Kisüzemű biogáz-előállítás speciális összetételű anyagokból

Kósa Bernadett [1] – Ragoncza Ádám [2] – Dr. Szabó Lóránt [1] – Vojtela Tibor [3]
[1] Óbudai Egyetem, Rejtő Sándor Könnyűipari és Környezetmérnöki Kar, Környezetmérnöki Intézet
[2] NaWaRo Kft.,
[3] NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet

A rétimajori Aranyponty Halászati Zrt. halászattal és szürkemarha-tenyésztéssel foglalkozik. Tevékenysége során éves szinten 65 tonna szerves hulladék keletkezik, melynek 80%-át az invazív ezüstkárász adja (1. ábra). A változó környezeti feltételekhez kiválóan alkalmazkodó faj a halgazdaság területére gyomhalként kerül a tavakat tápláló Nádor-csatornán felúszva, ezzel elvéve a szükséges életteret a tenyésztett fajoktól. Az elhalt ezüstkárász a 2020 utáni időszakra vonatkozó Európai Energia Direktíva preferált alapanyag típusai alapján, a mai trendeknek megfelelően alkalmas lehet biogáz előállítására, mint halászati, halfeldolgozási melléktermék. Az ilyen alapanyagok felhasználására hazai kutatási adatok nem állnak rendelkezésre, ezért az elvégzett vizsgálattal az ezüstkárász-hulladék biometán-potenciáljának meghatározása és energetikai hasznosítási lehetőségeinek vizsgálata volt a cél. Feltételezésünk szerint a vizsgált területen lévő elhalt halból előállított biogáz mennyisége alkalmas lenne a telephely fogyasztóinak energiaellátására. Irodalmi adatok alapján a biogázképződés jobb hatásfokkal megy végbe, amennyiben az alapanyaghoz segédanyagokat (kofermenteket) keverünk. A cég rétimajori telephelyétől 12 km-re fekvő Cecén 150 állategységes szürkemarha-farmot üzemeltet, amelyen éves szinten további 1092 tonna almos trágya keletkezik. A marhatrágyát világszerte széles körben hasznosítják biogáz-előállításra, így mind logisztikai, mind gazdasági, mind technológiai szempontból ideális kiegészítő segédanyaga lehet a vizsgált ezüstkárász-hulladéknak. Jelen kutatás során, ezért az ezüstkárász-hulladék mellett a cecei állattartásból származó almos trágya és annak a halhulladékkal alkotott 1:1 és 1:2 arányú elegyének gázkihozatala került vizsgálatra. Feltevésünk szerint a marhatrágya jelenléte egyúttal javítja az egy tonna alapanyagból előállítható biogáz mennyiségét is.

Biogázkihozatali vizsgálatok

A gázkihozatali vizsgálatok a NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet biogázlaboratóriumában kerültek elvégzésre a NaWaRo Kft. által biztosított, a két cég közös üzemeltetésében lévő Bioprocess Control Automatic Methane Potential Test System (AMPTS II) batch típusú mérőeszközén (2. ábra).

Az AMPTS II alkalmas a különféle szerves anyagok valós metánpotenciáljának és dinamikus lebomlási görbéjének meghatározására. A többcsatornás analizátorral a mintákból kinyert gázhozamok valós időben elemezhetők, 15 darab párhuzamosan működő reaktor és az áramlásmérést biztosító mérőcellák által, egy adatgyűjtő egységhez csatlakoztatva. Mivel a rendszer működése teljesen automatikus, és távolról is monitorozható, vezérelhető, nagyon kényelmes és pontos eszköznek bizonyult a méréseink során.

