nagyállategységben). Az egy településen termelhető biogázmennyiség minimálisan 7 ezer m³, maximálisan 5,7 millió m³, átlag 606 ezer m³, mintegy 1 millió m³-es szórással. A biogázpotenciál területi eloszlása néhány nagyobb központon kívül általában egyenletes: 72 településen 0-2,5%-nyi áll rendelkezésre, 5 településen 2,6-5%-nyi, 2 településen 5,1-7,5%-nyi, 2 településen 7,6-10%-nyi és 1 településen 10% fölötti (11. ábra) (Grasselli-Szendrei, 2007c).



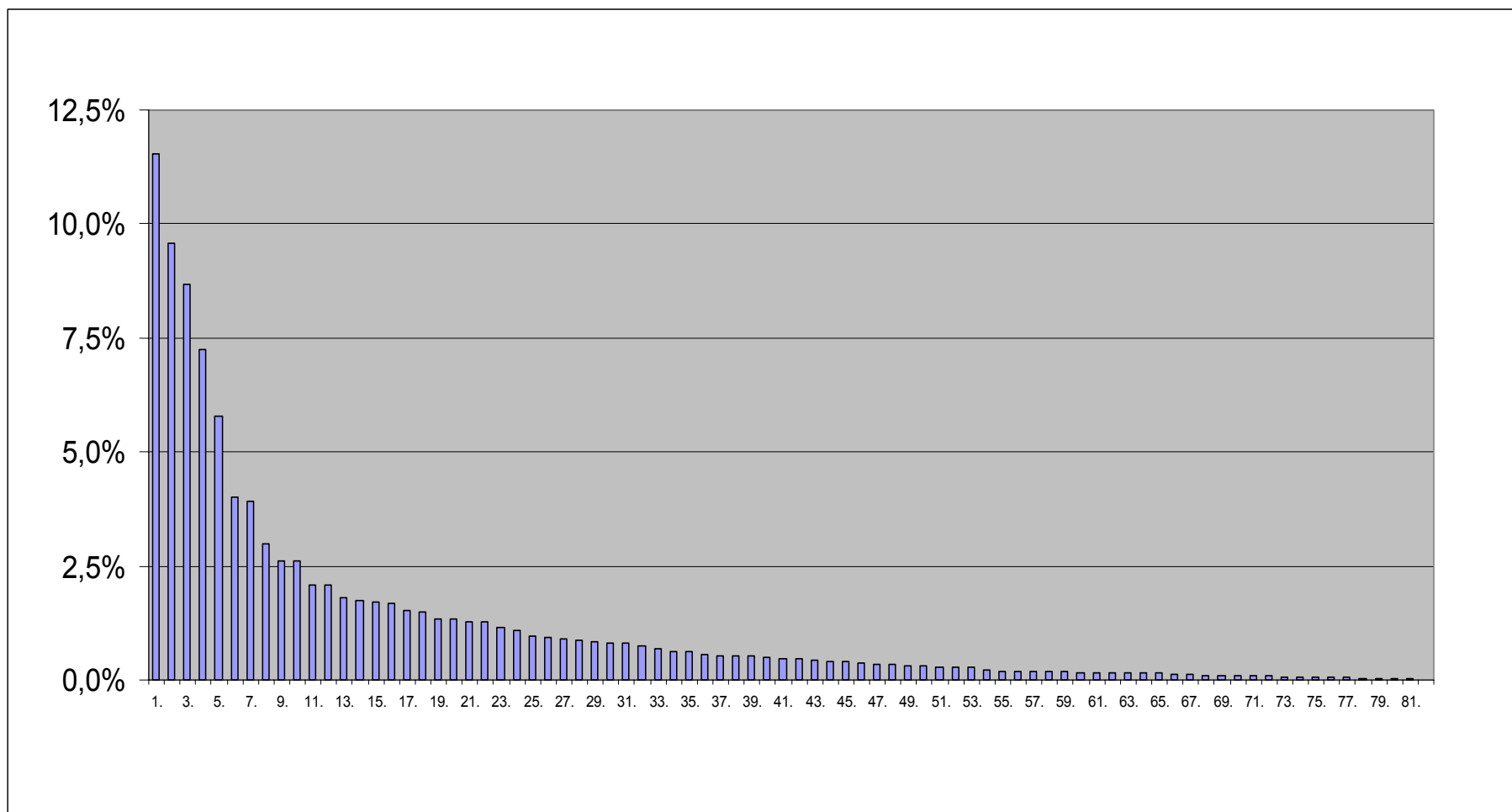
9. ábra: A szarvasmarha- és a sertésállomány Hajdú-Bihar megyében (1995-2020)

Forrás: KSH, saját számítások



10. ábra: Trágyamennyiség Hajdú-Bihar megyében 2000-2005 évek átlagában

Forrás: saját (a településnevek az 58. táblázatban szerepelnek)



11. ábra: A megyei biogázpotenciál eloszlása a települések között
 Forrás: saját (a településnevek a Függelékben az 58. táblázatban találhatóak)

4.2. A BIOGÁZTERMELÉS LOGISZTIKAI (ÜZEMTELEPÍTÉSI) SZEMPONTJAI

4.2.1. A biogáztermelés logisztikájának alapjai Hajdú-Bihar megyében

A megyei biogázpotenciál településenkénti értékei alapján 500, 300 és 100 kW_{el}-os minimális mérethatárral vizsgáltam a Hajdú-Bihar megye településeinek biogázpotenciáljához tartozó, **szállítás nélkül és szállítással elérhető üzemméreteket**, az adott alsó üzemi mérethatárral és településstruktúrával **kihasználható biogázpotenciált**, valamint mindennek a **szállítási igényét**.

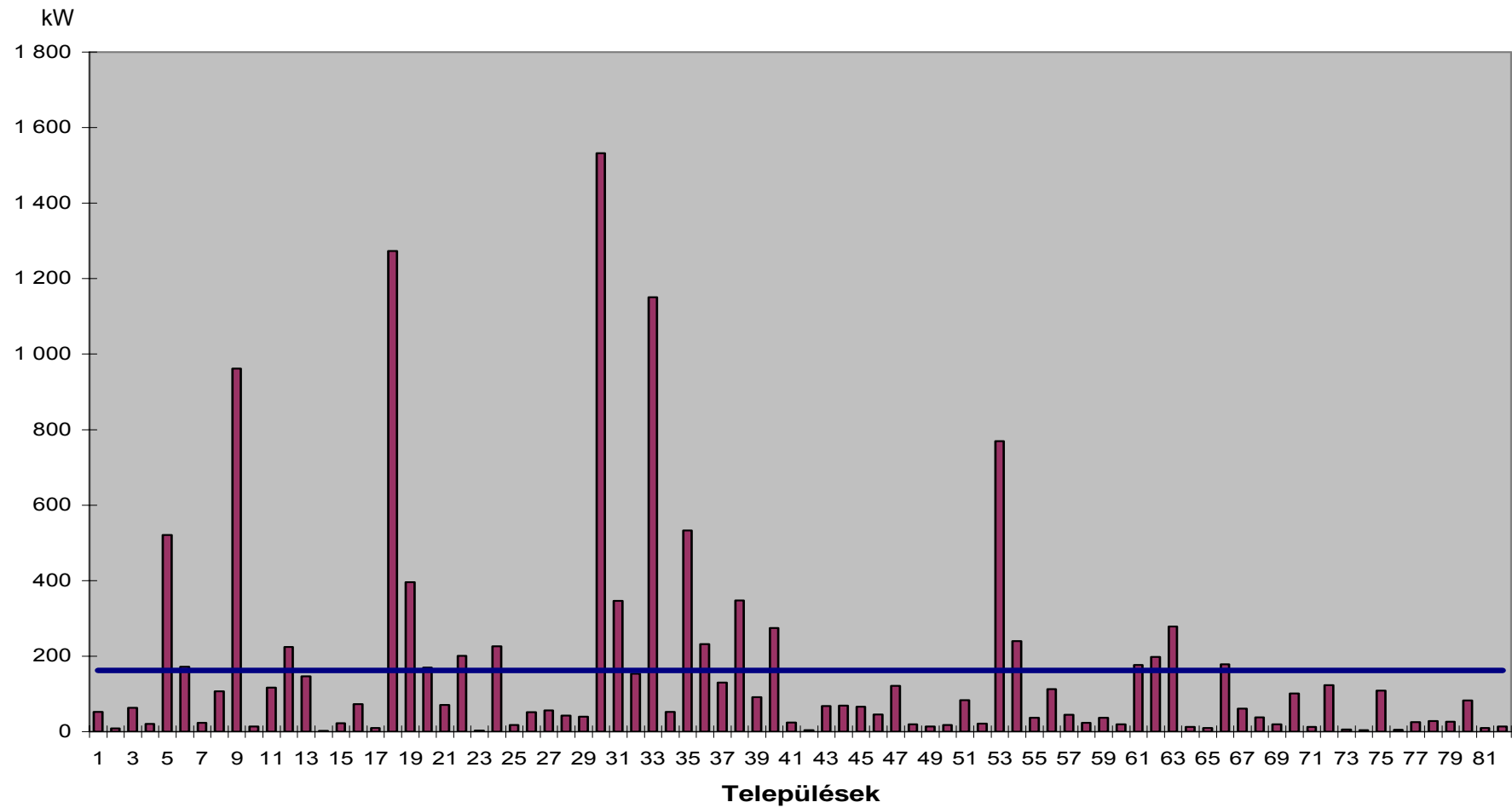
A szarvasmarha- és sertéstrágyára alapozott biogázfejlesztés lehetséges üzemméretei települések közötti alanyagszállítás nélkül Hajdú-Bihar megyében az állománynagyságok, az ebből keletkező trágyamennyiség és a biogázpotenciál alapján volt számítható. Megállapítottam, hogy a megyében a rendelkezésre álló biogázpotenciálból egy településen maximálisan mintegy 1500 kW_{el}, átlagosan mintegy 160 kW_{el} nagyságú üzemek létesítésére nyílik mód (12. ábra, az átlag vonallal jelölve). Az 500, 300 és 100 kW_{el}-os alsó mérethatárral elérhető összteljesítményt, minimális és átlagos üzemnagyságot, a biogáztermelésbe bevonható települések számát, hányadát és az elérhető biogázpotenciál-kihasználást a 30. táblázat tartalmazza. Alsó méretkorlát nélkül elvileg 13,3 MW_{el} összteljesítményt lehetne megyei szinten elérni. Ugyancsak a 30. táblázatban látható a települések, a beépített teljesítmény és a biogázpotenciál megoszlása és átlagos értékei az egyes méretosztályokban. A legfelső méretkorláttal, minimum 500 kW_{el}-os teljesítménnyel 7 településen lehet erőművet létesíteni, összesen 6,7 MW_{el} teljesítménnyel. 300 kW_{el}-os minimum teljesítménnyel 10 településen, 7,8 MW_{el} összteljesítménnyel, míg 100 kW_{el}-os alsó teljesítményhatárral 32 településen, 11,6 MW_{el} összteljesítménnyel. Az átlagteljesítmények így 900, 700 és 300 kW_{el} fölöttiek, a legkisebb üzemek persze nem sokkal haladják meg a mérethatárt. A maximális üzemméret mindegyiknél a legnagyobb biogázpotenciállal bíró településen jelentkező 1,5 MW_{el}. Látható továbbá, hogy 500 kW_{el}-os minimum méretnél (a 7 településen) a potenciál 50%-a használható ki, ehhez a minimum 300 kW_{el}-os üzemméretű települések még 8%-ot adnak hozzá, a minimum 100 kW_{el}-os üzemekkel

pedig már majdnem 90%-os kapacitáskihasználás érhető el. Amennyiben tehát a méretgazdaságosság lehetővé teszi, célszerű a 100 kW_{el}-os üzemek megvalósítása: a két faj trágyájának megfelelő kezelését több mint 85%-ban biztosítják.

30. táblázat: A biogáztermelés jellemzői Hajdú-Bihar megyében szállítás nélkül

Jellemzők	Me.	A jellemzők a mérethatár csökkenésének sorrendjében (kW _{el})			A jellemzők méretkategóriáinként (kW _{el})				Összes - átlag
		min. 500	min. 300	min. 100	500 fölött	300-500	100-300	100 alatt	Korlát nélkül
Bevonható települések	db	7	10	32	7	3	22	50	82
	%	8,5	12,2	39,0	8,5	3,7	26,8	61,0	100
Beépíthető teljesítmény	MW _{el}	6,7	7,8	11,6	6,7	1,1	3,8	1,7	13,3
Üzemméret (átlagos)	kW _{el}	963	783	363	963	363	172	33	162
Üzemméret (maximális)		1 533	1 533	1 533	1 533	396	278	91	1 533
Biogáz-potenciál-kihhasználás	%	50,8	59,0	87,5	50,8	8,2	28,5	12,5	100

Forrás: saját számítás



12. ábra: Hajdú-Bihar megyében szállítás nélkül elérhető üzemméretek

Forrás: saját (a településnevek az 58. táblázatban szerepelnek)

A szarvasmarha- és sertéstrágyára alapozott biogázfejlesztés lehetséges üzemméretei Hajdú-Bihar megyében települések közötti alapanyagszállítással a következő kérdés, amit az alapanyag felhasználása illetve a lehetséges üzemméretek meghatározása során megvizsgáltam. Az előzőekben megállapított erőműméreteket illetve összteljesítményt tovább **növelni az állati trágya odaszállításával** lehet. Megvizsgáltam, hogy az 500, 300 és 100 kW_{el}-os minimális teljesítményhatárokat teljesítő településekre – mint központokba – szállított alapanyaggal milyen mértékben lehet kihasználni a rendelkezésre álló állati trágya energiatartalmát, és ehhez mekkora szállítási igény párosul. Az 31. táblázatban a **biogázpotenciál 60, 70, 80, 90 és 100%-os kihasználásához** tartozó szállítási munka látható.

