



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

HABILITÁCIÓS TÉZISFÜZET

BAKOSNÉ DIÓSZEGI MÓNICA
EGYETEMI DOCENS

Anaerob fermentáció vizsgálata
a környezetszennyezés, az
energetika és a műszaki
tudomány szemszögéből

BIZTONSÁGTUDOMÁNYI
DOKTORI ISKOLA

Budapest,
2025.06.06.

Tartalom

1	A kutatás előzményei	3
2	Új tudományos eredmények	8
2.1	Gyógyszervegyületekkel szennyezett szennyvíziszap anaerob fermentációja.....	8
2.2	Kevert és rothasztott iszap előkezelésének vizsgálata anaerob fermentáció biogáz hozama céljából	16
2.3	Horizontális elrendezésű reaktor hatékonyságának vizsgálata	27
3	A kutatás és a bemutatott eredmények hatása, visszhangja.....	36
4	Irodalmi hivatkozások listája	38
5	A tézispontokhoz közvetlen és közvetetten kapcsolódó tudományos közlemények	41

1 A kutatás előzményei

Az anaerob fermentáció mellékterméke a biogáz. A szerves hulladékkezelés oxigénmentes rothasztása során értékes energiahordozó keletkezik. A folyamat végén megmaradt energetikai célra már alkalmatlan anyag a biotrágya pedig újrahasznosítható a termőföldeken, tovább javítva annak termőképességét.

Ennek az anaerob fermentációs folyamatnak egy kis szeletével foglalkoztam, az elmúlt 10 évben.

Ennek oka, hogy a jóléti államok lakosságának életébe egyre nagyobb léptékben épültek be a gyógyszeriparból elárasztott táplálékkiegészítők, fájdalom és lázcsillapítók, antibiotikumok, valamint különböző hormonokat is jelentős mértékben tartalmazó készítmények. Ezek az emberi szervezetből a szennyvízbe kerülnek. A szennyvízből a víztisztító, vízkezelő üzemeken keresztül visszajutnak a természeti vizeinkbe, szennyezve ezáltal a növény- és állatvilágot.

A szennyvíziszap a szennyvíztisztítás mellékterméke. A szennyvíztisztítás során a termék folyékony és szilárd

fázisra válik szét. [1] A szennyvíziszap „hulladékot” másodlagos nyersanyagként kell kezelni. [2] [3]

A különböző szennyezők koncentrációjának csökkentése hozzásegíthet a hasznosíthatóságához. A szennyvíztisztítás technológiai folyamatába iktatva előszeretettel alkalmazzák az iszap anaerob rothasztását, ami eltávolítja a szerves anyagok jelentős részét. A folyamatban részt vevő anaerob baktériumok táplálkozása során értékes zöld energiahordozó, biogáz keletkezik.

A rothasztókban lezajló biológiai folyamatok hatékonysága több tényezőtől is függ. Ilyen befolyásoló tényező lehet a hőmérséklet. A folyamat optimális hőtartományai 30–35 °C-os ún. mezofil hőmérsékletű fermentorokban, illetve 50–55 °C-os ún. termofil fermentorokban egyaránt.

A biogáz képződés serkentését válthatják ki az alapanyagok különböző termikus, vegyi és mechanikus előkezelési eljárásai vagy azok kombinációi. A szennyvíztisztítás technológiai folyamatába illesztett

előkezelő eljárásokat a tisztítási folyamat legkülönbözőbb szakaszaiba építik be.

Kutatási céljaimban megjelennek a fenti gondolatok.

Minden esetben az anaerob fermentáció hatékonyságát vizsgáltam

- az alapanyag gyógyszeripari szennyezése esetén,
- különböző szennyvízipari iszap alapanyagok esetén, illetve
- gépészeti, konstrukciós megoldás során.

Emberként nemes cél környezettudatosan élni, vigyázni a környezetünk, a természet és a bolygónk ökoszisztémájára úgy, hogy közben a modernkornak megfelelő komfortérzetünk is biztosítva legyen.

Szem előtt tartani

- a mindennapi életünket biztosító energiafogyasztás minimalizálását és/vagy optimalizálását,
- a felhasználással együtt járó károsanyag kibocsátást,

- az emberi tevékenység során keletkező hulladékkezelés észszerűségét vagy éppen
- az általunk természetbe kerülő vegyi szennyezés minimalizálását.