A laboratóriumi vizsgálatban ezüstkárász halhulladék, szarvasmarha almos trágya, illetve a két anyagból képzett keverékek biogáz-előállításban történő hasznosítási lehetőségeit vizsgáltuk mezofil körülmények (39°C) között. A fermentációs vizsgálatokat az iparágban általánosan alkalmazott „VDI 4630 – Szerves anyagok fermentálása – A szubsztrátum jellemzése, mintavételezés, lényeges adatok gyűjtése, fermentációs tesztek" című irányelv alapján végeztük. A mintákat egy magyarországi mezőgazdasági biogázüzemből származó oltóiszappal (inokulum) erjesztettük. Az inokulum laboratóriumba érkezést követően 4,7%-os szárazanyag és 67,6%-os szerves szárazanyag-értékekkel rendelkezett. Az anaerob fermentációs vizsgálat teljes ideje 32 nap volt.

A vizsgálatban felhasznált alapanyagok mintavételezése a cecei szarvasmarhafarmról, valamint a rétimajori haltelelő ideiglenes szerves hulladéktárolójából történt, figyelembe véve az elvárt homogén mintaképzést. A laboratóriumba történő beszállítást követően a vizsgált anyagokat felhasználásig hűtőszekrényben tároltuk 4°C hőmérsékleten.

A minták fermentorba történő beadagolásához meg kell határozni az adott anyagok

1.ábra A fermentációs folyamatban felhasznált halhulladék-minta

2. ábra AMPTS II laboratóriumi szakaszos biogázkihozatali mérőrendszer

szárazanyag- és szerves szárazanyag-tartalmát, amely eredményekből az AMPTS II szoftvere számítja ki a betöltendő mennyiségeket. A szárazanyag- és a szerves szárazanyag-tartalom adja a felhasználásra kerülő szubsztrát minőségének és lebonthatóságának jellemzőjét.

A vizsgálati anyagok szárazanyag-tartalmát gravimetriás módszerrel, szárítószekrényben 105°C-on történő szárítással 20 órán át, míg a szerves szárazanyag-tartalmát izzítószekrényben, 550°C-on történő 4 órás izzítással bekövetkező tömegvesztés alapján határoztuk meg a vonatkozó hatályos magyar szabvány alapján.

A mérés előkészítéséhez a mintákat ismételten homogenizáltuk, majd kisebb frakciókra aprítottuk, így biztosítva a minél nagyobb érintkezési felületet, segítve ezzel a mikroorganizmusoknak a lebomlási folyamatot. A rendszer 500 ml-es üveg reaktorai a kiszámított anyag mennyiségekkel lettek feltöltve.

Az alap- és oltóanyag mennyiségének számítása az alábbi módon történt:

$$\frac{m_{inokulum} \times SZSZA_{inokulum}}{m_{szubsztrát} \times SZSZA_{szubsztrát}} = 2$$

$$m_{szubsztrát} + m_{inokulum} = 400$$

– $m_{inokulum}$ az inokulum tömege grammban;
– $SZSZA_{inokulum}$ az inokulum szerves szárazanyag-tartalma %-ban;
– $m_{szubsztrát}$ a vizsgált anyag tömege grammban;
– $SZSZA_{szubsztrát}$ a vizsgált anyag szerves szárazanyag-tartalma %-ban.

Ebből következően:

$$m_{inokulum} = \frac{800 \times SZSZA_{szubsztrát}}{SZSZA_{inokulum} + (2 \times SZSZA_{szubsztrát})}$$

$$m_{szubsztrát} = 400 - m_{inokulum}$$

A feltöltést követően a reaktorok keverőit egyesével rögzítettük a motorokhoz, majd a temperálókádba helyeztük. Következő lépésként összekötöttük a reaktorokat a gázmérő és az abszorpciós egységgel, végül az így összeállított mérőrendszert csatlakoztattuk a belső hálózathoz. A reaktorok saját automata keverőegységgel rendelkeznek, amely a reaktorokban lévő anyagot 3 percenként átkeverik 60 másodpercig, percenként 80 fordulattal. A folyamat során keletkező biogázból az abszorpciós egységekkel választjuk le a szén-dioxid mennyiségét, így kapva meg a kinyerhető metán arányt. Fajlagos metaántermelés számítása:

$$BMP = \frac{V_{minta} - V_{vak}\frac{m_{minta}}{m_{vak}}}{m_{SZSZAszubsztrát}}$$