31. táblázat: A biogázpotenciál kihasználása az egyes méretkategóriákban

Jellemző	Me.	Méret-határ (kW _{el})	Potenciálkihasználás szintjei				
			60%	70%	80%	90%	100%
Összes beépíthető teljesítmény	MW _{el}	-	8,1	9,3	10,7	11,9	13,3
Települések száma	db	500	16	25	35	53	82
		300	12	25	35	54	82
		100	11	16	24	44	82
		100*	11	16	24	32	32
Átlagos szállítási távolság	km	500	9,7	11,2	13,5	15,8	19,2
		300	5,8	9,9	12,5	15,5	19,1
		100	0,0	0,0	0,0	5,0	11,4
Szállított trágya tömege	ezer t	500	131,9	253,6	374,1	483,8	623,2
		300	13,7	149,1	277,1	388,8	526,2
		100	0,0	0,0	0,0	29,5	170,2
Fajlagos szállítási munka	$\frac{\text{tkm}}{\text{kW}_{el}}$	500	157,3	304,6	471,6	639,6	900,2
		300	10	158	323,5	504,4	755
		100	0,0	0,0	0,0	12,2	157,3
Átlagos üzemméret	kW _{el}	500	1 160	1 330	1 530	1 710	1 900
		300	800	930	1 070	1 200	1 330
		100	740	580	450	370	410

Forrás: saját számítás

*Megjegyzés: a településekből az 500 kW_{el}-os méretnél 7 db, a 300 kW_{el}-os méretnél 10 db, a 100 kW_{el}-os mérethatárnál a táblázatban jelölt számú körzetközpont szükséges az egyes potenciál-kihasználási szintek eléréséhez.

A térségi adottságok mellett a legkisebb, 100 kW_{el}-os minimális nagysággal bíró erőművek megvalósításával szállítás nélkül is 85% fölötti erőforráskihasználás érhető el, ami gázkihozataalt fokozó adalékok nélkül is 10,7 MW_{el} összteljesítményt jelent megyei szinten. A 300 kW_{el}-os mérethatárnál már a 80%-os erőforrás-

kihasználáshoz is 280 ezer tonna trágya megmozgatása szükséges, átlag 12,5 km távolságra, az 500 kW_{el}-os mérethatárnál pedig ehhez a 80%-hoz mintegy 375 ezer tonna trágyát kell elszállítani átlag 13,5 km-re. A 90%-nyi kapacitáskihasználáshoz pedig, míg a legkisebb méretkategóriában elég mintegy 30 ezer tonna trágyát fuvarozni átlag 5 km-re, addig a 300-kW_{el}-os határnál közel 400 ezer tonna trágyát kell 15,5 km-re szállítani, az 500 kW_{el}-os határnál pedig majd 500 ezer tonna trágyát kell elszállítani 15,8 km-re.

Megvizsgáltam, hogy az egyes körzetközpontokba azonos mennyiségű trágya beszállításával növeljük az erőművek (össz)teljesítményét. Az összteljesítmény további 0,5, 1 illetve 1,5 MW_{el}-tal való növelése az egyes méretkategóriáknál különböző összteljesítménnyel, valamint eltérő összes és fajlagos szállítási munkával jár, amit a 32. táblázatban foglaltam össze (Grasselli-Szendrei, 2007c).

32. táblázat: Az összteljesítmény növelésének szállítási igénye

Jellemző	Me.	Méret-határ (kW _{el})	Összteljesítmény-növelés (MW _{el})			
			-	+0,5	+1	+1,5
Összteljesítmény	MW _{el}	500	7,8	8,3	9,9	10,8
		300	6,7	7,2	7,7	8,2
		100	11,6	12,1	12,6	13,1
Összes szállítási munka	ezer tkm	500	0,0	509,1	837,9	1 423,2
		300	0,0	25,8	51,3	59,0
		100	0,0	44,9	89,5	154,4
Fajlagos szállítási munka	$\frac{\text{tkm}}{\text{kW}_{el}}$	500	0	70,3	108,2	172,7
		300	0	3,1	5,2	5,4
		100	0	3,7	7,1	11,8

Forrás: saját számítás

A táblázatból megállapítható, hogy az összteljesítmény további 0,5, 1 illetve 1,5 MW_{el}-tal való növelése a min. 500 és min. 100 kW_{el}-os méretkategóriánál jár a legnagyobb **szállítási munkával**, míg a min. 300 kW_{el}-os alsó méretnagyságnál a legkevesebbel. **Fajlagosan** is a bővítés a 300 kW_{el}-os alsó mérethatárnál a legkisebb szállítási igényű, 3,1; 5,2 ill. 5,4 tkm/kW_{el} pótlólagos szállítási ráfordítással.

Alapanyagszállítás nélkül **a megyei adottságokkal**, szarvasmarha- és sertéstrágya esetében **a szállítás energiaigénye és a biogázpotenciál kihasználása alapján** a vizsgált méretkategóriák közül a 100 kW_{el}-os minimális nagyságú erőművek megvalósítása indokolt. A **fajlagos szállítási munka alapján** a 300 kW_{el}-os mérethatárnál kijelölt körzetközpontokra történő ráhordás a tanácsos. Ekkor az átlagos

üzem nagyság a 10 település körében az összteljesítményt 0,5, 1 vagy 1,5 MW_{el}-tal növelve rendre 830, 990 vagy 1 080 kW_{el} lesz.

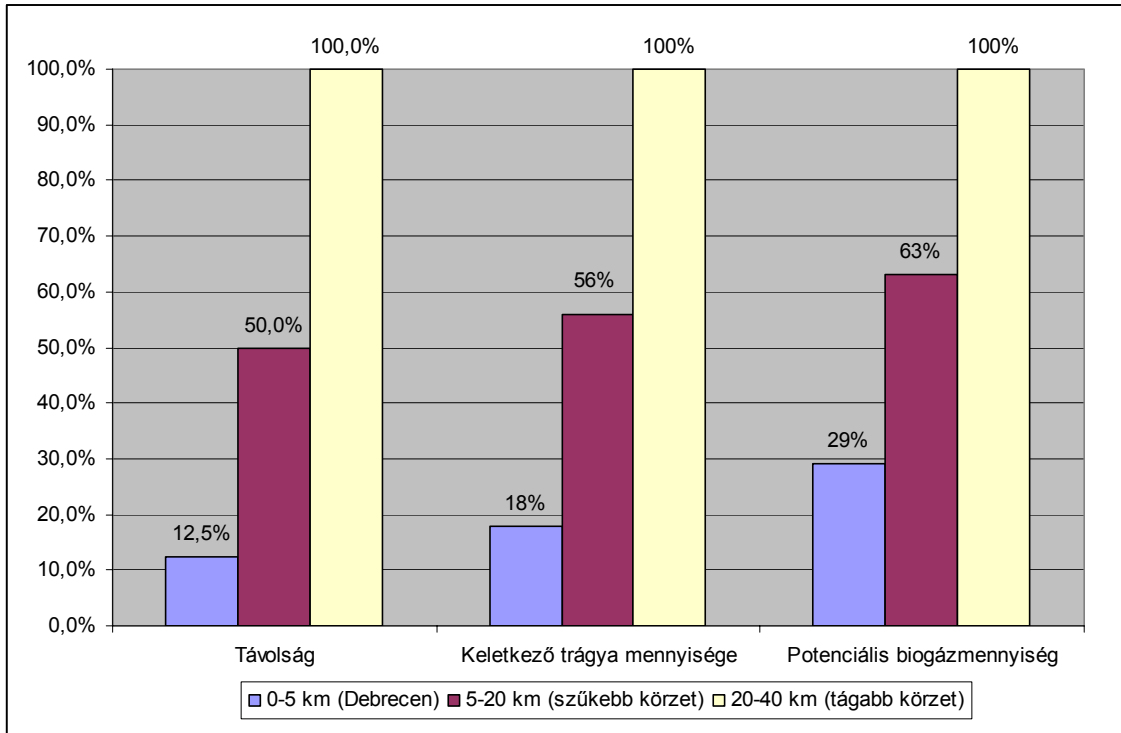
4.2.2. A logisztika energiamérlegének racionalizálását szolgáló tényezők

A szállítás optimalizálásánál egy fontos szempont a **biogázpotenciál körzetközpont körüli koncentrálódása**. A településenkénti állatlétszám ismeretében megvizsgáltam a Debrecen körüli 5, 20 és 40 km-es körbe eső települések biogázpotenciálját és annak eloszlását. A biogázpotenciál számításának eredményei a 18 és 19. ábrán láthatók.

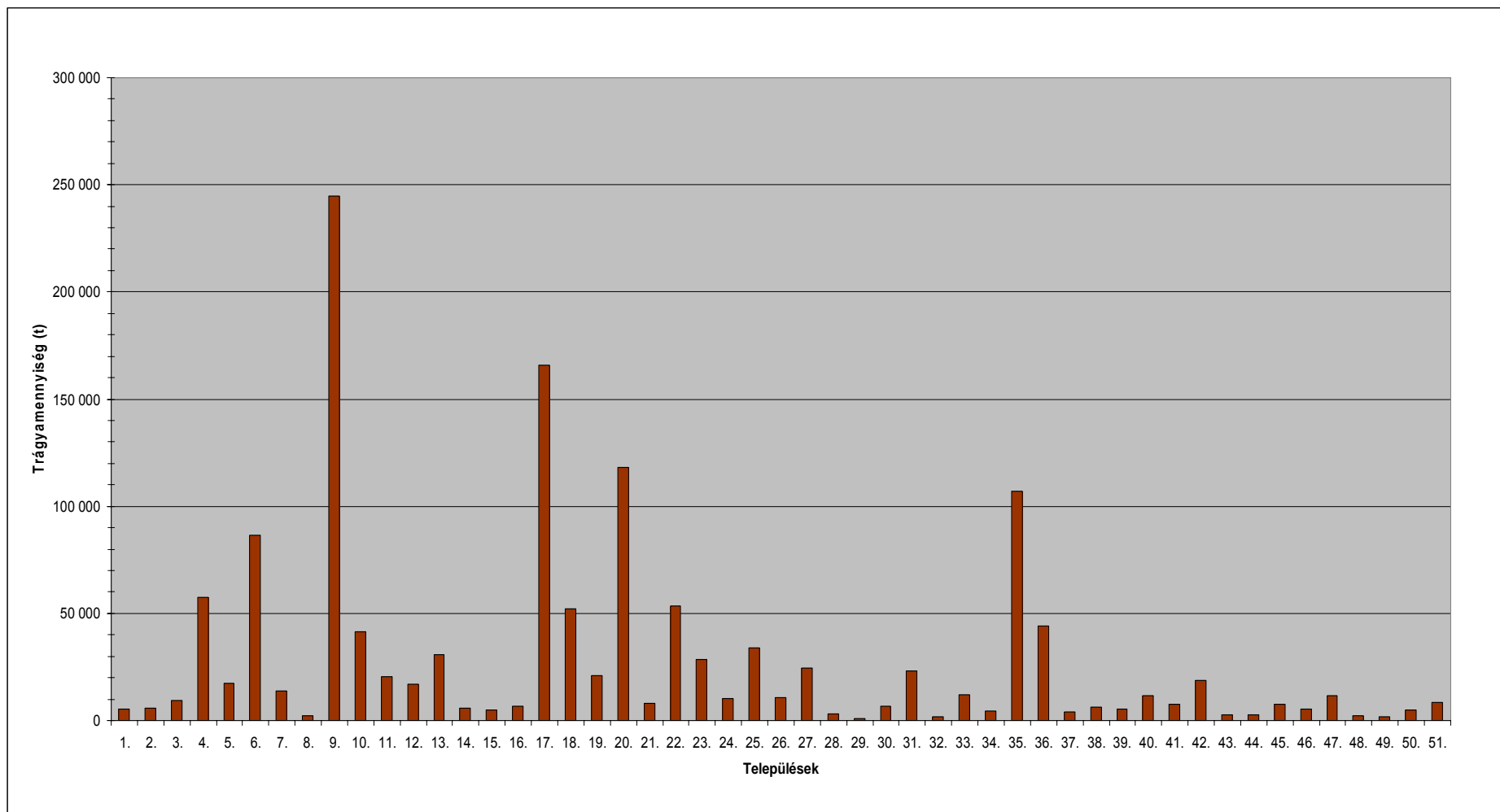
A **40 km-es sugarú körön belül** vizsgált településeken 690 ezer tonna szarvasmarhatrágya, 400 ezer tonna sertésbétrágya, 170 ezer tonna juhtrágya, 100 ezer tonna tyúktrágya és 30 ezer tonna pulyktrágya keletkezik. Ebből összesen mintegy 94 millió m³ (Függelék, 56. táblázat) biogáz fejleszhető, ami több mint 2 millió GJ energiával, illetve mintegy 36 millió tonna olajjal egyenértékű.

A **40, illetve 20 km sugarú körzetet** vizsgálva kimutattam, hogy a szűkebb körben található településeken található a tágabb körzet állatállományának 56%-a, biogázpotenciáljának 63%-a (13. ábra). Ezen a mintegy felényi sugarú körön, illetve negyedannyi területen több mint a fele található a potenciálnak.

A „**harmadik körben**” még nagyobb a koncentrálódás: a tágabb körzethez viszonyítva helyben a biogázpotenciál majdnem harmada található meg, holott a kör sugara negyede, területe pedig 1/16-a annak. Ezek az adatok azt jelentik, hogy a stabil piacnak számító Debrecen közelében érdemes biogázéreművet telepíteni, mivel kis szállítási távolságok mellett nagy energiamennyiséget lehet előállítani.