Mérnökként fontos küldetésnek tartom a fentiek szolgálatában kamatoztatni a tudásom. Olyan kutatási célt tűzni ki, amivel megalapozottan, tudományosan képes vagyok megtámogatni a környezetünk védelmét. Nem elfogultan, hanem józanul és objektíven egy - egy új kutatási eredménnyel rávilágítani az energiahordozó elem, a biogáz előállítás

- optimális feltételeire,
- technológiai folyamatának fejlesztésére,
- gépészeti berendezéseinek újításaira,
- valamint az eredmények gyakorlati alkalmazására.

Környezetvédelmi közelítésből megvizsgáltam, hogy az emberi test kiválasztó folyamata által a gyógyszermaradványokkal szennyezett alapanyag hogyan befolyásolja a gáztermelési folyamatot.

Energetikai szempontból érdekelt a különböző alapanyagok bomlását befolyásoló tényezők feltárása, hatásuk vizsgálata. Gépészmérnöki szemléletemből adódóan pedig a folyamat technológiai fejlesztése jelentett számomra kihívást.

Munkásságom során igyekeztem széles látókörrrel szemlélni a világot, mely a kíváncsiságommal és szorgalmammal kiegészítve vezetett a kutatási tevékenység által az eredményeimhez.

2 Új tudományos eredmények

2.1 Gyógyszervegyületekkel szennyezett szennyvíziszap anaerob fermentációja

Tézis 1: Megállapítottam, hogy a gyógyszervegyületekkel szennyezett szennyvíziszap mikrohullámú előkezelése nem okoz változást a gázkihozatalban az anaerob fermentációt biztosító termofil hőmérséklet tartományban.

Kutatásaim során megvizsgáltam a szennyvíziszap, mint alapanyag fermentáció előtti feltárását, előkezelését. Nehézfémekkel szennyezett szennyvíziszap anaerob degradációját figyelték meg mikrohullámú előkezelés és vegyi kezelés együttes hatásának következtében. Megállapították, hogy a mikrohullámú savas rothasztás zárt rendszerben lehetővé teszi a minták gyorsabb lebontását, mint a hagyományos mineralizációval. A rothasztás folyamatát a megemelt nyomás és hőmérséklet gyorsítja ugyan, de a reakciórendszer speciális biztonsági berendezéseket igényel, ami a berendezés beszerzési költségeinek növekedésével jár. Másrészt a mikrohullámú

mineralizáció kisebb mennyiségű reagenst használ, ami csökkenti a költségeket. Jelentős eredményeket értek el [4] a szennyvíziszap savas és mikrohullámú együttes előkezelést követő anaerob kísérleteivel, melynek szintén nehézfémekre tett hatását vizsgálták.

Antibiotikum rezisztens baktériumok és antibiotikum rezisztens gének sorsát vizsgálták az iszap anaerob lebontása során mikrohullámú-savas (MW-H), mikrohullámú (MW) és mikrohullámú-H₂O₂ -lúgos (MW-H₂O₂) előkezeléseket követően. Az eredmények azt mutatták, hogy a kombinált MW-előkezelés, különösen az MW-H előkezelés, hatékonyan csökkentette az antibiotikum rezisztens baktériumok koncentrációját. A legtöbb antibiotikum rezisztens gén koncentrációja is gyengült az előkezelés során. Az ezt követő anaerob degradáció az antibiotikum rezisztens baktériumok nyilvánvaló eltávolítását mutatta, de a legtöbb antibiotikum rezisztens gén feldúsult az anaerob rothasztás után [5].

Az irodalomkutatás eredményeképpen megállapítható, hogy a mezofil tartományban végbe menő, anaerob

rothasztás biogáz-hozamra gyakorolt hatását érdemes vizsgálni diklofenak, 17 β -ösztadiol és ösztрон adott koncentrációjával szennyezett fölösiszap (kevert iszap) mikrohullámú előkezelését követően.

2.1.1 Az alapanyagok, a mechanikus előkezelés és a vizsgálati módszerek

A kutatás alapját empirikus kísérlet, laboratóriumi fermentáció biztosította. Vizsgálataim arra irányultak, hogy a gyógyszerrel szennyezett iszap mikrohullámú előkezelése befolyással van-e az anaerob fermentáció gázhozamára.