– BMP a keletkezett CH_4 térfogata milliliterben a vizsgált anyag grammban megadott SZSZA-val osztva [Nml/gSZSZA];
– V_{minta} a bemért minta (inokulum és szubsztrát) által előállított CH_4 fajlagos térfogata;
– V_{vak} a vakminták által előállított CH_4 fajlagos térfogata;
– m_{minta} a bemért mintákban lévő inokulum teljes tömege;
– m_{vak} a vakmintákban lévő inokulum teljes tömege;
– $m_{SZSZAszubsztrát}$ a szubsztrátban lévő SZSZA mennyisége

Vizsgálati eredmények

Az 1. táblázat tartalmazza a trágya anyag, a halhulladék és a keverékek szárazanyag- és szerves szárazanyag-tartalmának értékeit. Mind a metanogén mikroorganizmusok, mind az egész fermentációs eljárás szempontjából lényeges a megfelelő nedvességtartalmú környezet, ugyanis a biológia működésén túl a keveréshez és szivattyúzhatósághoz is folyékony szubsztrátum az elvárás. A vizsgált anyagok magas szárazanyagtartalom-értékei miatt üzemi szinten szükséges lesz recirkuláció beiktatására is.

A vizsgálati anyagok 2:1 arányban kerültek bekeverésre az inokulumhoz a kapott szerves szárazanyag-tömegek alapján. A vizsgálati szubsztrát anyagok bemért mennyiségeit a 2. táblázat ismerteti.

A 3. ábrán szereplő diagram mutatja a teljes kumulált metántermelődést a fermentáció 32 napja alatt. A metántermelés a folyamat elején igen jelentős volt, majd a későbbiekben csökkenő tendenciát mutatott. A megadott eredmény normalizált állapotban szerepel, ami 1 atm normál légköri nyomás, 0°C és zéró nedvességtartalom mellet értendő. A vizsgálati eredményből látható az ezüstkárász-hulladék és annak szarvasmarha trágyával alkotott mintaelegyei adták a legmagasabb, megközelítőleg azonos gázkihozatali értékeket, azaz 2688,55 Nml és 2988,7 Nml. Az elvárásoknak megfelelően a szarvasmarhatrágya önmagában és a kontroll(vak)minta jelentősen kisebb gázpotenciállal bírt. A diagramon párhuzamos vizsgálatok átlagolt eredményét jelenítettük meg. Az „ezüstkárász-hulladék; 2/3 szarvasmarha szilárd trágya 1/3" elnevezésű keverék esetén ugrás figyelhető meg a gázkihozatali görbén. A kutatás által szabott időkeret miatt ennek további elemzése nem valósult meg, valószínűsíthető, hogy az ugrás a minta előkészítettségére vezethető vissza, melynek vizsgálata további elemzést igényel.

A 4. ábrán az egyes szubsztrátumokhoz tartozó fajlagos metángáz-termelődési értékek láthatóak, ahol a kontrollként használt oltóanyagból származó gáztöbbletet nem került figyelembevételre.

A korábban megjelenített kumulált eredményekhez hasonlóan magasabb metángáz kihozatalt az ezüstkárász-hulladék önmagában (292,52 Nml/goTS) és a szarvasmarha szilárd trágyával alkotott mintái produkáltak. Alacsonyabb metánértéket a szarvasmarhatrágya jelentett 151 Nml/goTS értékkel, amely azonban megfelel az ilyen anyagokból kinyerhető hozamnak. Az ezüstkárász-hulladék minta biogáztartalma 531,86 Nml/g oTS, míg a szarvasmarhatrágya esetén ez 274,54 Nml/g oTS, 55%-os metán tartalom mellett.