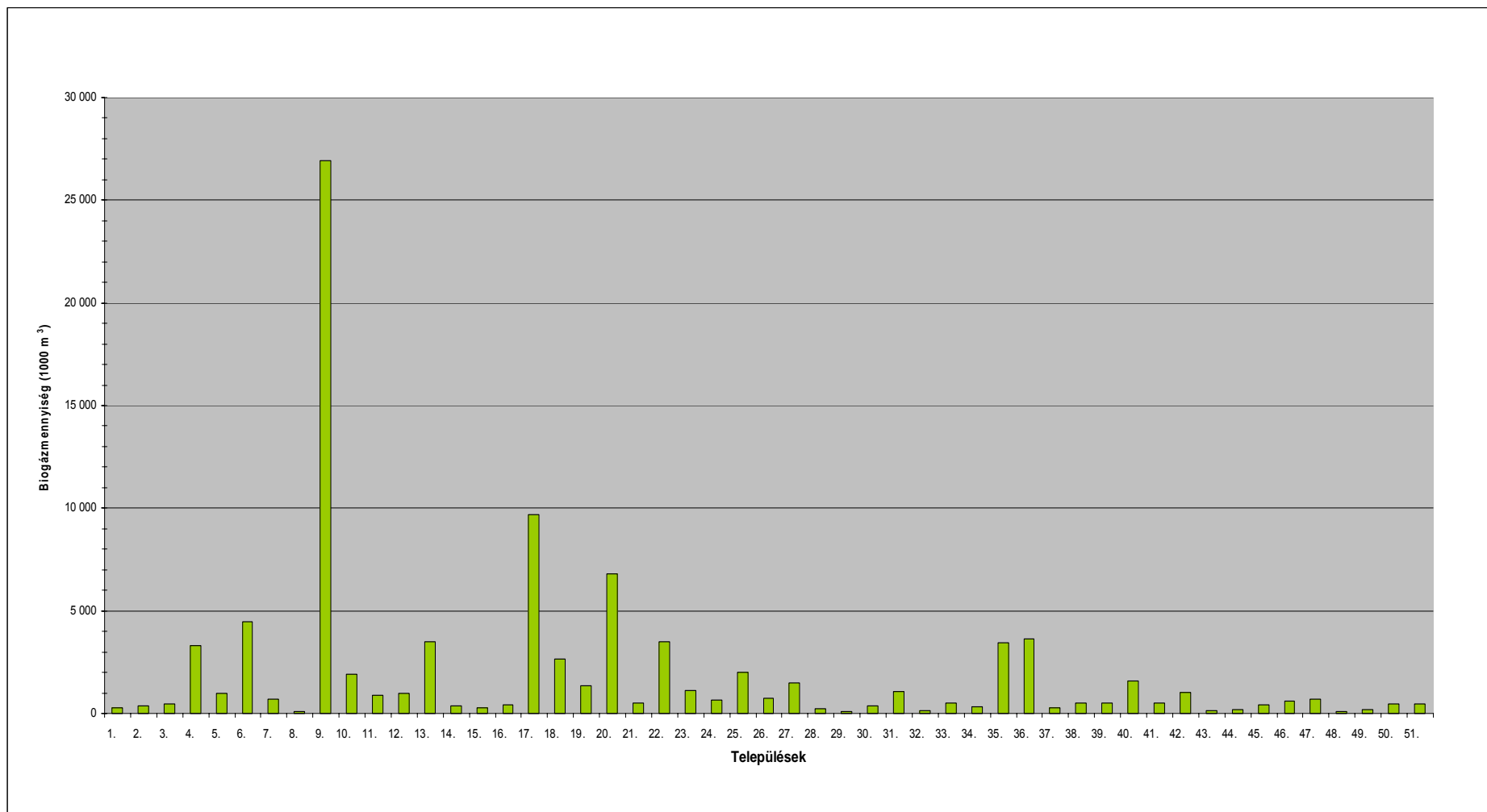


13. ábra: A Debrecen körüli biogázpoteenciál koncentrációja
 Forrás: saját számítás



14. ábra: A képződő trágya mennyisége a Debrecen környéki településeken

Forrás: saját számítás



15. ábra: A Debrecen környéki települések biogázpotenciálja
 Forrás: saját számítás

Meghatároztam az **alapananyagok legnagyobb szállítási távolságát a szállítás energiamérlege alapján**. Az alapananyagok szállítási energiaigénye (nehéz tehergépkocsival földúton 1,05, közúton 0,93 MJ/tkm) és a belőlük kinyerhető biogáz energiatartalma (MJ/t) alapján meghatároztam azt a szállítási távolságot (km), ahol a szállítás energiaigénye eléri a kinyerhető energia mennyiségét (33. táblázat).

33. táblázat: Az állatfajonkénti energiaegyensúlyi szállítási távolság

Állatfaj	Biogázenergia- egyenérték	Szállíthatóság földúton	Szállíthatóság közúton
	MJ/t	km	km
szarvasmarha	1,20	1,14	1,29
sertés	0,36	0,35	0,39
juh	1,20	1,14	1,29
tyúk	6,80	6,49	7,31
pulyka	7,23	6,91	7,78

Forrás: saját számítás

Megállapítottam, hogy energiamérlegük alapján a vizsgált alapananyagok közül az alom nélküli tartásból származó sertés hígtrágyát (4,5% szárazanyagtartalom mellett) fázisbontás nélkül gyakorlatilag nem érdemes tengelyen szállítani, a kérődzők esetében csak szomszédos üzemek között, míg baromfitrágya esetén települések között is célszerű lehet szállítása. Ugyanakkor megjegyzendő, hogy lényegesen javul a szállítás energiamérlege (és gazdaságossága) a sertéstrágya szeparálás utáni, növelt szárazanyagtartalmú szállítása esetén.

A számított távolságot meghaladó szállítást az energiamérlegen túl egyéb tényezők is indokolhatják, pl. környezetvédelmi szempontok, fosszilis energiaforrások elérhetőségének romlása, munkahelyteremtés ill. -megőrzés.

4.3. A BIOGÁZTERMELÉS HATÉKONYSÁGNÖVELÉSI VIZSGÁLATAINAK EREDMÉNYEI

Számadatokkal bizonyítottam, hogy a biogázfejlesztéshez jelentős mennyiségű alapanyag áll rendelkezésre Hajdú-Bihar megyében. Az agrár-műszaki fejlesztés egyik feladata, hogy elősegítse az eljárás hazai elterjedését: a meglévő potenciálból – a technológiák fejlesztésével illetve adaptálásával – minél jobb hatásfokkal történjen a biogáz előállítása. Ehhez célszerű fölmérni a különböző technológiai megoldásokat és azok közül kiválasztani a hazánkban is alkalmazható, illetve az egyes üzemekbe javasolható megoldásokat.

4.3.1. A biogázkihozatal növelésének kísérleti-fejlesztési eredményei

Hazánkban a legnagyobb elterjedésre a kezdeti szakaszban a folyamatos, nedves üzemű, mezofil eljárások számíthatnak. A gázhozam fokozása érdekében minden bizonnyal adalékanyagokat is adni fognak a fő alapanyagként szolgáló trágya mellé, illetve a biogáz fermentátum visszavezetése, alapanyagként való felhasználása is várható. Az alkalmazás segítésére az adalékolás és az alapanyagok vizsgálatára irányuló szakaszos és folyamatos üzemű kísérletek tervezésében és végrehajtásában vettem részt.

Szakaszos üzemben végzett vizsgálatok során (Grasselli et al., 2008) a nyírbátori, gyöngyösi és a gödöllői laboratóriumokkal a fázisbontott biogáz-fermentátum beltartalmi és gázkihozatali mutatóit határoztuk meg, önmagában és kukorica-cukorcirok szilázs adalékkal. A szilázs esetében az aprítás hatását, szennyvíziszap és szarvasmarha hígtrágya alapján az oltóanyagok eltérő hatását vizsgáltuk. Összevetettük a gázkihozatali adatokat a minták beltartalma alapján számított elméleti gázkihozattal. Vizsgáltuk a szállítás során egyes jellemzők változását.

Az egyes minták elméletileg várható gázkihozatalát Magyarországon eddig még nem használt módszer alapján beltartalmi adatokból számítottam, a kísérletek eredményeivel való összevetés céljából (36. táblázat). Az módszer és az egyes minták jellemzése a 3.3.1 fejezetben található.

34. táblázat: A minták elméleti gázkihozatala

Minta a ssz.	Minta megnevezése	Gáz- kihozatal	CH ₄ - arány	CH ₄ - kihozatal	Gáz- kihozatal	CH ₄ - kihozatal
		NI/kg sze.a.	V%	NI/kg sze.a.	NI/kg e.a.	NI/kg e.a.
T01	vágóhídi szennyvíz	4404,2	68,6	3021,6	2,0	1,4
T02	szennyvíziszap	287,8	55,8	160,7	8,7	4,8
T03	szeparált híg	1565,4	70,5	1103,6	21,1	14,8
T04	szilázs	498,2	53,4	265,8	111,0	59,2
T05	szarvasmarha almos trágya	381,2	54,5	207,8	57,9	31,6
T06	szeparált szilárd	437,6	52,9	231,5	92,0	48,7
T07	szilázs	499,5	52,6	263,0	112,5	59,2
T08	szarvasmarha almos trágya	474,1	54,2	257,0	56,8	30,8
T09	inokulum szarvasmarha hígtrágya	375,4	51,3	192,7	24,3	12,5
T10	szeparált híg	1244,8	70,8	881,7	17,2	12,2
T11	szeparált szilárd	435,5	53,1	231,1	75,7	40,2

Forrás: saját számítás

Megjegyzés: e.a. = eredeti anyag, sze.a. = szerves anyag

A szállítás során fellépő erjedési veszteségek meghatározásához mértük a minták hőmérsékletét és pH-ját a szállítás elején és végén, a Nyírbátor-Gyöngyös-Gödöllő útvonalon (35. táblázat). A minták zárt edényben, 30°C-ot meghaladó külső hőmérséklet mellett tették meg az utat, nagyrészt autópályán, ami magyarázhatja a lehülést.

35. táblázat: Hőmérséklet és pH-változás a kísérleti minták szállítása során

Minta ssz.	Minta megnevezése	Hőmérséklet (°C)		pH érték	
		Mintavétel	Laboratórium	Mintavétel	Laboratórium
T03	szeparált híg fázis	41,0	22,0	8,0	8,5
T04	kukorica+círok szilázs	27,0	22,2	4,0	4,1
T05	szarvasmarhatrágya	36,0	22,5	7,4	7,2
T06	szeparált szilárd fázis	41,0	22,0	8,1	8,7

Forrás: saját számítás

Szállítás közben a minták hőmérséklete csökkent, a pH pedig a várt savasodás helyett (egy kivétellel) kissé emelkedett, így a vizsgáló laboratóriumokig megtett mintegy három óras út alatt nem következett be a minták kiértékelését beltartalmat és a gázkihozatalt alapvetően befolyásoló változás.

Az adalékanyagok és az oltóanyagok hatását a gázkihozatalra mérésekkel határoztuk meg **szennyvíziszap** (T01-06 minták) és **szarvasmarha hígtrágya** (T07-T11 minták) **oltóanyag** által. A mért értékeket a számított elméleti értékekkel együtt a 36. táblázatban foglaltam össze. A két kísérletsorban a gázkihozatali értékek között mért eltérések valószínű okai az eltérő oltóanyag, az egyes sorozatokhoz alapul vett minták eltérő beltartalma, ill. a két kísérletsor eltérő lefutási ideje.

36. táblázat: A minták mért és elméleti gázkihozatala

Sor-szám	o.a.	Minta megnevezése	Kísérleti gáz-termelés	Gáz-termelés 30 napra	Elméleti gázkihozatal	Eltérés az elméleti értéktől	Gázkihozatal
			[NI/kg sze.a.]	[NI/kg sze.a.]	[NI/kg sze.a.]	[NI/kg sze.a.]	NI/kg e.a.
T01	szi	vágóhídi szennyvíz	0	0	4 404,20	-4 404,20	2
T02	szi	szennyvíziszap	–	–	287,8	-287,8	8,7
T03	szi	szeparált híg fázis	0	0	1 565,4	-1 565,4	21,1
T04	szi	szilázs aprítatlan	137,5	412,5	498,2	-85,7	111
	szi	szilázs 1. aprított	91	273	498,2	-225,2	111
	szi	szilázs 2. aprított	135,3	405,9	498,2	-92,3	111
	szi	szilázs 3. aprított	123,8	371,4	498,2	-126,8	111
T05	szi	szarvasmarha trágya	80,9	242,7	381,2	-138,5	57,9
T06	szi	szeparált szilárd fázis	0	0	437,6	-437,6	92
T07	szh	szilázs aprítatlan	4,9	147	499,5	-352,5	112,5
	szh	szilázs 1. aprított	29,2	876	499,5	376,5	112,5
	szh	szilázs 2. aprított	26,5	795	499,5	295,5	112,5
	szh	szilázs 3. aprított	24,4	732	499,5	232,5	112,5
T08	szh	szarvasmarha trágya	12,5	375	474,1	-99,1	56,8
T09	szh	inokulum sz.m.	–	–	375,4	-375,4	24,3
T10	szh	szeparált híg fázis+ szilázs (1%)	31,1	933	1 244,8	-311,8	17,2
T11	szh	szeparált szilárd fázis	8,5	255	435,5	-180,5	75,7

Forrás: FVM MGI kísérleti mérések és saját számítás

Megjegyzés: e.a.: eredeti anyag, o.a.: oltóanyag, szi.: szennyvíziszap, szh: szarvasmarha hígtrágya