Az anaerob rothasztás négy különböző hőmérsékleten (35, 37, 40 és 42°C) történő, zárt rendszerben, kontrollált körülmények között zajlott.

A 70°C - ig határolt mikrohullámú előkezelést a gyógyszervegyületekkel addicionált fölösiszapon alkalmaztam. Ezt adtam tápanyagként a fermentléhez, ami anaerob rothasztásra került.

A kísérletet négy alkalommal ismételttem, háromhavonta frissen vett alapanyagokkal. A különböző, mezofil

hőmérsékletű rothasztást a termosztát szekrény biztosította.

A kísérletben a szubsztrátum friss fölősiszap, az oltóiszap pedig rothasztott iszap volt. Mindkettő a Bácsvíz Zrt. kecskeméti telephelyéről származott.

A mikrohullámú előkezelés a gyógyszervegyületekkel addíciónált, fölősiszapon történt. Ez az addíciónált, különböző mikrohullámú előkezelést kapott fölősiszap lett a fermentlé tápanyaga. A gyógyszeres törzsoldatok elkészítéséhez 0,1 g diklofenakot, illetve 17 β -ösztradiolt metanollal külön lombikokban 100 ml-re egészítettem ki (1g/l). A kísérletek során az alapanyagok addíciónálásához ezeket a 100 mg/l-es koncentrációjú munkaoldatokat használtam fel.

A cél a 100 μ g/l koncentráció elérése volt a rothasztásra kerülő, bekevert anyagok egészében, amit minden esetben homogenizáltam. Ezt követte a mikrohullámú előkezelés.

Ennek során egy 800 ml-es főzőpohárban 500 ml fölősiszapot 2+2 percre melegítettem 800 W-on. Két perc

után átkeverve értem el az alapanyag 70°C-os hőmérsékletét.

Az alapanyagok szárazanyag tartalmát (TS) és szerves szárazanyag tartalmát (oTS) a standard methods (APHA-AWWAPCF, 1999) ajánlás alapján mértem. A fölősiszap és fermentlé pH-mérését az MSZ 1484-22:2009 szabvány 8.1. szakasza alapján végeztem.

A megelőző TS és oTS mérések alapján állítottam be a reaktorüvegekben a fölősiszap és fermentlé egymáshoz viszonyított arányát, a német VDI 4630 (Szerves anyagok fermentálása) [6] ajánlása alapján. A kiszámított térfogatú addíciónált fölősiszaphoz oltóiszapként gyógyszermentes fermentlevet adtam, így egészítettem ki 400 ml térfogatra a reaktorüvegek tartalmát. A reaktort szeptumos kupakkal zártam, melynek légterét 1 percen keresztül nitrogénnel oxigén mentesítettem.

A vizsgálatot fermentációs batch (szakaszos) eljárással végeztem, ami alapján a szubsztrátumot csak egyszer – a vizsgálat kezdetén – tápláltam be a rendszerbe. Az

összeállított rektorokat termosztátban 9 napig a megfelelő hőmérsékleteken temperáltam.

A rothasztás négy különböző hőmérsékleten (35/37/40/42°C) végeztem.

1. táblázat. Az alapanyag előkezelés vázlata

Kezelés	Alapanyag	Gyógyszer	Mikrohullámú előkezelés (ME)	Anaerob rothasztás (AR)
kontroll	fölösiszap/	+	-	+
mikrohullámú előkezelés	fermentlé keveréke	+	+	+

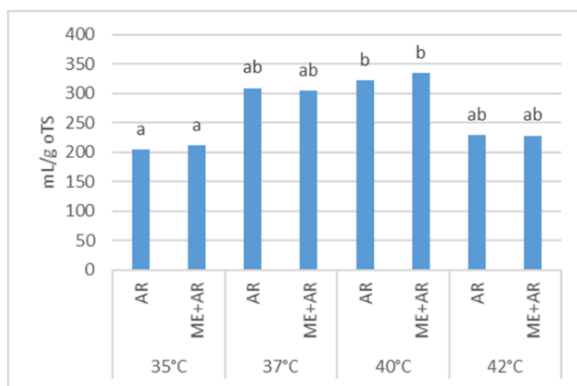
A kísérletben a szubsztrátumot folyékony eljárásként rothasztottam. A keletkezett biogáz mennyiségét térfogat kiszorítás elve alapján határoztam meg.