Az 5. ábra a teljes metántermelés százalékban kifejezett intenzitását mutatja a fermentáció teljes ideje során. Az anaerob folyamatok sajátossága, hogy kezdetben a köny-

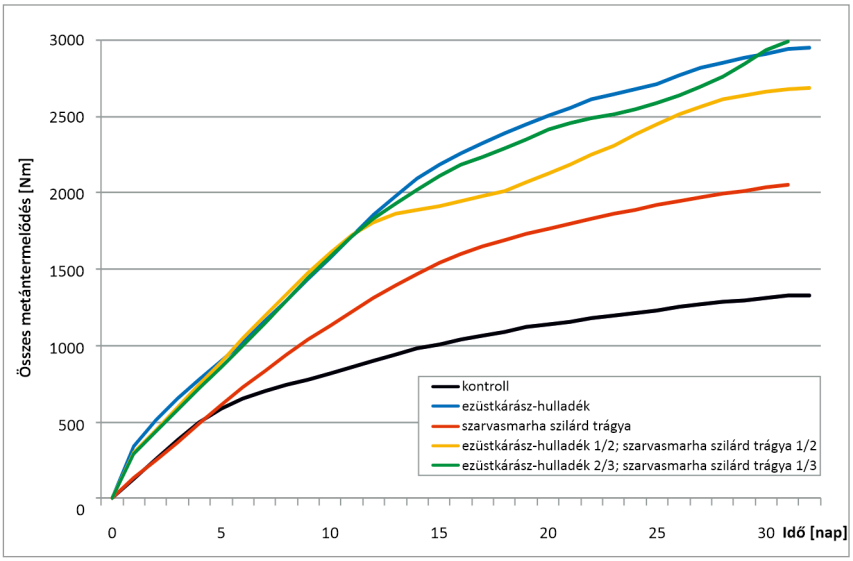
1. táblázat Vizsgált anyagok szárazanyag- és szerves szárazanyag-jellemzői

Szubsztrátum/inokulum megnevezése	Szárazanyag-tartalom [%]	Szerves szárazanyag-tartalom [%]	Szerves szárazanyag-tartalom [nedves tömeg %-ban]
Inokulum	4,7	67,6	3,18
Szarvasmarha szilárd trágya	16,90	82,42	13,93
Ezüstkárász-hulladék	23,84	83,67	19,95
Kárász 2/3; szarvasmarha szilárd trágya 1/3	23,93	86,82	20,78
Kárász 1/2; szarvasmarha szilárd trágya 1/2	20,37	83,05	16,94

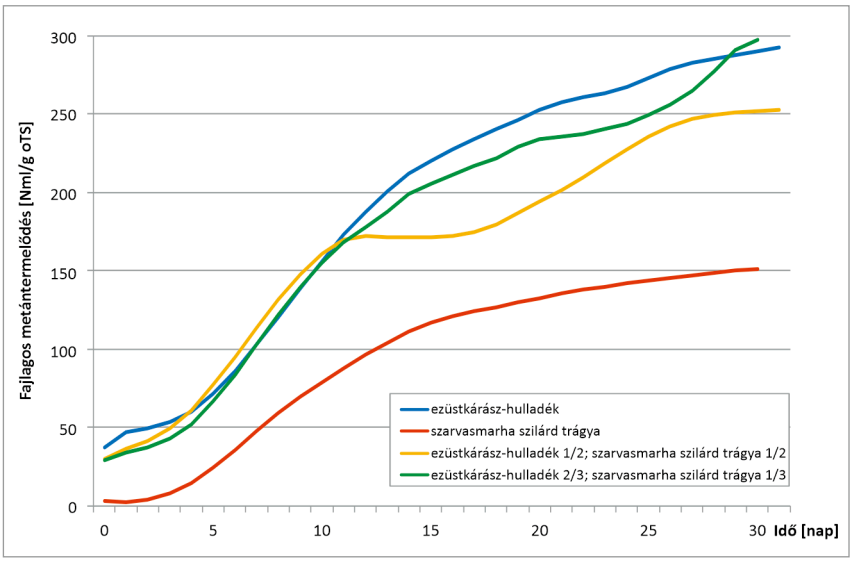
2. táblázat A szubsztrát és az inokulum bemért mennyisége reaktoronként