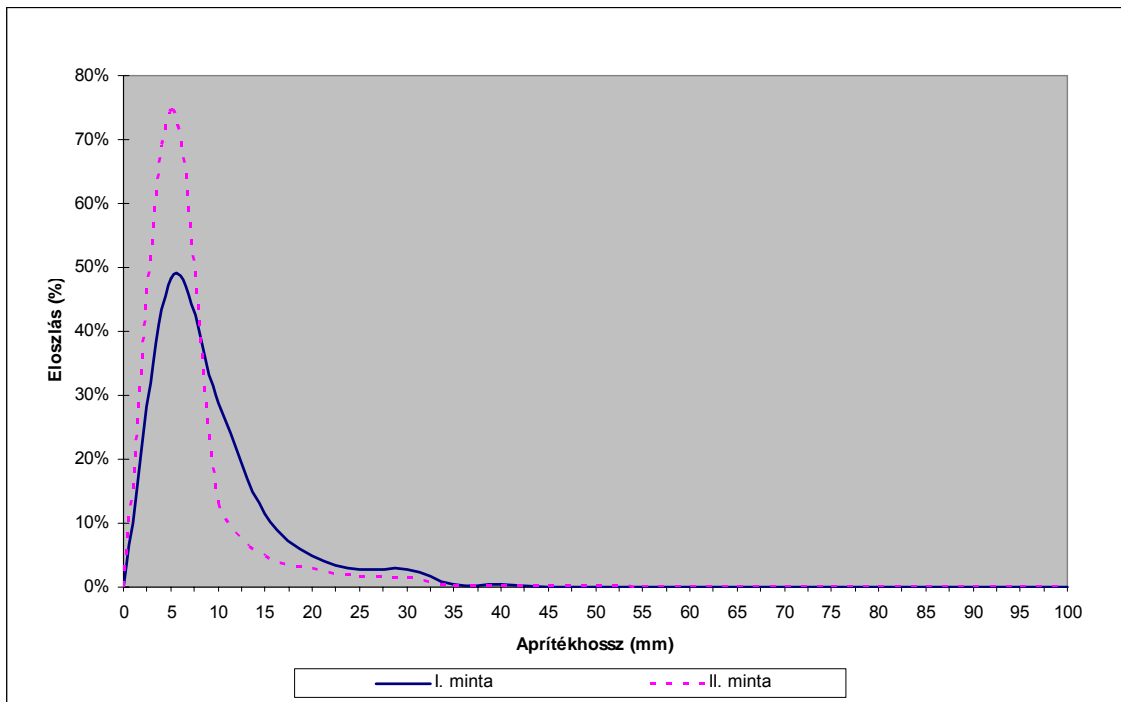
Az eltérő aprítottság hatását a gázkihozatalra különböző aprítottsági fokú szilázsból vizsgáltuk, azonos mennyiséget keverve az oltóanyaghoz. A kísérletekben nem volt egyértelműen kimutatható az eltérés, az első mérésnél az aprítatlan szilázs, második mérésorozatban az 1. aprítási fok adta a legnagyobb gázkihozatalt (36. táblázat, a T4 ill. T7 minták esetében). A 2. mérésornál az 1., 2. és 3. aprítási fokra mért értékekből 30 napra korrigált gázkihozatal meghaladta az elméletileg várható értéket is, ami az első mérésorozatban egyik beállítással sem fordult elő. Ezt valószínűleg az okozhatta, hogy a 2. sorozatban a mérések a termelési görbe intenzív részén álltak le, tehát időarányosan kivetítve a gáztermelést nagyobb érték adódott, mint amit a termelés végigfutása eredményezett volna.

A biogáz fermentátum gázkihozatalát fázisbontást követően vizsgáltam. Megállapítottam, hogy a vizsgált szeparátumok a folyamat elejére visszavezetve a **kísérletek egy részében gáztermelésre alkalmasak** voltak (36. táblázat, T10 és T11 minták). (A T03 és T06 minták esetében a 0 gáztermelés feltehetően a szarvasmarhatrágya alapú biogázfermentátum és a szennyvíziszap eltérő baktériumkultúrájának összeférhetetlenségéből adódott.) Megállapítottam továbbá, hogy a biogázfermentmaradék fázisszétválasztás utáni híg fázisa, beltartalmi mutatói alapján, a folyamat **technológiai vízigényének biztosítására** alkalmasabb, mint a vizsgált élelmiszeripari szennyvíz.

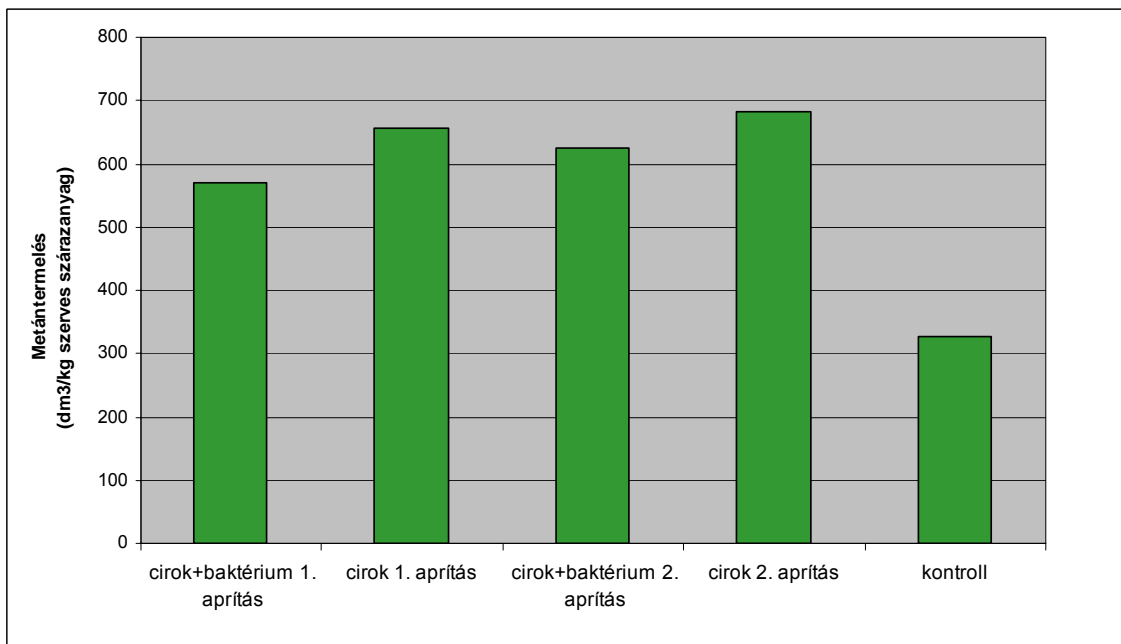
Folyamatos üzemű vizsgálatok keretében a **cukorcirok apríték hosszeloszlása, baktériumadalékolása és gázkihozatala összefüggéseit** vizsgáló mezőtúri laboratórium kísérleteinél a kísérletek tervezésében, az aprítékminták lemérésében és a kiértékelésben vettem részt. Cukorcirok adalékanyag hatását vizsgálva a gázkihozatalra megállapítottam, hogy az **alapanyag eltérő méreteloszlása** (8. ábra) nem befolyásolja szignifikánsan a biogáztermelést, ha az átlagos szecskahosszban nincs szignifikáns eltérés.

Megállapítottam, hogy az önmagában adagolt és a vizsgált oltóbaktériummal kezelt cukorcirok apríték biogázkihozatala közt egyik aprítottsági változatnál sem volt statisztikailag igazolható mértékű eltérés. A cukorcirokkal adalékolt és az adalék nélküli (kontroll) sertéshígrágya gázkihozatala közt szignifikáns eltérés volt mérhető, a 32 napos, folyamatos rendszerű mérésből a **cukorcirok adalék fajlagos metántermelése** a

sertéstrágyához képest a négy beállítás átlagában 619 dm³/kg-nak adódott, a sertéshígtrágya fajlagos metántermelése 326 dm³/kg volt (17. ábra).



16. ábra: Cukorcirok apríték hosszeloszlása
 Forrás: saját számítás



17. ábra: Cukorcirok adalék gáztermelése
 Forrás: saját számítás

A **kísérletek statisztikai kiértékelhetőségét és eszközigényét** vizsgáltam egyrészt a szükséges ismétlések száma, másrészt a szakaszos és a folyamatos kísérletek metodikája szempontjából. A több kísérlet futtatásával kapott gázkihozatali átlagértékek szórásának ismerete szükséges a tényleges (üzemi) gázkihozatal határértékeinek becsléséhez.

Szakaszos üzemű kísérleteknél minimum két sikeres futtatás szükséges (két párhuzamos minta) 30 napig (ill. más módszer szerint 21 napig). Igazán elfogadható, ha ezt még legalább egy ismétlés követi, a következő ciklusban, így a statisztikai feldolgozásnál az adott szubsztrát gázkihozatali eredményei $n=3$ elemszámú adathalmazzal értékelhetők ki.

A **folyamatos üzemű kísérlet**, miután egy beindítási és egy stabilizálási szakaszt követően megkezdődnek a mérések (37. táblázat), minden napra elvileg ugyanazt a gázkihozatali értéket kellene adnia. Itt a napi mért értékek ingadozása megfelel a gázkihozatal (üzemi körülmények közt is jelentkező) szórásának, azaz ahány napig folyik a mérés, annyi elemszámunk lesz a statisztikai kiértékeléshez. Az idézett forrásban (Kalmár et al., 2007) 21 napig történik a mérés, ahol minden napi mérés egy külön gázkihozatali értéknek fogható fel, $n=21$ adatot kapunk.

37. táblázat: Kísérleti metodika szakaszos üzemű kísérletekhez

S.sz.	Folyamat-szakasz	Idő-tartam (nap)	Kezelések fermentoronként			
			1. Kontroll	2. Kezelés 1.	3. Kezelés 2.	4. Kezelés 3.
1.	Homogenizálás	3-7	Azonos körülmények, input anyagok homogenizálása			
2.	Stabilizálás	14-21	Alapanyag utántöltés, azonos kiindulási körülmények biztosítása az összehasonlításhoz			
3.	Összehasonlítás	14-42	Kezeléskombinációk, folyamatos üzemmód			
4.	Kierjesztés	42 -	Kezelések nincsenek, szakaszos üzemmód			

Forrás: Kalmár et al., 2007 alapján (kezelésnevek általánosításával)

A fentiek alapján egy minta bevizsgálásához (a kontroll kísérletet nem számítva) szakaszos üzemnél 2 (ill. 3) edény x 21 (30) nap = 41 – 90 műszernap, míg folyamatos üzemben 1 edény x 42 (–63) nap = 42 – 63 műszernap szükséges. A kísérletekből nyerhető adatok szempontjából, 21 gázkihozatali adathoz szakaszos üzemben 21 edény szükséges a kierjesztés idejéig (21 vagy 30 nap), míg folyamatos üzemben egy edény elég, hogy a 42. napra megkapjuk ezt az adatmennyiséget. Az utóbbi módszer alkalmazásának feltétele, hogy a rátöltéshez szükséges anyag állandó összetételű maradjon a kísérlet folyamán.

4.3.2. A biogázfejlesztés rendszerintegrációjának eredményei

A biogázézeljárás hatékonyságnövelési lehetőségeit vizsgálva kimutattam, hogy szarvasmarha és sertés fajok esetében a biogázézeljárás alkalmazásakor a **rendszer szintű, rendszerszemléletű fejlesztésekkel** jelentős előnyök érhetők el, mind az adott térség, mind az adott biogázüzem szintjén. Sok esetben a **méretgazdaságossághoz szükséges üzemméret** az adott helyen csak a különböző ágazatokból származó alapanyagok együttes felhasználásával érhető el.

A sertés és szarvasmarha trágyájának együttes felhasználásával az összes és a **fajlagos energiatermelés** 7,5–53%-kal **növelhető**, ha a biogáz termelése egy adott helyen több ágazat összehangolásával történik (38. táblázat). A szarvasmarha és sertés trágyájának együttermelésére fellelt szakirodalmi együtthatókkal kiszámítva évi 7,5%-kal több biogáz termelhető a sertés és a szarvasmarha trágyájának külön erjesztéséhez viszonyítva. A szarvasmarhatrágya bekeverése növeli a sertéstrágya szárazanyag-tartalmát (a sertéstrágyához viszonyítva több mint másfélszeresre), 1:1 arányban adva azonban összességében nem éri el a kívánt 8%-ot. Az egységnyi szerves anyagra vetített gáztermelés a sertéstrágya esetében magasabb, a keverés hatására a szarvasmarhatrágyához képest mérhető javulás. Egységnyi reaktortérfogatra (avagy betáplált trágyamennyiségre), illetve nagyállategységre vonatkoztatott gáztermelés viszont – a nagyobb szárazanyag-tartalomból adódóan – a szarvasmarhatrágya esetén nagyobb; így összességében a sertéstrágyával szemben érhető el javulás (38. táblázat). Az adott keverési aránynál a javító hatás összességében 10% alatti, de az együttermeléssel a szarvasmarhatrágya szivattyúzhatóvá, a sertéshígtrágya kezelése pedig gazdaságosabbá válik.

Egy adott üzemméret-határ elérése sertés és szarvasmarha trágyájának együttes felhasználásával is megoldható. A biogázézeljárásban az alapanyagok megválasztásánál elsősorban a különböző állatfajok trágyáját kell figyelembe venni, mivel a mezőgazdasági inputok közül legnagyobb mennyiségben ez keletkezik, és bekerülési

költsége is ennek a legkisebb. Ezt az is alátámasztja, hogy a mezőgazdaság termékei közül egyébirányú hasznosíthatósága ennek a legcsekélyebb, illetve itt lépnek fel a legköltségesebb (hulladék)kezelési feladatok.

A vizsgálatokkal kimutattam, hogy az 500 kW_{el} elektromos teljesítmény eléréséhez szükséges 41 TJ energiát szolgáltató 1,87 millió m³ biogáz sertés trágya esetében egyik településen sem termelődik meg, az 1. település esetében pedig szarvasmarhatrágyából sem (39. táblázat). A két trágyafajta együttes felhasználásával azonban mind a hét településen telepíthető ez az erőműnagyság. Az első településen így létesíthető üzem 7,7%-ot tesz ki az e körben vizsgált összes biogázpotenciálból, míg a többi településen a sertés telepek bevonása az üzemek termelését 18%-kal növeli. A sertés telepek az össztermelésből 14,5%-ot tesznek ki.