2.1.2 Mikrohullámmal előkezelt alapanyag kísérleti biogáz hozam eredményei

A kísérlet során fejlődött biogáz hozam az elvégzett varianciaanalízis alapján szignifikánsan nagyobb lett a 40°C-os kezelések átlagában, mint a 35°C-osban (1.ábra). A diagramon az oszlopok fölött látható a és b betűjelek a varianciaanalízis alapján szignifikáns eltérést jelölnek

$p < 0,05$ valószínűségi szinten. A másik két hőmérsékleten (37°C és 42°C) nem tudtam szignifikáns különbséget kimutatni. Ha csak a hőmérsékletet veszem figyelembe, a biogáz hozam a következő sorrendben növekedett: 35, 42, 37 és 40°C.

A mikrohullámú előkezelés hatását vizsgálva megállapítottam, hogy a biogáz hozam tekintetében a mikrohullámú előkezelés nem okozott érdemi eltérést az előkezelést nem kapott mintákhoz képest. Az előkezelés néhány ml gázhozam növekedést vagy csökkenést okozott csupán. A változás egyik esetben sem volt szignifikáns.



1. ábra. Biogáz hozam értékek a mikrohullámú előkezelés és eltérő hőmérséklet függvényében

AR: anaerob rothasztás, ME: mikrohullámú előkezelés

A tézishez közvetlen kapcsolódó cikk:

1. Bakosné, Diószegi, Mónika; Rékasi, Márk;
Szécsy, Orsolya; Bezsenyi, Anikó; Nagy – Mezei,
Csenge; Paukó, Andrea,

Mikrohullámú előkezelés hatása a biogázhozamra
szennyvíziszap anaerob rothasztása során
modellkísérletben BIZTONSÁGTUDOMÁNYI
SZEMLE 5: 2 pp. 59-67., 9 p. (2023)

2.2 Kevert és rothasztott iszap előkezelésének vizsgálata anaerob fermentáció biogáz hozama céljából

Tézis 2: Megállapítottam, hogy kevert iszap - nyírás és ütközés elvén történő - előkezelése esetén a kezelések számának van szignifikáns hatása a fermentáció során termelt biogáz és metán mennyiségre. A recirkuláció és a fordulatszám között nem állapítható meg kölcsönhatás, sem gáz sem metánhozam esetén.

Tézis 3: Megállapítottam, hogy rothasztott iszap - nyírás és ütközés elvén történő - előkezelése esetén a biogáz hozamra a kezelések számának és a fordulatszámnak is szignifikáns hatása van. A biogáz hozam metán mennyiségét csak a recirkuláció befolyásolja.

2.2.1 Az alapanyagok, a mechanikus előkezelés és a vizsgálati módszerek

A fermentáció során keletkező gáz mennyiségének és minőségének (metán tartalom) növelésére törekvés alapvető célként jelenik meg, ha energetikai aspektusból vizsgáljuk a folyamatot. E célból az alapanyagokat

érdekes előkezelésnek kitenni. Az előkezelés egyik típusa a mechanikus kezelés. Ezek által növelhető a szerves anyag fajlagos felülete, így a rothasztásban részt vevő baktériumok is jobban hozzáférnek, a rothasztás gyorsabban és hatékonyabban mehet végbe. Egy adott típusú előkezelés különböző alapanyagokkal vizsgálva eltérő hozam eredményeket adhat. Így az alapanyagok tekintetében kétfélet választottam

- kevert iszapot (szennyvíziszap, ami a szennyvíztelepi anaerob rothasztóba megy),
- rothasztott iszapot (a rothasztó toronyból kikerülő iszap).

A választott mechanikus aprítóberendezés nyírás és ütközés elvén valósítja meg a kezelt alapanyag szerkezetének roncsolódását, ami által baktériumok számára a hozzáférhető felület nő.

A fermentációs kísérlet a VDI 4630 [6] szerves anyagok fermentációs eljárást szabályozó ajánlása alapján zajlott.

Több változó függvényében vizsgáltam a mechanikus előkezelését követő biogáz fejlődést.

A statisztikai kísérlettervezés (Design of Experiment) segítségével végeztem a többváltozós vizsgálatot, ami validált elemzésre, a kapott adatok valós és objektív konklúziók levonására alkalmas [7].