Reaktorok	Inokulum/Szubsztrátum	Tömeg [g]	Tömeg szerves szárazanyag [g]
1.	Inokulum	400	12,72
2.	Inokulum Ezüstkárász-hulladék	370,47 29,53	11,78 5,89
3.	Inokulum szarvasmarha szilárd trágya	359,02 40,98	11,42 5,71
5.	Inokulum Ezüstkárász-hulladék 2/3; szarvasmarha szilárd trágya 1/3	371,57 28,43	11,82 5,91
4.	Inokulum Ezüstkárász-hulladék 1/2; szarvasmarha szilárd trágya 1/2	365,68 34,32	11,63 5,81

Megjegyzés: a minták kétszeres ismétlésben kerültek vizsgálatra

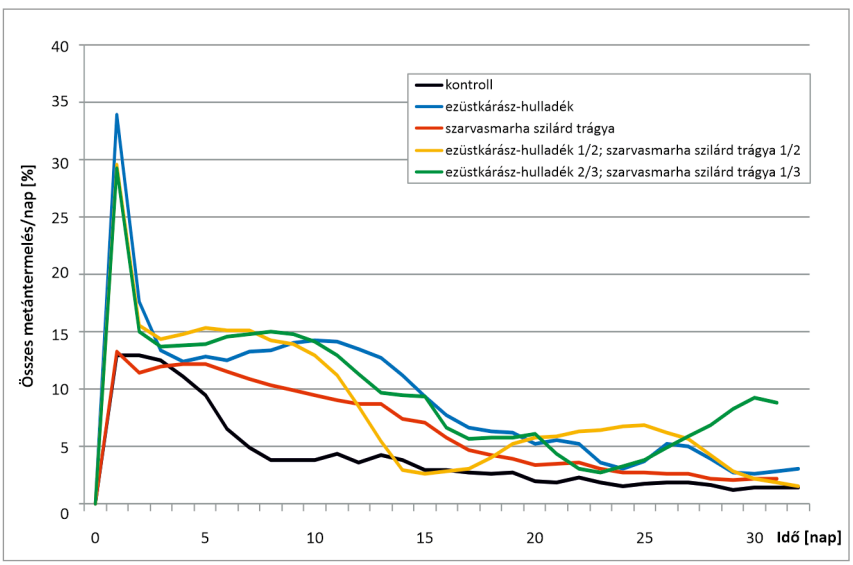


3. ábra Kumulált metántermelődés értékei a vizsgált mintákból



4. ábra Fajlagos metántermelődés értékei a vizsgált mintákból

5. ábra Metán termelődésének intenzitása



nyen bomló szerves anyagok miatt nagyobb a gázfejlődés intenzitása, majd ez idővel csökken. A mintákból az ezüstkárász-hulladéknak, továbbá az ezüstkárász-hulladék trágyával alkotott kétféle keverékének a bomlási profilja volt a legdinamikusabb. Összességében ezen szubsztrátoknál a metántermelés 1-3. nap között volt a legjelentősebb. A mintákból a teljes fermentáció során kinyert összes gáztermelődésből a folyamat 10. napjáig a gázfejlődés 52-61% körüli értéket mutatott.

Üzemi tervezés eredményei

Az éves szinten rendelkezésre álló ezüstkárász halhulladék és szarvasmarhatrágya mennyiségére alapozva kiszámításra került egy lehetséges biogázüzemi alapanyagreceptúra is (3. táblázat), az alkalmazandó fermentornagyság, továbbá a kinyerhető energiamennyiség kalkulációjával.

A keverék szárazanyag-tartalma igen jelentős, 20,3%, ami problémát jelenthet az anyag kezelésénél (szivattyúzhatóság, keverhetőség), így recirkuláció beiktatása szükséges. Fontos megjegyezni, az összesített mennyiségnél a recirkulációval nem számolunk, mint friss anyaggal. Az alapanyagok eredő szárazanyag-tartalma megfelelő.