38. táblázat: Szarvasmarha és sertés trágyájának külön és együtt erjesztése

Mennyiség	Me.	Sertés-trágya	Szarvasmarha-trágya	Külön erjesztés	Együtt - erjesztés	Változás a külön erjesztéshez képest	Változás a kisebb részadathoz képest
Nagyállategység	n.e.	11,39	2,52	13,91	13,91	-	-
Trágya	t	278,63	47,57	326,19	326,19	-	-
Száranyanyag	%	4,00	22,41	-	6,68	-	167,11%*
Száranyanyag	t	11,15	10,66	21,80	21,80	-	-
Szervesanyag	t	9,13	9,13	18,25	18,25	-	-
Szerves anyag (40 nap)	t	1,00	1,00	2,00	2,00	-	-
Biogáz/sze.sza. (40 nap)	m ³ /t	569	380	949	1020	107,48%	179,26%**
Biogáz/év	m ³	5192,13	3467,50	8659,63	9307,50	107,48%	179,26%**
Éves gáz/reaktor-térfogat***	m ³ /m ³	18,63	72,90	26,55	28,53	107,48%	153,12%*
Éves gáz/állatlétszám	m ³ /Ne	455,85	1375,99	622,55	669,12	107,48%	146,79%*

Forrás: saját számítás a 3.3.2 fejezetben leírt forrásokból

* A sertés trágyához képest

** A szarvasmarhatrágyához képest

*** A reaktortérfogat a betáplált trágya térfogatából következik, ahol a 1 t trágya 1 m³ térfogatnak felel meg (Fenyvesi et al., 2003)

39. táblázat: A biogáztermelés lehetőségei az 500 kW_{el} üzemméret-tartományban

Települések	Potenciálisan kinyerhető biogáz mennyisége (ezer m ³)		
	Szarvasmarha	Sertés	Összesen
1.	1 822	125	1 947
2.	3 365	231	3 595
3.	3 619	1 141	4 760
4.	5 176	556	5 732
5.	3 816	489	4 305
6.	1 875	119	1 994
7.	1 886	991	2 877
Összesen:	21 559	3 652	25 211

Forrás: saját számítás

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

1. Irodalmi adatok alapján a biogáztermelés szempontjából **legfontosabb állatfajokra együtthatókat** dolgoztam ki, melyekkel az állatlétszám ismeretében az előállítható energia meghatározható. A módszert és az együtthatókat biogázerőművek tervezésénél, a megvalósíthatóság mérlegelésére lehet felhasználni.
2. Hajdú-Bihar megyében saját adatgyűjtés és KSH adatok alapján sertés és szarvasmarha trágyára alapozottan meghatároztam az egyes településeken termelhető biogáz mennyiségét és a telepíthető biogázüzemek nagyságát: megállapítottam, hogy a megyében **100 kW_{el} minimum teljesítménnyel a biogázpotenciál kihasználása több mint 85%**, 11,6 MW_{el} összteljesítménnyel, ugyanezen értékek 300 kW_{el}-nál 60% és 7,8 MW_{el}, míg 500 kW_{el}-nál 50% és 6,7 MW_{el}.
3. A biogáztermelés szempontjából optimális üzemméret elérése érdekében célszerű a kisebb állatállományoknál keletkező trágyát körzetközpontokba telepített biogázüzemekbe hordani. A fajlagos szállítási munka alapján **Hajdú-Bihar megyében** sertés- és szarvasmarhatrágyára alapozott biogáztermelésnél a **300 kW_{el}-os alsó mérethatárnál kijelölt körzetközpontokra történő ráhordás az optimális**, így ezek fejlesztése célszerű és támogatandó.
4. A Debrecen körüli 5, 20 és 40 km-es körzet vizsgálata kimutatta, hogy 5 km-en belül 27 millió m³, 20 km-en belül 59 millió m³, 40 km-en belül 94 millió m³ biogáz fejleszthető a fontosabb állatfajok trágyájából. A biztos energetikai felvevőpiacnak számító **Debrecen** 5 km-es körzetében a **teljes körzet biogázpotenciáljának 29%-a kiaknázzható**, ami 10,5 millió tonna olajjal egyenértékű gáz előállításának felel meg.
5. **Fermentmaradék** vizsgálatokkal megállapítottam, hogy fázisszétválasztás után a szilárd fázis szervesanyagtartalma 83,4%, szárazanyagtartalma 25,5%, a szeparált híg fázisé pedig 66,7% és 2,15%. A számottevő mennyiségű erjeszhető anyagot tartalmazó fermentmaradék **visszavezetéssel történő hasznosítása** az energiatermelés növelése mellett stabilizálja a folyamatot.
6. Kísérletekkel bizonyítottam, hogy a vizsgált baromfivágóhídi szennyvízzel a gázképződés nem indul be. Javaslatom szerint a **potenciálisan biogázfejlesztésre alkalmas**, gyakorlatilag számottevő szerves anyagot nem tartalmazó **anyagok** zsírleválasztás utáni aerob kezelése a célszerű.

7. A **beltartalmi méréseknél** az automata elemanalizátorban alkalmazott égetéses Dumas módszer esetében az N-tartalom értékek tendenciaszerűen alacsonyabbak, mint a Kjeldahl-féle össznitrogén-meghatározásnál. Az összehasonlíthatóság, és az átszámíthatóság érdekében **célszerűnek látszik további vizsgálatok végzése**, a két módszer eredményei közötti korreláció szorosságának és az azt befolyásoló tényezők szerepének megállapításával.
8. Összehasonlítottam a biogázhozam megállapításához alkalmazott **folyamatos és szakaszos** elrendezésű **kísérleteket**. Megállapítottam, hogy **azonos számú** (21db) gázkihozatali **adathoz** szakaszos üzemben 21 edény szükséges a kiejlesztés idejéig (21 vagy 30 nap), míg folyamatos üzemben egy edény elég, hogy a 21. napra (összidőben a 42. napra) megkapjuk ezt az adatmennyiséget. Ez utóbbi módszer alkalmazásának feltétele a rátöltéshez szükséges anyag állandó összetételének biztosítása a kísérlet folyamán.

6. AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ, ILLETVE ÚJSZERŰ EREDMÉNYEI

1. A térségi **biogázpotenciál** meghatározásához **együtthatókat képeztem** a szarvasmarha, sertés, juh, tyúk és pulyka fajok fajlagos trágyatermelésére és biogáztermelésére. Az együtthatók segítségével meghatározható egy térség **biogázpotenciálja**. A települési állományadatok felhasználásával megállapítottam Hajdú-Bihar megye állati trágyára alapozható teljes biogázpotenciálját, valamint ennek eloszlását az egyes települések között.
2. **Módszert** dolgoztam ki az **üzemméretek** meghatározására és a **biogázfejlesztési körzetközpontokra** történő **alapanyag-ráhordás logisztikai kiértékelésére a fajlagos szállítási munka** ($\text{tkm/kW}_{\text{el}}$) alapján. Az adott településszerkezet és településenkénti alapanyagmennyiség mellett meghatároztam, a körzetközpontokra történő alapanyag-ráhordás szempontjából Hajdú-Bihar megyében a vizsgált 100, 300 és 500 kW_{el} -os mérettartományok közül a min. 300 kW_{el} -osat célszerű figyelembe venni.
3. Meghatároztam a vizsgált biogáztermelési **alapanyagok energiaegyensúlyi szállítási távolságát**. Megállapítottam, hogy a vizsgált alapanyagok közül a sertéstrágyát 4,5% szárazanyagtartalom mellett energetikai szempontból nem célszerű tengelyen szállítani, kérődzők esetében csak a szomszédos üzemek között, míg baromfitrágya esetén települések között is célszerű lehet a szállítás.
4. A biogáz eljárás **hatékonyságnövelésének kísérletes kutatásai** során megállapítottam, hogy az aprított alapanyag eltérő méreteloszlása nem befolyásolja szignifikánsan a biogáztermelést, ha az átlagos szecskahosszban nincs szignifikáns eltérés. Kísérletekkel mutattam ki a **biogáz output** részbeni újrafelhasználásának és a **cukorcirok** és a **silókukorica** adaléknak a gázkihozatal-fokozó hatását.
5. **Számításokkal** bizonyítottam, hogy a különböző ágazatokból származó **trágyák együtterjesztésével** az alapanyagok változatlan össztömege mellett a **gáztermelés nő**. Számításokkal igazoltam, hogy a méretgazdaságossághoz **szükséges üzemméret** az adott helyen a különböző állattenyésztési ágazatokból származó alapanyagok együttes felhasználásával is **elérhető**.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A témával kapcsolatos irodalom feldolgozásánál kiemeltem, hogy a megújuló energiaforrások között a **biogázjelzés** különleges helyet foglal el, mert a környezetbarát energiatermelés mellett a mezőgazdasági termelésben folyamatosan keletkező melléktermékek és hulladékanyagok kezelését, felhasználását is megoldja. Így elterjesztése különösen indokolt hazánkban, ahol a mezőgazdaságnak kiemelt szerepe van a nemzeti jövedelem megteremtésében.

Vizsgálataim során a **biogázpotenciál meghatározására** régiós és megyei szinten, illetve kisebb térségekre is használható **módszert** dolgoztam ki, melyet a területi tervezés és döntéshozás mellett az egyes üzemek beruházói, tervezői is használni tudnak egy adott térségben a tervezett biogázüzemek kapacitásának meghatározásához.

Számításaimhoz az egyes **állatfajok** trágyáját, mint a mezőgazdaságban folyamatosan keletkező, kezelendő alapanyagot vettem alapul. A szakirodalmi adatok felhasználásával **együtthathókat** képeztem, melyekkel a vizsgált térség biogázpotenciálja a települések állatállományából kiindulva számítható.

A biogázpotenciál ismeretében megállapítottam az adott területen elérhető **üzemméreteket**, három – a gyakorlatban is használatos – **méretgazdaságossági határ** figyelembevételével. Megvizsgáltam az alapanyagok **körzetközpontokba szállításának** hatását az üzemméret-növekedésre és a szállításigényre. Befolyásoló **tényezőként** az alapanyagok körzetközpont körüli területi elhelyezkedését és a szállított anyagok energiaértékét vizsgáltam.

Az adott térségben létesíthető üzemek teljesítményét a rendelkezésre álló alapanyag mennyisége és energetikai jellemzői, valamint a biogáztermelés **hatékonysága** határozza meg. A hatékonyság növelése céljából **kísérletekben** vizsgáltam növénytermesztési eredetű adalékok, a fázisbontott fermentátum és az oltóanyagok gázkihozatalra gyakorolt hatását. **Számításokkal** bizonyítottam, hogy különböző fajok trágyájának együttes erjesztése fokozza a gázkihozatalt, ami térségi és helyi szinten is segítheti a kedvező üzemméretek elérését.

A rendelkezésre álló biogázpotenciált, az üzemtelepítési és logisztikai lehetőségeket, valamint a várható fejlesztéseket figyelembe véve **javaslatokat** fogalmaztam meg Hajdú-Bihar megyében a biogázüzemek helyére, a célszerű üzemméretekre és a logisztikai rendszerre.

8. SUMMARY

In the analysis of the literature related to the topic, I highlighted that **anaerobe digestion** owns a special place among renewable energy sources. This is because the technology is capable not only to produce energy in an environment friendly manner, but it also provides a solution to handle and utilize the continually produced wastes and by-products of agriculture. Therefore, spreading the technology is specially advised in Hungary, because of the premier position of agriculture in terms of the national income.

In my investigations, I elaborated a **methodology** to estimate the **biogas potential** of an area on regional and county level, or even on the level of smaller areas. Besides regional planning and decision-making, also investors and planners of specific plants can use this methodology to determine the capacity of the planned biogas plants in a given area.

In my calculations, manure of certain **animal species** served as an input that is continually produced in the agriculture. Using data from the literature, I created **coefficients**. Using these, the biogas potential of an area under examination can be calculated, based on the livestock data of the settlements.

Knowing the biogas potential, **plant capacities** were calculated, that could be established on the investigated area, in consideration of three – practically used – **limits of the economy of scale**. I examined the effect of the **transport** of input materials **to centres** on the growth of plant capacities and transport needs. As influencing **factors**, spatial allocations of input materials around a centre and energy value of transported materials were also examined.

Besides the amount of available input materials and their energy content, possible plant capacities in a given area are determined by the **efficiency** of biogas production. In order to increase the efficiency, I **experimentally** investigated the gas production increasing effect of co-substrates from plant production, of separated fermented substrate and of different inoculums. I manifested with **calculations** that co-digestion of different animal species can increase gas production, as well as it can help in establishing biogas plants with favorable capacities on regional and local level.

In consideration of the available biogas potential, the possibilities of plant establishment and logistics, **recommendations** were made on the place of biogas plants, on the proper capacities and on the logistic system in Hajdú-Bihar County.

9. IRODALOMJEGYZÉK

1. Ábrahám L. (1980): A szerves trágyák kezelése és felhasználása. Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest. [Ábrahám, 1980]
2. Antal J. (2003): Környezetbarát műtrágyázás. Agrárágazat 2003. szeptember [Antal, 2003]
3. Bai A. (2002): A biomassa, mint energiaforrás. Energiagazdálkodás, 2002/4. pp. 15-17. [Bai, 2002]
4. Bai A. (szerk.) (2005a): A biogáz előállítása – jelen és jövő. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. [Bai, 2005a]
5. Bai A. (szerk.) (2005b): A biomassa termelés hazai perspektívái. Tanulmány. Debreceni Egyetem Környezetgazdálkodási Intézet, Debrecen. [Bai, 2005b]
6. Bai A. (témafelelős) (2005c): A potenciális bio-üzemanyag-források, a termelés és az ellátási lánc elemzése a debreceni térségben. Közreműködők: Dobos A, Grasselli G., Kormányos Sz., Kovács J., Nagy J. European Commission. 6th Framework Programme on Research, Technological Development and Demonstration Mobilis 513 562 Integrated Project. Mobility Initiatives for Local Integration and Sustainability. WP5 Clean and Energy Efficient Vehicles. Koordinátor: Debrecen MJV Önkormányzata, Toulouse-i Önkormányzat. Debrecen. [Bai, 2005c]
7. Bai A. (szerk.) (2007): A biogáz. Száz magyar falu könyvesháza Kht., Budapest. [Bai, 2007]
8. Bai A. – Lakner Z.– Marosvölgyi B. – Nábrádi A. (szerk.: Bai A.) 2002: A biomassa felhasználása Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. [Bai et al., 2002]
9. Bai, A. - Grasselli, G. – Kormányos, Sz. – Szendrei, J. (2005a): Future use of biogas in Debrecen – possibilities in public transport. waste to Energy Conference. Jyväskylä, 2005. szeptember 14-17. <http://www.jykes.fi/?action=juttu&ID=510> [Bai et al., 2005a]
10. Bai, A. - Grasselli, G. – Kormányos, Sz. – Szendrei, J. (2005b): Potential of basic material for biogas production in the Debrecen area. Poster presentation. Waste to Energy Conference. Jyväskylä, 2005. szeptember 14-17. [Bai et al., 2005b]
11. Bai, A. - Grasselli, G. – Szendrei, J. – Kormányos, Sz. (2007): Economic Evaluation of Scaling of Agricultural Biogas Plants. Hungarian Agricultural Engineering, No. 20, p. 23-25. [Bai et al., 2007]
12. Bartha I. (1993): Biogáz. In: Barótfi I. (szerk.): Energiafelhasználói kézikönyv. Környezet-technikai Szolgáltató Kft., Budapest [Bartha, 1993]