A változó paraméterek a

- fordulatszám (0 –1600 - 2500 /min) és a
- recirkuláció (azaz a kezelés ismétléseinek száma) (0-3-9), értékei a korábban végzett elő-kísérletek tapasztalata alapján került meghatározásra.

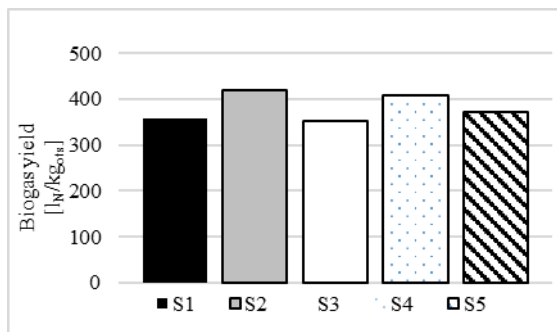
A faktorok két szélső értéken kerültek beállításra. A linearitás ellenőrzése végett még 1 db centrumpontri értékkel beállítva. A $2n = 2 \cdot 2 = 4$ db és még 1 db centrumpontri beállítás eredményezte az összesen 5 db (S1 – S5) számú teljes tervek összeállítását.

A kísérlettervben minden esetben ismételt és párhuzamos mintákkal dolgoztam.

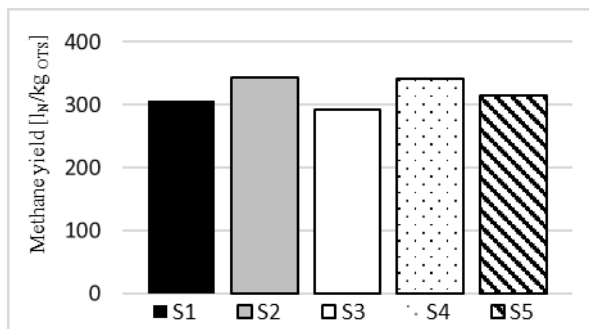
2.2.2 Az előkezelt kevert iszap biogáz hozama és az azt befolyásoló változó paraméterek

A kevert iszap kezelt mintáinak biogáz hozama 351 l_N/kg_{oTS} (S3) és 421 l_N/kg_{oTS} (S2) között alakult. A

kezeletlen minta biogáz hozama $367 \text{ l}_\text{N}/\text{kg}_\text{oTS}$. A metánhozam legmagasabb értéke $343 \text{ l}_\text{NCH}_4/\text{kg}_\text{oTS}$ (S2) a legalacsonyabb pedig $292 \text{ l}_\text{NCH}_4/\text{kg}_\text{oTS}$ (S3). A kezeletlen kevert iszap metánhozama $297 \text{ l}_\text{NCH}_4/\text{kg}_\text{oTS}$. (2., 3. ábra)

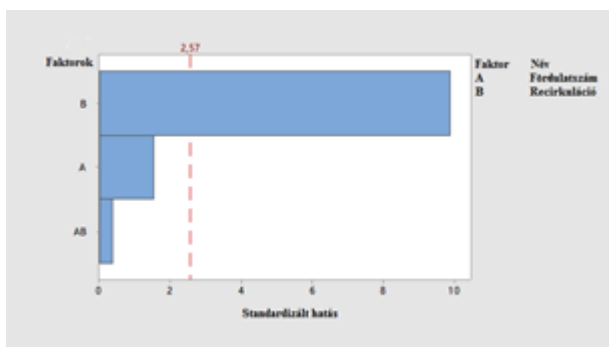


2. ábra Kevert iszap biogáz hozama

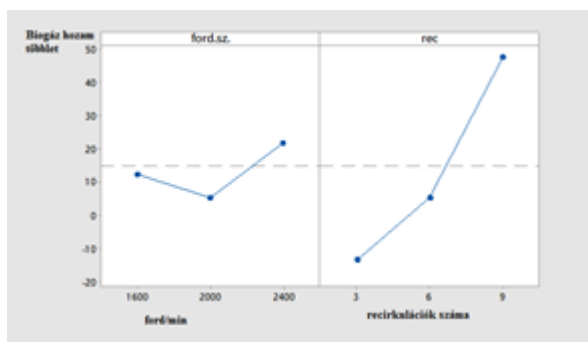


3. ábra Kevert iszap metán hozama

Megvizsgáltam az anaerob fermentáció végén a kezeletlen mintához képest a biogáz és a metánhozam hozam többletet. Ezen különbségek értékeit az ANOVA módszerrel értékeltem ki. A MINTAB program által kapott kevert iszap biogáz hozam többlet hatásdiagramja látható az alábbi Pareto diagramokon.