A 4. táblázat számításai alapján 40 napos tartózkodási időhöz 13 m^3 fermentortérfogat elegendő lenne, ami az erjesztőtartály elméleti maximális térfogatát jelenti. Műszaki sajátosságok okán 3 m átmérőnél kisebb fermentor kialakítása nehézkes, így ezen elméleti számmal kalkuláltunk és nagyobb térfogattal számoltunk. A 3 m fermentormagassághoz így a fermentor bruttó térfogata 21 m^3-ben került meghatározásra (5. táblázat), azonban biztonsági és műszaki okokból a tartályt nem lehet teljesen feltölteni, így lényegesebb a nettó, aktív térfogat értéke, ami 18 m^3. A naponta betáplálásra kerülő szerves szárazanyag mennyisége 3,50 kgoTS/(m^3nap).

A fermentáció eredményeképpen kapott gázkihozatali értékek képezik a gazdaságossági számítások és a tervezés alapját (6. táblázat). Az évi 90 t alapanyagból 20 m^3/nap biogáz állítható elő 55%-os metán tartalom mellett. Ez 0,83 m^3/h gázhozamnak felel meg. A felhasznált biomasszamennyiség (ami 67%-ban halhulladékból, 33%-ban állati trágyából tevődik össze) energiapotenciálja 148 GJ évente.

Összefoglalás

A vizsgálat megállapította, hogy az alapanyagok mindegyike képes anaerob körülmények közt fermentálódni. Az évi 60 tonna ezüstkárász-hulladék és 30 tonna almos trágya alapanyagokból a fermentáció során évente 7471 m^3 55% metántartalmú biogáz keletkezhet. 40 napos tartózkodási időt feltételezve a fermentációhoz 21 m^3 térfogatú fermentor

javasolt. A keletkezett gáz energiatartalma 148 GJ/év. A rétimajori telephely központi vendéglátóegységének és irodáinak fűtési energiaigénye 201,6 GJ/év. A számítások alapján ennek jelentős részét, akár 73%-át tudná fedezni a telepített biogázüzem. Kérdéses azonban, hogy a telephely számára gazdaságos beruházásról van-e szó. Abban az esetben, ha anyagilag hátrányos az üzem létesítése, a környékbeli gazdaságok igényeinek feltérképezésére van szükség, vagy az alapanyag más üzembe történő szállítási lehetőségeinek vizsgálatára. Érdemes volna emellett a folyamat során keletkezett szilárd halmazállapotú anyag pontos összetételét, C/N arányát vizsgálni a további, esetlegesen termőföldön való felhasználás szempontjából.

Jelen kutatás időszerűségét mutatja, hogy a jövőbeni biogáztermelésben egyre inkább fenntarthatósági megfontolásokat vesznek figyelembe, és kiemelten a különböző melléktermékek és hulladékok felhasználásának irányába mozdulnak el. Jó példa erre, hogy az észak-európai országokban a közeljövő tervei szerint már halfeldolgozási melléktermékből, továbbá egyéb szerves hulladékokból előállított cseppfolyósított biogázzal kívánják a tengeri kirándulóhajók működtetésének egy részét biztosítani. Továbbfejlesztett előkezelési technológiákkal, a nyersanyagok biológiai lebonthatóságának fokozása is előtérbe kerül, megnyitva az eddig nem, vagy nehezen felhasználható alapanyagok előtt is a hasznosítási lehetőségeket.

Summary

Aranyponty company is engaged in fishery, also in grey cattle breeding. During its activity 65 tons of organic waste generates each year, 80% of this amount is taken by Prussian Carp. Based on our assumption the fish waste is adaptable for biogas-producing in the examined area and energy resource for the fishery. In this research, the biogas potential of both the fish waste and the cattle manure and their mixture was examined with the proposition of 1:1 and 1:2. There was no pertinent research on the subject in Hungary yet, accordingly the aim of the study is the examination of measuring biomethane potential of the Prussian Carp and calculating the potential of energetic utilization of the substrate.