13. Barta I. (2006): Hulladékból tiszta energia. Energoexpo Energetikai Konferencia, Debrecen, 2006. szeptember 27. [Barta, 2006]
14. Barótfi I. (szerk.) (1993): Energiafelhasználói kézikönyv. Környezet-technikai Szolgáltató Kft., Budapest. [Barótfi, 1993]
15. Barótfi I. (szerk.) (2000): Környezettechnika. Mezőgazda Kiadó, Budapest. [Barótfi, 2000]
16. Baserga, U. (1998): Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen. FAT-Berichte Nr. 512, Tübingen. [Baserga, 1998]
17. Bohoczky F. (2004): Megújuló energiaforrások magyarországi felhasználása. Energoexpo Energetikai Konferencia, Debrecen, 2004. szeptember 28-30. [Bohoczky, 2004]
18. Domschke, H. (2002): Anaerobe Vergärung als Alternative zu herkömmlichen Bioabfall-Kompostierungen. Sächsisch-ungarisches Fachseminar Biotechnologie, Budapest. [Domschke, 2002]
19. EEA (2006): How much bioenergy can Europe produce without harming the environment. EEA Report No. 7/2006, Copenhagen
20. Eichhorn, H. (1999): Landtechnik. Landwirtschaftliches Lehrbuch. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart. [Eichhorn, 1999.]
21. Fenyvesi L. – Mátyás L. – Pazsicki I. (2003): Sertéstartási technológiák. FVM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet, Gödöllő. [Fenyvesi et al., 2003]
22. Fenyvesi L. – Pecznik P. – Tóvári P. (2005): Is Hungary The Source Of Bioenergy For Europe? BIOENERGY2005 – International Bioenergy in Wood Industry Conference and Exhibition, Jyväskylä, Finnország, 2005. szeptember 13-15. Proceedings, pp. 177-182. [Fenyvesi et al., 2005]
23. Gombos E. (2004): Az energiaerdők potenciális szerepe az EU energiapolitikai elvárásainak teljesítésében. Szakdolgozat. Konzulens: Dr. Bai Attila. Debreceni Egyetem ATC AVK Vállalatgazdaságtani Tanszék, Debrecen. [Gombos, 2004]
24. Grasselli G. (2004a): Erdészeti melléktermékekből nyerhető energiamennyiség meghatározása egy kistérségben. AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Gödöllő. SZIE. Gépészmérnöki Kar. [Grasselli, 2004a]
25. Grasselli G. (2004b): A megújuló energiaforrások, mint a településfejlesztés eszközei. Nemzetközi Energetikai Szakkiállítás és Konferencia, Debrecen, 2004. szeptember 28-30. [Grasselli, 2004b]
26. Grasselli G. (2004c): Munkahelyteremtő megújuló energiaforrások hasznosításának megvalósíthatósági tanulmányterve a Debreceni Agglomerációban. Kézirat. Debrecen. [Grasselli, 2004c]

27. Grasselli G. (2005): Biomassza erőmű megvalósíthatósága és térségfejlesztő hatása. Agrárgazdaság, Vidékfejlesztés és Agrárinformatika (AVA-2) nemzetközi konferencia, Debrecen, 2005. április 7-8. CD-ROM [Grasselli, 2005]
28. Grasselli G. – Bai A. – Marosvölgyi B. – Bohoczky F. (2004): Munkahelyteremtő megújuló energiaforrások hasznosításának megvalósíthatósági tanulmányterve a Debreceni Agglomeráció térségében. DAÖTT, Debrecen. [Grasselli et al., 2004]
29. Grasselli, G. – Bai, A. – Kormányos, Sz. – Juhász, Gy. – Szendrei, J. (2006): Survey of the biomass energy potential in the area of Debrecen. The 4th International Symposium „Natural Resources and Sustainable Development”. Oradea, Október 10-11. 235.p.-240.p. [Grasselli et al., 2006a]
30. Grasselli, G. – Bai, A. – Szendrei, J. (2006): Biomassza-erőművek energetikai, gazdasági és vidékfejlesztési hasznai. Mezőhír, X. évf. 9. szám 98-99.o. [Grasselli et al., 2006b]
31. Grasselli, G. – Grasselli, N. – Varga, E. – Szendrei, J. (2004): Biomasse Potential in der Region Debrecen. Ökotech Kiállítás és Konferencia. Budapest, 2004. október 27-28. [Grasselli et al., 2004]
32. Grasselli G. – Juhász Gy. (2002): Fafeldolgozó üzem hulladékának energetikai hasznosítása. Innováció, a tudomány és gyakorlat egysége az ezredforduló agráriumban. Debrecen, 2002. Konferencia kiadvány p.1-5. [Grasselli-Juhász, 2002]
33. Grasselli, G. - Szendrei, J. – Pálinkás, I. – Tóvári, P. – Petis, M. (2008): Biogázüzemben feldolgozott input és output anyagok vizsgálatai. MTA AMB XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Gödöllő, 2008. január 22. [Grasselli et al., 2008]
34. Grasselli, G. – Szendrei, J. (2005a): Biogázpotenciál a debreceni régióban. Energoexpo Nemzetközi Energetikai Szakkiállítás és Konferencia. Debrecen, 2005. szeptember 27-29. Konferencia-kiadvány, p. 133. [Grasselli-Szendrei, 2005a]
35. Grasselli, G. – Szendrei, J. (2005b): Biomassza-potenciál felmérése a debreceni térségben. EUREGA-RES - Megújuló energiák kutatása és hasznosítása az EU újonnan csatlakozott országában. Debrecen, 2005. november 28.
<http://meteor.geo.klte.hu/meteorologia/euregaweb/eurega/pdf/szendrei2.pdf>
[Grasselli–Szendrei, 2005b]
36. Grasselli, G. – Szendrei, J. (2006a): Mezőgazdasági és élelmiszeripari, biogáz előállítására alkalmas biomassza felmérése Debrecen térségében. MTA AMB XXX. K+F Tanácskozás, Gödöllő, 2006. január 24. [Grasselli-Szendrei, 2006a]
37. Grasselli, G. – Szendrei, J. (2006b): A tüzelési célú energetikai növények termesztésének jelentősége. Őstermelő, X. évf. 3. szám, p. 70-72 [Grasselli-Szendrei, 2006b]

38. Grasselli, G. – Szendrei, J. (2006c). Biomasszára alapozott energiatermelés munkahelyteremtő hatásának vizsgálata. Országos Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás, Balatonfüred, 2006. október 24-26. Tanulmánykötet, pp. 37-43. [Grasselli-Szendrei, 2006c]
39. Grasselli, G. – Szendrei, J. (2007a). A megújulóenergia-termelés munkahelyteremtő hatása. MTA AMB XXXI. Tematikus Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Gödöllő, 2007. január 23. [Grasselli-Szendrei, 2007a]
40. Grasselli, G. – Szendrei, J. (2007b). Situation und Perspektiven der Nachwachsenden Rohstoffe in Ungarn. Lausitzer Technologiezentrum 13. Symposium: Biomasse – eine Chance für die Lausitz. Lauta, 2007. június 15. (http://www.lautech.de/pdf/Bio_Symposium_15.06.07_Vortrag3.pdf) [Grasselli-Szendrei, 2007b]
41. Grasselli, G. – Szendrei, J. (2007c): Az állati trágyára alapozott biogázüzemek lehetséges méret nagysága és növelésük szállítási igénye Hajdú-Bihar megyében. Energoexpo Nemzetközi Energetikai Szakkiállítás és Konferencia. Debrecen, 2007. szeptember 27. Konferencia-CD [Grasselli-Szendrei, 2007c]
42. Grasselli, G. – Szendrei, J. (2008). Biogas production coefficients for certain animal species. Acta Agraria Debreceniensis, Debrecen. [Grasselli-Szendrei, 2008]
43. Gruber, W. (2003): Biogasanlagen in der Landwirtschaft. aid Infodienst Verbraucherschutz, Ernährung, Landwirtschaft e. V., Bonn. [Gruber, 2003]
44. Hagymássy Z. (2004): Kísérleti területek egyenletes tápanyagkijuttatásának műszaki feltételei. Doktori (PhD) értekezés, Debrecen. [Hagymássy, 2004]
45. Hartmann, H. – Strehler, A. (1995): Die Stellung der Biomasse. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup. [Hartmann-Strehler, 1995]
46. Juhász Gy. (2003): Nyersedékek energetikai potenciálja Debrecen agglomerációjában. A megújuló energiák kutatása és hasznosítása az Észak-alföldi régióban. A Magyar Szélenergia Társaság kiadványa, No. 2. 37-40. o. [Juhász, 2003]
47. Juhász Gy. (2004): Biomassza tüzeléstechnikai hasznosítása Debrecen agglomerációjában. Debreceni Műszaki Közlemények 3. évf. 1. sz. 39-49. o. [Juhász, 2004]
48. Juhász Gy. (2006): A régióra jellemző mezőgazdasági hulladékok és melléktermékek tüzeléstechnikai hasznosítása. Doktori (PhD) értekezés. Témavezető: Dr. Grasselli Gábor. Debreceni Egyetem, Agrártudományi Centrum, Mezőgazdaságtudományi Kar, Géptani Tanszék, Debrecen. [Juhász, 2006]
49. Kacz K. – Neményi M. (1998): Megújuló energiaforrások. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest. [Kacz–Neményi, 1998]

50. Kalmár I. – Kalmárné Vass E. – Szabó E. (2007): A cukorcirok, mint egy lehetséges biogázhozam-fokozó adalékanyag; XXXI. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő 2007., 3. kötet p 75-79, CD kiadvány [Kalmár et al., 2007]
51. Kalmár I. – Krizsán J. (2008): Előkészítési technológiai kísérletek cukorcirok alapú etanol előállításához. MTA AMB XXXI. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő 2008. január 23., 3. kötet p 118-122, CD kiadvány [Kalmár–Krizsán, 2008]
52. Kalmárné Vass Eszter – Kalmár Imre – Nagy Valéria (2007): Üzemi körülményeket is reprezentáló kísérleti eszközrendszer továbbfejlesztése biogázelőállításához. Poszter, MTA AMB XXXI. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő 2007. január 23., 3. kötet p 118-122, CD kiadvány [Kalmárné et al., 2007]
53. Kaltwasser, B. J. (1983): Biogáz előállítás és hasznosítás. Műszaki kiadó, Budapest. [Kaltwasser, 1983]
54. Kaltschmitt, M.– Hartmann H. (2001): Energie aus Biomasse. Springer-Verlag, Berlin, 2001. [Kaltschmitt-Hartmann, 2001]
55. Keymer, U. – Reinhold, G. (2005): Grundsätze der Projektplanung. In: Handreichung Biogasgewinnung- und nutzung. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Gülzow. [Keymer – Reinhold, 2005]
56. Kissné Quallich E. (1983): A biogáz. Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest. [Kissné Quallich, 1983]
57. Kohlheb, N. – Kraussmann, F. – Weisz, H. (2006): A magyar társadalom energia-intenzitásának meghatározása és elemzése a társadalmi metabolizmus módszereivel. Kovász, Budapest. [Kohlheb et al., 2006]
58. Kohlheb N. – Porteleki A. – Szabó B. (2007): Magyarország energetikai biomassza potenciálja a 2007-ig bejelentett fejlesztések tükrében. Bioenergia, II. évf. 4. szám, p. 6-11. [Kohlheb et al., 2007]
59. Kohlheb N. – Porteleki A. – Szabó B. (2008): An Assessment of the Utilisation of Hungarian Bioenergy Potential. Central European Biomass Conference, 16-19 January 2008, Graz. [Kohlheb et al., 2008]
60. Kormányos Sz. (2005): Biomassza hasznosítás jogi háttere. EUREGA-RES - Megújuló energiák kutatása és hasznosítása az EU újonnan csatlakozott országaiban. Debrecen, 2005. november 28. [Kormányos, 2005]
61. KSH 2001: Legfrissebb adatok: Állatállomány, 2001. április 1. Központi Statisztikai Hivatal, Budapest. 2001.05.15. [KSH, 2001]
62. KSH 2002: Hajdú-Bihar megyei statisztikai tájékoztató 2002/4. KSH Hajdú-Bihar Megyei Igazgatósága, Debrecen, 2003.03.17. [KSH, 2002]