4. ábra A kevert iszap biogáz Pareto diagramja



5. ábra A fordulatszám és a recirkuláció hatása

Látható, hogy a fordulatszám hatása elhanyagolható a hozamok szempontjából. A kevert iszap esetén csak a recirkuláció számának van szignifikáns hatása a fermentációra (4. ábra). Hasonló eredménnyel zárult a metánhozam többlet Pareto diagramja is.

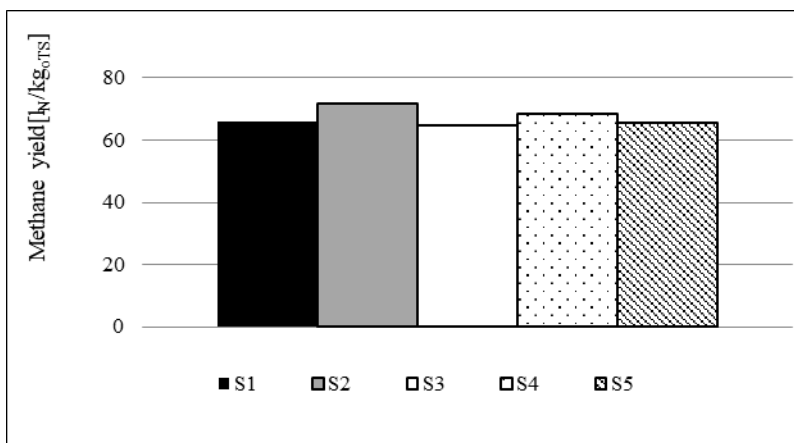
A recirkuláció és a fordulatszám között nem állapítható meg kölcsönhatás, sem gáz sem metánhozam esetén. A fordulatszám növelésével kevéssé, a recirkuláció növelésével jelentősen nőnek a hozamok (5. ábra).

A kísérletek során a magas recirkuláció mutatkozott a leghatékonyabbnak és a fordulatszám nem befolyásoló tényező. Ebből következik, hogy az előkezelés energiaigényét is figyelembe az optimális beállítás a magas recirkulációs szám (9-szeres) és az alacsony fordulatszám (1600 fordulat/perc) együttes alkalmazása esetére tehető. [7]

2.2.3 Az előkezelt rothasztott iszap biogáz hozama és az azt befolyásoló paraméterek vizsgálata

A kísérletek átlagosan 9 napig tartottak. Értékei jóval alacsonyabbak a kevert iszap értékeihez képest. A

menyiségi elmaradás azért alakult ki, mert ennek az alapanyagának a szerves szárazanyag tartalma már jóval kevesebb, hiszen már átesett egy anaerob rothasztáson. A kezelt fermentlé vizsgálatánál megállapítottam, hogy utófermentációja során a biogáz hozam $148\text{--}157,4 \text{ l}_\text{N}/\text{kg}_{\text{OTS}}$ közé esett. A kezeletlen fermentlé átlagos biogáz hozama $127,1 \text{ l}_\text{N}/\text{kg}_{\text{OTS}}$. A centrum pont (S5) adta a legalacsonyabb gázhozamot.