The study found that each of the feedstock involved in the digestion process is suitable for fermentation under anaerobic conditions. The annual volume of 7471 m³ biogas with 55% methane content can be produced from 60 tons of Prussian Carp and 30 tons of cattle manure. With a retention time of 40 days, a fermenter volume of 21 m3 is recommended for fermentation. The energy content of the produced gas is 148 GJ/year. The heating requirements of the central buildings and offices in the company's site are approximately 201.6 GJ/year. According to the calculations, a significant part of this energy demand, up to 73%, could be covered by the proposed biogas plant. Besides, it would be advisable examining the exact composition, of the digestate material for further application in field applications.

3. táblázat Biogázüzem alapanyagmennyiségének és gázkihozatalának számítása

Megnevezés	Egység	Ezüstkárász	Almos trágya	Recirkuláció	Összesen
Éves mennyiség	t/év	60	30	37	90*
Napi mennyiség	t/nap	0,16	0,08	0,10	0,3
SZA-tartalom	%	23,8	16,9	11,2	18,6
Biogázkihozatal	m³/(kgoTS/nap)	0,53	0,27	0,0	0,44
Biogázkihozatal	m³/nap	17	3	0	20

*friss anyag recirkuláció nékül

4. táblázat Biogázüzem térfogatterhelése

	Egység	Fermentor
Napi mennyiség	m³/nap (t/nap)	0,33
Tartózkodási idő	nap	40
Fermentor térfogata	m³	13
oTS mennyisége	kgoTS/nap	47
Térfogatterhelés	kgoTS/(m³nap)	3,50

5.táblázat Tartálytérfogat

	Egység	Fermentor
Magasság	m	3
Átmérő	m	3
Térfogat	m³	21
Hasznos térfogat	m³	18
Mennyiség	db	1
Összes hasznos térfogat	m³	18

6. táblázat Energiapotenciál-számítás

Biogázkihozatal	20	m³/nap
	7471	m³/év
Metántartalom	55,0	%
Biogáz energiatartalma	113	kWh/nap
Minőségi változó	4,7	%
Erőmű elérhetősége	24	24óra/nap
Biogáz energiapotenciálja	148	GJ/év

Lektorálta: Dr. Fenyvesi László
egyetemi tanár

A szerzők köszönetnyilvánítása

Köszönettel tartozunk Lévai Ferencnek, az Aranyponty Zrt. vezérigazgatójának problémafelvetéséért és a gázkihozatali vizsgálatokhoz szükséges alapanyagokért, a NaWaRo Kft. és a NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet logisztikai és infrastrukturális közreműködéséért és teljes szakmai támogatásukért. A cikk a 2018-as, Új Nemzeti Kiválóság Program támogatásával jött létre.

Irodalomjegyzék

[1] Szabó Dávid István: Biogázüzem energetikai értelmezése és életciklus elemzése, SZIE, Gödöllő

[2] Dr. Bai Attila: A biogáz, ISBN 978-963-7024-30-6, Száz magyar falu könyvesháza Kft. 2007

[3] Heinz Schulz, Barbara Eder: Biogázgyártás, ISBN 963 7418 47 4, CSER kiadó, 2005

[4] Tanulmány a biogáztermelés lehetőségeiről, Újrahasznosítható energia – Üzleti együttműködés egy jobb jövő reményében" projekt 2007-2013

[5] Patkó István: Megújuló energiák I.

[6] Gopi Krishna Kafle, Sang Hun Kim: Evaulation of the Biogas Productivity Potential of Fish Waste, Journal of Biosystems Engineering, 2012

[7] Chen Shi: Potential biogas production from fish waste, 2012

[8] R. Tomczak-Wandzel: Biogas Production from fish wastes in co-digestion with sewage sludge

[9] Jose Carlos Francisco de Asis Acosta Moreno: Potential environmental impacts from fish sludge biogas production in Norwefian salmon farming

[10] Aquarel Concept: Aquatic resources for green energy realization

[11] Final Recast Renewable Energy Directive for 2021-2030 in the European Union

[12] Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, 2015