63. KSH 2004: Hajdú-Bihar megyei statisztikai tájékoztató 2004/4. KSH Hajdú-Bihar Megyei Igazgatósága, Debrecen, 2005.04.08. [KSH, 2004]
64. KSH 2005: Hajdú-Bihar megyei statisztikai tájékoztató 2005/1. KSH Hajdú-Bihar Megyei Igazgatósága, Debrecen, 2005.06.14. [KSH, 2005]
65. Láng I. (szerk.) – Harnos Zs. – Csete L. – Kralovánszky U. Pál – Tőkés O. (1985): A biomassza komplex hasznosításának lehetőségei. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. [Láng et al, 1985]
66. Loch J. in Fülek Gy. (szerk.)(1999). Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazda Kiadó, Budapest. [Loch, 1999]
67. Magda S. (szerk.) (2003): Mezőgazdasági vállalkozások szervezése és ökonómiája II. A növénytermesztés szervezése és ökonómiája. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. [Magda, 2003]
68. Marosvölgyi B. (2004): Biomasszából átalakított biogáz alapú villamos és hőenergia termelés. In: Unk J.né (szerk.): A megújuló energiahordozó-felhasználás növelésének költségei. Pylon Kft. Budapest. p. 87-102. [Marosvölgyi, 2004]
69. Marosvölgyi B. - Szijs B. - Oláh G. (2004): Dobfermentáló üzemeltetésével kapcsolatos eredmények és megállapítások. MTA AMB XXVIII. Konf. Gödöllő [Marosvölgyi et al., 2004]
70. Nemessályi Zs. (1982): A melléktermékek felhasználása. Budapest, Mezőgazdasági Kiadó [Nemessályi, 1982]
71. Niebaum, A. – Döhler, H. (2005): Modellanlagen. in: Handreichung Biogasgewinnung- und nutzung. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. Gülzow, 2005. [Niebaum-Döhler, 2005]
72. Noma, H. – Fukuda, K. – Kumasaki, K. (2004): JFE-Bigadan Biogas Process as an Energy Recovery and Digestion System. [Noma et al., 2004]
73. Oláh G. (2004): A mezőgazdaság új lehetőségei a biogáztermelés energetikai hasznosításában. Agrárinfo, IX évf. 2004. március. 2-4. o. [Oláh, 2004]
74. Pesta, G. – Meyer-Pittroff, R. (2004): Gärprozess: Bakterien lieben es warm und nicht zu sauer. In: Amon, T. et al.: Biogas. Strom aus Gülle und Biomasse. Landwirtschaftsverlag, Münster. p. 16-20. [Pesta-Meyer, 2004]
75. Petis M. (2004): Biogáz termelés hasznosítása. ENERGexpo II. Nemzetközi Energetikai Szakkiállítás és Konferencia, 2004. szeptember 28-30. [Petis, 2004]
76. Posta L. (szerk.) (2002): Vállalati tervezés. Gyakorlati jegyzet. Debreceni Egyetem ATC AVK Vállalatgazdaságtani tanszék, Debrecen. [Posta, 2002]
77. Ragoncza, Á. (2007): Szerves anyagok komposztálása. In: Csizmazia, Z. (szerk.): A tápanyaggazdálkodás gépei. FVM MGI, Gödöllő. p. 119-133. [Ragoncza, 2007]

78. Rutzmoser, K. – Span, B. (2001): Zielwert-Futteroptimierung. Software. Bayerische Landesanstalt für Tierzucht, Grub. [Rutzmoser–Span, 2001]
79. Schön, H. (1998): Landtechnik, Bauwesen. BLV Verlagsgesellschaft, München. [Schön, 1998]
80. Schulz, H. – Eder, B. (2005): Biogázgyártás. CSER Kiadó, Budapest. [Schulz-Eder, 2005]
81. Schuchmann-Kisgyörgy (2001): Közlekedéstervezés — Utak. Műegyetemi kiadó [Schuchmann-Kisgyörgy, 2001]
82. Schwab, M. (ed.) (2005): Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Darmstadt [Schwab, 2005]
83. Sembery P. – Tóth L. (szerk.) (2004): Hagyományos és megújuló energiák. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. [Sembery-Tóth, 2004]
84. Ifj. Sinóros-Szabó B. – Maniak, S. (2005): Bioreaktorok Magyarországon. Agrártudományi Közlemények, Debrecen. 2005/16. különszám, p. 248-254 [ifj. Sinóros-Szabó – Maniak, 2005]
85. Szendrei, J. (2004): A biomassza energetikai felhasználásának jelentősége, lehetőségei. A jövő tudósai, a jövő Magyarországa. Doktoranduszok konferenciája, Debrecen, 2004. november 15. [Szendrei, 2004]
86. Szendrei, J. (2005a): A biomassza energetikai hasznosítása. Acta Agraria Debreceniensis, Debrecen, 2005/16. p. 264-272. [Szendrei, 2005a]
87. Szendrei, J. (2005b): Biogáztermelés lehetősége Debrecen környéki sertéstelepeken. AVA konferencia, Debrecen, 2005. április 7-8. CD-melléklet. [Szendrei, 2005b]
88. Szendrei, J. (2005c): Biogáz előállítása mezőgazdasági hulladékokból és melléktermékekből. „Energia és Mezőgazdaság” Fórum kiadványa. Balmazújvárosi Környezetvédelmi Csoport. 2005. április 22., p. 12-14. [Szendrei, 2005c]
89. Szendrei, J. (2005d): A kérődzők trágyájából történő biogáztermelés növelhetőségének vizsgálata a debreceni kistérségben. Tavasz Szél 2005 konferencia, Debrecen, 2005. május 5-8. Konferencia kiadvány, p. 372-375. [Szendrei, 2005d]
90. Szendrei, J. (2005e): Some Aspects of Biogas Production from Pig and Cattle Manure. Sustainable Agriculture across Borders in Europe. Debrecen, 6. May 2005. Conference Proceedings, p. 248-251. [Szendrei, 2005e]
91. Szendrei, J. (2005f): Biogáz előállítása mezőgazdasági hulladékokból. Országos Biokultúra Találkozó. Hajdúnánás, 2005. május 28. [Szendrei, 2005f]

92. Szendrei, J. (2005g): A Debrecen körüli térség biogáz-potenciáljának városi felhasználási lehetőségei. XI. Épületgépészeti és Gépészeti Szakmai Napok, Debrecen, 2005. október 20-21. [Szendrei, 2005g]
93. Szendrei, J. (2005h): A Debrecen körül termelődő állati trágya biogázpotenciálja. A jövő tudósai, a vidék jövője. Doktoranduszok konferenciája, Debrecen, 2005. november 18. [Szendrei, 2005h]
94. Szendrei, J. (2006a): Biogázgyártási technológiák összehasonlító elemzése. MTA AMB XXX. K+F Tanácskozás, Gödöllő, 2006. január 24. (Poszter.) [Szendrei, 2006a]
95. Szendrei, J. (2006b): Hajdú-Bihar megye településeinek vizsgálata az állati trágya alapú biogáztermelés szempontjából. Tavaszi Szél 2006 konferencia, Kaposvár, 2006. május 4-7. Konferencia kiadvány, p. 26-29. [Szendrei, 2006b]
96. Szendrei, J. – Grasselli, G. (2005a): Biogáz alapú energiatermelés hulladék hőjének felhasználása a feldolgozóiparban. Termékpálya, élelmiszer- és környezetbiztonság az agráriumban. Gödöllő, 2005. október 7. Konferencia kiadvány, p. 13. [Szendrei-Grasselli, 2005a]
97. Szendrei, J. – Grasselli, G. (2005b): Für die Biogaserzeugung geeignete Biomassepotential in der Umgebung von Debrecen, Ungarn. 5. Internationales Symposium „Werkstoffe aus Nachwachsenden Rohstoffen” – Fachtagung Biogas. Erfurt, 2005. szeptember 1-2. Konferencia-kiadvány, p. 119. [Szendrei – Grasselli, 2005b]
98. Szendrei, J. – Grasselli, G. (2006a). A biogázjelzés lehetőségei a bioetanolgyártás energetikai optimalizálásában. Az alternatív energiaforrások hasznosításának gazdasági kérdései. NYME KTK, Sopron, 2006. november 8. (CD) [Szendrei-Grasselli, 2006a]
99. Szendrei, J. – Grasselli, G. (2006b): A biogázjelzés és a fenntartható gazdálkodás. Östermelő, X. évf. 3. szám, p. 89-90 [Szendrei-Grasselli, 2006b]
100. Szendrei, J. – Grasselli, G. (2006c): A Debrecen 5, 20 és 40 km-es vonzáskörzetében termelődő állati trágya mennyiségének és biogázpotenciáljának vizsgálata. Acta Agraria Debreceniensis. 2006/22. különszám p. 64-68. [Szendrei – Grasselli, 2006c]
101. Szendrei, J. – Grasselli, G. (2007). Biogázüzemben feldolgozott hígtrágya fázisbontásának kérdései. MTA AMB XXXI. Tematikus Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Gödöllő, 2007. január 23. [Szendrei – Grasselli, 2007]
102. Szendrei, J. - Grasselli, G. (2008): A Hajdú-Bihar megyében termelődő trágyák biogázpotenciáljának kihasználási szintjei különböző méretű biogázüzemekben. MTA AMB XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Gödöllő, 2008. január 22. (Poszter.) [Szendrei-Grasselli, 2008]
103. Szendrő P. (2003): Géptan. Mezőgazda Kiadó, Budapest. [Szendrő, 2003]

104. Tóthné Vályi É. (szerk.) (1996): Mezőgazdasági alapismeretek. Jegyzet, Agrártudományi Egyetem Mezőgazdaságtudományi Kar Vezetési és Munkaszervezési Tanszék, Debrecen [Tóthné, 1996]
105. Unk Jné (szerk.) (2004): A megújuló energiahordozó-felhasználás növelésének költségei. Pylon Kft. Budapest. [Unk Jné , 2004]
106. Unk Jné (2005): Megújuló energiaforrások hasznosítása a Békési kistérségben. In: Dr. Unk Jánosné (szerk.): Békési kistérség gazdasági szerkezetátalakítási programja. TERRA Stúdió Kft. – PYLON Kft., Budapest. [Unk Jné, 2005]
107. Vántus A. (2003): Tehenészeti telepek munkahelyi szervezettségének vizsgálata. Acta Agraria Debreceniensis, 2003/10. különszám pp. 293-295. [Vántus, 2003]
108. Vántus A. (2004): Állattenyésztési ágazatok munkaszervezése. Oktatási anyag. Kézirat, Debrecen. [Vántus, 2004]
109. Zsuffa L. (1998): A biomassza potenciális felhasználása Magyarországon, Világbank Magyarország - Megújuló Energiák és Területfejlesztési Projekt. Tanulmány, 1. és 2. feladat. Munkaközi Jelentés. Gödöllő, 1998. július. [Zsuffa, 1998]

10. FÜGGELÉK

I. A szarvasmarha trágyatermelésének alapadatai

40. táblázat: A tejhasznú szarvasmarha-állomány napi bélsár- és vizelettermelése

Csoport	Bélsár	Vizelet	Összesen
	kg/db		
Borjú (1-10 napos)	2,00	4,00	6,00
Borjú (10-150 napos)	12,00	8,00	20,00
Üsző	20,00	12,00	32,00
Növendék hizómarha	18,00	14,00	32,00
Tehén	29,00	17,00	46,00

Forrás: Bai, 2005a

41. táblázat: A trágyaalkotók beltartalma

Összetevők	Száranyag-tartalom (%)		
	min.	max.	átlag
Ürülék	15,0	20,0	17,5
Vizelet	7,0	10,0	8,5
Alom (gabonaszalma)	85,0	87,0	86,0

Forrás: Ábrahám, 1980

42. táblázat: Egyes tartási technológiák alomfelhasználása

Tartásmód	Alomfelhasználás (kg/n.e.)		
	min.	max.	átlag
mélyalmos	4,0	8,0	6,0
pihenőboxos	0,5	1,5	1,0

Forrás: Szendrő, 2003. Megjegyzés: n.e.: nagyállategység.

43. táblázat: A tejhasznosítású szarvasmarha-állomány összetétele

Csoport	Létszámarány (%)		
	min.	max.	átlag
Tehén	42	47	44,5
Borjú	14	16	15
Üsző 1 évig	8	12	10
Üsző 1-2 éves	8	12	10
Vemhes üsző	4	5	4,5
Hízóüsző	4	6	5
Hízóbika	9	13	11
Selejt tehén	1	2	1,5

Forrás: Posta, 2002

II. A szarvasmarha trágyatermelésének számított adatai

44. táblázat: A szarvasmarha ürülékének beltartalma az egyes korcsoportokban

Csoport	Száranyag-tartalom	Szevesanyag-tartalom
	kg/db	
Borjú (1-10 napos)	1,0	0,3
Borjú (10-150 napos)	2,7	1,9
Üsző	4,1	3,1
Növendék hizómarha	3,8	2,8
Tehén	5,7	4,5

Forrás: saját számítás Bai, 2005 és Ábrahám, 1980 alapján

45. táblázat: A tejhasznú szarvasmarha-állomány napi alomfelhasználása

Csoport	Egyedtömeg	Alom	Száranyag-tartalom	Szervesanyag-tartalom
	kg	kg/db	kg/db	kg/db
Borjú (1-10 napos)	40	0,5	0,4	0,4
Borjú (10-150 napos)	150	1,8	1,5	1,5
Üsző	250	3,0	2,6	2,5
Növendék hizómarha	300	3,6	3,1	3,0
Tehén	550	3,9	3,3	3,2

Forrás: saját számítások Posta, 2002 és Szendrő, 2003 alapján

46. táblázat: Az állatonkénti napi trágyatermelés

Csoport	Trágya	Száranyag-tartalom	Szervesanyag-tartalom
	kg/db	kg/db	kg/db
Borjú (1-10 napos)	2,5	1,4	0,7
Borjú (10-150 napos)	13,8	4,3	3,3
Üsző	23,0	6,7	5,6
Növendék hizómarha	21,6	6,9	5,8
Tehén	32,9	9,0	7,7

Forrás: saját számítások

47. táblázat: Állományösszetétel a számításokhoz átcsoportosítva

Csoport	Létszámarány (%)		
	min.	max.	átlag
Borjú (1-10 napos)	0,9	1,1	1
Borjú (10-150 napos)	13,1	14,9	14
Üsző	16	23	19,5
Növendék hízómarha	17	25	21
Tehén	43	49	46

Forrás: saját kalkuláció Posta, 2002 alapján

48. táblázat: Az állomány napi trágyatermelése

Csoport	Trágya	Száranyag-tartalom	Szervesanyag-tartalom
	kg/100 db	kg/100 db	kg/100 db
Borjú (1-10 napos)	2,5	1,4	0,7
Borjú (10-150 napos)	193,2	59,8	46,8
Üsző	448,5	130,7	108,7
Növendék hízómarha	453,6	144,2	121,0
Tehén	1511,1	414,3	352,9

Forrás: saját számítások

49. táblázat: Az állomány éves trágyatermelése

Csoport	Trágya	Száranyag-tartalom	Szervesanyag-tartalom
	t/100 db	t/100 db	t/100 db
Borjú (1-10 napos)	0,9	0,5	0,3
Borjú (10-150 napos)	70,5	21,8	17,1
Üsző	163,7	47,7	39,7
Növendék hízómarha	165,6	52,6	44,2
Tehén	551,6	151,2	128,8
Összesen	952,2	273,8	230,0