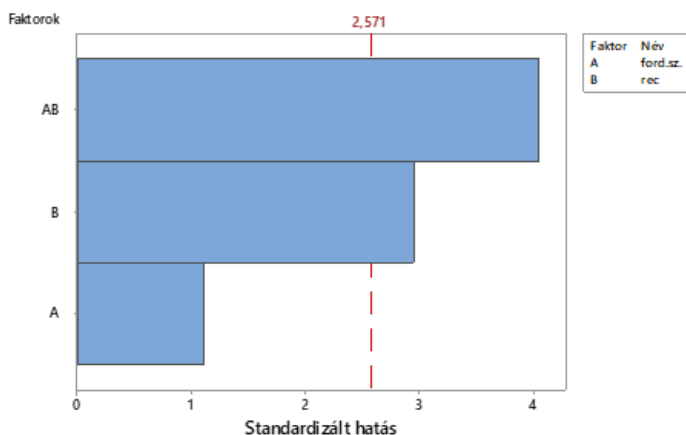


6. ábra A kevert iszap metánhozama

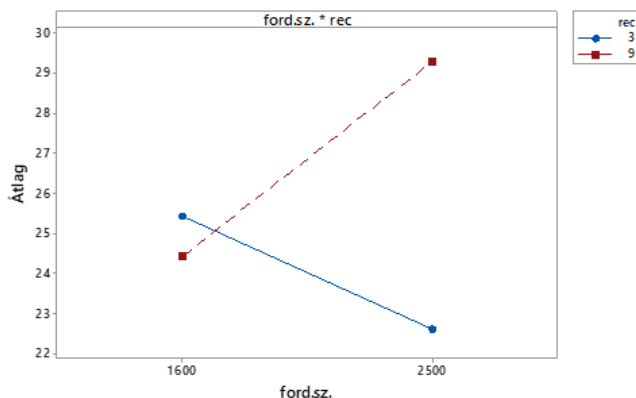
A metánhozamok a mérési eredmények alapján $64,0\text{--}71,6 \text{ l}_{\text{NCH}_4}/\text{kg}_{\text{OTS}}$ közé esett (6. ábra). A kezeletlen minta átlagos

metánhozama $37 \text{ l}_{\text{NCH}_4}/\text{kg}_{\text{oTS}}$ értéket vett fel a bomlási folyamat végére.

A 7. – 8. ábrán látható, hogy a biogáz hozam esetén 95 %-os szignifikancia szinten hatást mutat az eredményekre a fordulatszám és a recirkuláció kölcsönhatása, továbbá a recirkuláció. Leolvasható, hogy a kísérleti beállítások által meghatározott térben a nagyobb recirkuláció eredményez nagyobb gázhozamot. (8. ábra)

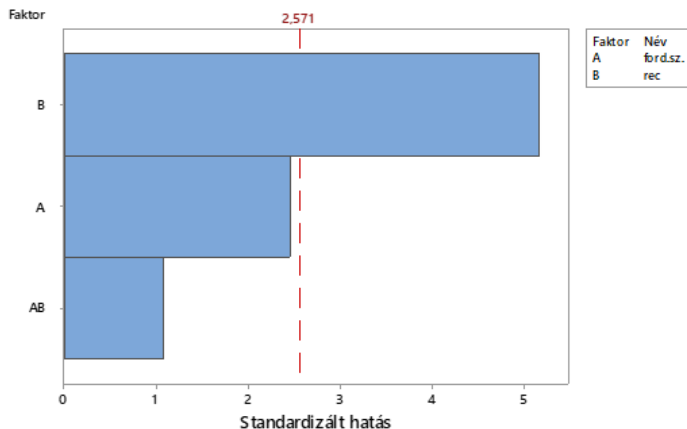


7.ábra Rothasztott iszap biogáz hozam Pareto diagramja



8. ábra A fordulatszám - recirkuláció hatása

A fordulatszám-recirkuláció kölcsönhatásának vizsgálata során megállapítható, hogy alacsony fordulatszám esetében a recirkulációk száma elhanyagolható befolyással van a gázhozamra (7.ábra). Magasabb fordulatszám értéken vizsgálva, ugyanakkor a nagy recirkuláció beállítások mellett adódik a nagy értékű biogáz hozam többlet.



9. ábra Rothasztott iszap metán hozam Pareto diagramja

A metánhozamra a recirkuláció van befolyásoló hatással (9. ábra). Az aprítás ismétlési számának növelésével nő a metánhozam is. A fordulatszám megközelíti a 95%-os szignifikancia határt.

A tézisekhez közvetlen kapcsolódó cikkek:

1. Tupa, Boglárka; Korondi, Endre; Bakosné, Dr. Diószegi Mónika

Kevert iszap előkezelésének hatása a fermentációra:
Effect of waste-water sludge pre-treatment on

fermentation BÁNKI KÖZLEMÉNYEK 1: 2 pp. 69-73.,
5 p. (2018)

2. Bakosné, Diószegi Mónika

COMPARISON OF MECHANICAL PRETREATMENT
METHOD OF ORGANIC WASTE IN WASTEWATER
PLANT GÉP 3: 1 pp. 31-35., 5 p. (2017)

2.3 Horizontális elrendezésű reaktor hatékonyságának vizsgálata

Tézis 4: Megállapítottam, hogy malomkerék keverőegységgel kialakított horizontális elrendezésű reaktor hatékony a homogenizálásban nagyobb szemcseméretű, száraz, növényi alapanyaganaerob fermentálásakor.