Forrás: saját számítások

III. A sertés trágyatermelésének alapadatai

50. táblázat: A felhasznált együtthatók (sertés)

Megnevezés	Forrásadatok	
Ürülék (1200 db-os egység-telep)	t/év	1100
Szerves száranyag (ürülék szervesanyag-tartalma)	kg/t	3,6

Forrás: Fenyvesi et al., 2003

IV. A tyúk és a pulyka trágyatermelésének alapadatai

51. táblázat: A termelt baromfiürülék mennyisége

Faj	Átlagos napi mennyiség	Átlagos éves mennyiség
	kg/1000 db	kg/db
Tyúk ^a	-	5,5
Baromfi (csirke) ^b	71	25,9
Baromfi (tojótyúk) ^b	53	19,3

Forrás: a: Loch, 1999; b: Bai, 2005a

52. táblázat: A trágyaalkotók beltartalma

Összetevők	Nedvesség			Száranyag			Szervesanyag		
	min.	max.	átlag	min.	max.	átlag	min.	max.	átlag
	%								
Tyúk ürülék	60	90	75	10	40	25	8	25	16,5
Alom (gabonaszalma)	13	15	14	85,0	87,0	86,0	80,0	85,0	82,5

Forrás: Ábrahám, 1980

V. A tyúk és a pulyka trágyatermelésének számított adatai

53. táblázat: Az állatonkénti éves trágyatermelés

Csoport	Ürülék			Alom			Trágya					
	ea.	sza.	szea.	ea.	sza.	szea.	ea.	sza.	szea.	sza.	szea.	
	kg/db									%		
Baromfi (broiler-csirke)	5,5	1,4	0,9	20,4	17,6	16,8	25,9	18,9	17,7	73,1	68,5	
Baromfi (tojótyúk)	5,5	1,4	0,9	13,8	11,9	11,4	19,3	13,3	12,3	68,7	63,7	

Forrás: saját számítás; Magyarázat: ea. eredeti anyag, sza. szárazanyag, szea.: szerves anyag

VI. Az egyes állati trágyák biogázkihozatala

54. táblázat: Az egyes állatfajok trágyájának fajlagos biogázkihozatala

	Me.: m ³ /t
szarvasmarhatrágya	225
sertétrágya	445
juhtrágya	225
baromfitrágya (broilercsirke)	465
baromfitrágya (pulyka, liba)	480

Forrás: Barótfi, 1993

VII. Az állatállomány megyei alapadatai

55. táblázat: Hajdú-Bihar megye állatállománya (1995-2005)

	Me.: 1000 db	
Év	Szarvasmarha	Sertés
1995	88,3	492,4
1996	87,6	496,8
1997	87,0	434,0
1998	86,3	510,2
1999	85,7	521,0
2000	85,0	478,2
2001	84,4	439,9
2002	83,7	546,9
2003	83,1	566,7
2004	82,4	453,5
2005	81,8	443,0

Forrás: KSH 2001, 2002, 2004, 2005

VIII. Az biogázpotenciál koncentrációja Debrecen körül

56. táblázat: A trágyamennyiség és a biogázpotenciál Debrecen körzetében

Sugár	A körzet megnevezése	Trágya mennyisége	Trágya megoszlása	Potenciálisan kinyerhető biogáz mennyisége	Potenciálisan kinyerhető biogáz megoszlása
km		1000 t	%	1 000 000 m ³	%
0-5	Helyi (Debrecen)	245	18	27	29
20	Szűkebb körzet	781	56	59	63
40	Tágabb körzet	1 398	100	94	100

Forrás: saját számítások

IX. Hajdú-Bihar megye településeinek listája a diagramok értelmezéséhez

57. táblázat: Hajdú-Bihar megye településeinek listája

<i>Sorszám</i>	<i>Települések névsorrendben</i>	<i>Települések nagyságrendben</i>
1.	Álmosd	Hajdúböszörmény
2.	Ártánd	Debrecen
3.	Bagamér	Hajdúnánás
4.	Bakonszeg	Berettyóújfalu
5.	Balmazújváros	Nádudvar
6.	Báránd	Hajdúszoboszló
7.	Bedő	Balmazújváros
8.	Berekböszörmény	Derecske
9.	Berettyóújfalu	Hortobágy
10.	Bihardancsháza	Hajdúdorog
11.	Biharkeresztes	Püspökladány
12.	Biharnagybajom	Kaba
13.	Bihartorda	Nagyhegyes
14.	Bocskai kert	Hajdúszovát
15.	Bojt	Földes
16.	Csökmő	Biharnagybajom
17.	Darvas	Esztár
18.	Debrecen	Polgár
19.	Derecske	Sárrétudvari
20.	Ebes	Pocsaj
21.	Egyek	Báránd
22.	Esztár	Ebes
23.	Folyás	Hajdúhadház
24.	Földes	Bihartorda
25.	Furta	Hencida
26.	Fülöp	Tiszacsege
27.	Gáborján	Létavértes
28.	Görbeháza	Biharkeresztes
29.	Hajdúbagos	Nagyrábé
30.	Hajdúböszörmény	Újiráz
31.	Hajdúdorog	Berekböszörmény
32.	Hajdúhadház	Tépe
33.	Hajdúnánás	Hosszúpályi
34.	Hajdúsámson	Mikepércs
35.	Hajdúszoboszló	Váncsod
36.	Hajdúszovát	Csökmő
37.	Hencida	Egyek
38.	Hortobágy	Konyár
39.	Hosszúpályi	Komádi
40.	Kaba	Körösszakál

<i>Sorszám</i>	<i>Települések névsorrendben</i>	<i>Települések nagyságssorrendben</i>
41.	Kismarja	Bagamér
42.	Kokad	Szentpéterszeg
43.	Komádi	Gáborján
44.	Konyár	Álmosd
45.	Körösszakál	Hajdúsámson
46.	Körösszegapáti	Fülöp
47.	Létavértes	Körösszegapáti
48.	Magyarhomorog	Nyírábrány
49.	Mezőpeterd	Görbeháza
50.	Mezősas	Hajdúbagos
51.	Mikepércs	Szerep
52.	Monostorpályi	Nyíradony
53.	Nádudvar	Nagykereki
54.	Nagyhegyes	Újtikos
55.	Nagykereki	Vámospércs
56.	Nagyrábé	Újszentmargita
57.	Nyírábrány	Kismarja
58.	Nyíracsad	Bedő
59.	Nyíradony	Nyíracsad
60.	Nyírmártonfalva	Bojt
61.	Pocsaj	Monostorpályi
62.	Polgár	Bakonszeg
63.	Püspökladány	Nyírmártonfalva
64.	Sáp	Magyarhomorog
65.	Sáránd	Téglás
66.	Sárrétudvari	Furta
67.	Szentpéterszeg	Mezősas
68.	Szerep	Zsáka
69.	Téglás	Mezőpeterd
70.	Tépe	Bihardancsháza
71.	Tetétlen	Sáp
72.	Tiszacsege	Tetétlen
73.	Tiszagyulaháza	Sáránd
74.	Told	Darvas
75.	Újiráz	Vekerd
76.	Újléta	Ártánd
77.	Újszentmargita	Tiszagyulaháza
78.	Újtikos	Újléta
79.	Vámospércs	Told
80.	Váncsod	Kokad
81.	Vekerd	Folyás
82.	Zsáka	Bocskaikert

X. A kísérletek helyszínei



18. ábra: Környezettechnika laboratórium (FVM MGI, Gödöllő)



19. ábra: A folyamatos rendszerű kísérletek fermentorai (SzF MMF, Mezőtúr)

XI. Táblázatjegyzék

1. táblázat: A biomassa alapanyagok és hasznosíthatóságuk.....	12
2. táblázat: A biomassa felhasználásának jellemzői	13
3. táblázat: A biomassa alapú energiaformák munkahelyteremtő hatása	13
4. táblázat: A hőtermelésnél és a kogenerációnál szereplő biogáz-üzemi modellek	17
5. táblázat: A hazai biomassa kapacitások és a környezetbarát potenciál	27
6. táblázat: A reálisan hasznosítható biomassa mennyisége	29
7. táblázat: Az energetikai biomassa-potenciál hazánkban és az Észak-Alföldön.....	30
8. táblázat: A szakaszos üzemű kísérletek előnyei és hátrányai	33
9. táblázat: A folyamatos üzemű kísérletek előnyei és hátrányai	33
10. táblázat: A számítási modellek előnyei és hátrányai	34
11. táblázat: A számolótáblázat felépítése az első centrum (C1) adataival	40
12. táblázat: A számolótáblázat az összes centrum adatsorainak rendezése után.....	41
13. táblázat: A számolótáblázat a potenciálkihasználással bővítve	42
14. táblázat: A pulykalétszám a baromfifélék arányában Hajdú-Bihar megyében.....	45
15. táblázat: A szállítás energiaigénye az átlagsebesség függvényében.....	45
16. táblázat: Az egyes állati trágyák biogáztermelési energiatartalma	46
17. táblázat: Az egyes szervesanyag-frakciók gázkihozatala	48
18. táblázat: Nyerstápanyag-tartalom és emészthetőségi hányados példaadatai	49
19. táblázat: Gázkihozatal példaszámítása.....	49
20. táblázat: A minták emészthetőségi együtthatóinak referenciatakarmányai	50
21. táblázat: A minták beltartalma és annak hasznosíthatósága	51
22. táblázat: Szárazanyag-tartalom mérések.....	52
23. táblázat: C/N értékek mérési eredményei	52
24. táblázat: Egyes aprítási fokozatok jellemző értékei.....	53
25. táblázat: A különböző szerves anyagokból előállítható biogáz mennyisége	55
26. táblázat: Az 1:1 arányú keverékhez tartozó állatlétszám.....	56
27. táblázat: Gazdasági állatfajok trágyatermelése és fajlagos biogázpotenciálja.....	59
28. táblázat: Hajdú-Bihar megye szarvasmarha és sertés állománya (1995-2007)	60
29. táblázat: A Hajdú-Bihar megyei szarvasmarha- és sertésállomány változása	60
30. táblázat: A biogáztermelés jellemzői Hajdú-Bihar megyében szállítás nélkül.....	66

31. táblázat: A biogázpotenciál kihasználása az egyes méretkategóriákban	68
32. táblázat: Az összeteljesítmény növelésének szállítási igénye	69
33. táblázat: Az állatfajonkénti energiaegyensúlyi szállítási távolság.....	74
34. táblázat: A minták elméleti gázkihozatala	76
35. táblázat: Hőmérséklet és pH-változás a kísérleti minták szállítása során.....	76
36. táblázat: A minták mért és elméleti gázkihozatala	77
37. táblázat: Kísérleti metodika szakaszos üzemű kísérletekhez.....	80
38. táblázat: Szarvasmarha és sertés trágyájának külön és együtt erjesztése	82
39. táblázat: A biogáztermelés lehetőségei az 500 kW _{el} üzemméret-tartományban	83
40. táblázat: A tejhasznú szarvasmarha-állomány napi bélsár- és vizelettermelése.....	99
41. táblázat: A trágyaalkotók beltartalma	99
42. táblázat: Egyes tartási technológiák alomfelhasználása	99
43. táblázat: A tejhasznosítású szarvasmarha-állomány összetétele	99
44. táblázat: A szarvasmarha ürülékének beltartalma az egyes korcsoportokban	100
45. táblázat: A tejhasznú szarvasmarha-állomány napi alomfelhasználása.....	100
46. táblázat: Az állatonkénti napi trágyatermelés	100
47. táblázat: Állományösszetétel a számításokhoz átcsoportosítva.....	101
48. táblázat: Az állomány napi trágyatermelése	101
49. táblázat: Az állomány éves trágyatermelése	101
50. táblázat: A felhasznált együtthatók (sertés).....	101
51. táblázat: A termelt baromfiürülék mennyisége.....	102
52. táblázat: A trágyaalkotók beltartalma	102
53. táblázat: Az állatonkénti éves trágyatermelés.....	102
54. táblázat: Az egyes állatfajok trágyájának fajlagos biogázkihozatala.....	103
55. táblázat: Hajdú-Bihar megye állatállománya (1995-2005).....	103
56. táblázat: A trágyamennyiség és a biogázpotenciál Debrecen körzetében	103
57. táblázat: Hajdú-Bihar megye településeinek listája.....	104

XII. Ábrajegyzék

1. ábra: A megújuló energiaforrások előállítási és átalakítási folyamatai	9
2. ábra: A biogáz önköltsége hőelőállítás esetén	18
3. ábra: A végtermékek önköltsége kogeneráció esetén	18
4. ábra: Aerob és anaerob eljárásban kezelhető szerves hulladékfélék	22
5. ábra: Az aerob és az anaerob lebomlás	23
6. ábra: Az energetikai célú melléktermékek biomasszaféleségénként és régióként....	28
7. ábra: A vizsgált terület elhelyezkedése	43
8. ábra: A szarvasmarha, sertés, juh és tyúk állománya Hajdú-Bihar megyében	44
9. ábra: A szarvasmarha- és a sertésállomány Hajdú-Bihar megyében (1995-2020)	62
10. ábra: Trágyamennyiség Hajdú-Bihar megyében 2000-2005 évek átlagában	63
11. ábra: A megyei biogázpotenciál eloszlása a települések között	64
12. ábra: Hajdú-Bihar megyében szállítás nélkül elérhető üzemméretek	67
13. ábra: A Debrecen körüli biogázpotenciál koncentrációja	71
14. ábra: A képződő trágya mennyisége a Debrecen környéki településeken	72
15. ábra: A Debrecen környéki települések biogázpotenciálja	73
16. ábra: Cukorcirok apríték hosszeloszlása	79
17. ábra: Cukorcirok adalék gáztermelése	79
18. ábra: Környezettechnika laboratórium (FVM MGI, Gödöllő)	106
19. ábra: A folyamatos rendszerű kísérletek fermentorai (SzF MMF, Mezőtúr)	106

NYILATKOZAT

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

Debrecen, 200.....

a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogydoktorjelölt 200..... - 200..... 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, 200

a témavezető aláírása