Az Óbudai Egyetem Biogáz kutatólaboratóriumában található Fermac 320 (10. ábra) álló elrendezésű anaerob fermentációra alkalmas egységek teljesen automatizáltak, távoli eléréssel is irányíthatók, naplózzák a pH változását, a hőmérséklet és a keverés paramétereit. Használatuk még sem kedvelt, mert a gyári keverőlapátokkal a gyakran vizsgált kísérleti alapanyag (növényzet) keverésére, homogenizálására alkalmatlan.



10. ábra Fermac 320 egységei

Ez alapján célként tűztem ki a berendezés automatizált tulajdonságaira építve egy egyedi horizontális elrendezésű reaktor megtervezését és kivitelezését. Olyat, aminek keverőegysége hatékonyan látja el az alapanyag homogenizálását. A tervezett majd legyártott berendezés működését empirikus és összehasonlító módszerrel ellenőriztem.

2.3.1 A keverés jelentősége és kialakításuk a horizontális bioreaktorban

A keverés célja, hogy nem engedi leülepedni a folyadék közegben a szárazanyagot, valamint homogenizálja a közeget és intenzifikálja a biológiai folyamatokat. Így a gáz termelésért felelős baktériumok számára nagyobb az elérhető felület, több biogáz képződik.

A Dán Műszaki Egyetem Környezet és Energetikai karon végeztek batch kísérletet 55 °C-on a keverés intenzitásának (minimális, gyenge, erőteljes) hatásairól. Kimutatták, hogy alacsony szubsztrát tartalom esetén a hatékony keverés, túlterhelt szubsztrát tartalom esetében pedig minimális keverés az optimális. Folyamatos üzemű

rendszerénél pedig, betáplálás előtt 10 percig történő keverés volt az ideális. [8]

A bioreaktorok mechanikus úton történő keverése a leggyakoribb módszer ipari méretekben. A függőleges síklapú keverőket (Rushton), elsősorban magas fordulatszámú keveréshez használják. A baktérium kultúrák keverésénél nem ideális. A Fermac 320-as rendszer is ezzel felszerelt. Növényi hulladék keverésénél hatékonyabb a különböző dőlés szögű propellerek használata, melyekkel axiális irányú keverés is megvalósítható. [9]

A horizontális dob reaktor egyik típusa, mikor maga a reaktortestként funkcionáló dob szerkezet forog. Az ehhez erősített lapátok és emelő kanalak végzik a szükséges keverést, a dobtestet pedig villanymotorokkal hajtott görgőkkel forgatják.

A második csoportba azok a reaktorok tartoznak, melyek rögzített tartályok, és valamilyen keverő berendezés üzemel a belső térükben. A laboratóriumi méretű berendezések esetében számos különböző konstrukciójú

keverővel találkozhatunk. Ipari méretekben általában axiális irányú spirál keverőkkel vagy csiga keverőkkel dolgoznak. A tartály jellegű reaktorok keverése általában folyamatos.

2.3.2 A horizontális elrendezésű keveréssel ellátott bioreaktor tervezése

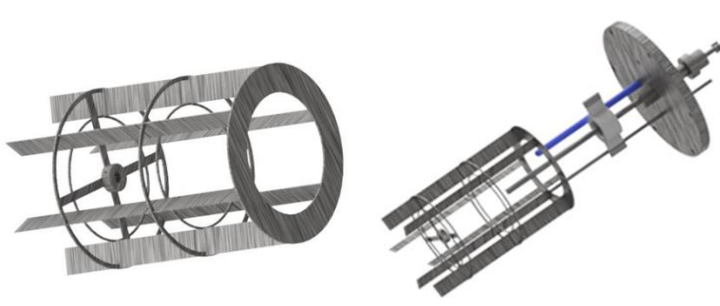
Az irodalomkutatás és a labor igények alapján rögzített testű belső keverésű reaktort tervezése volt a cél. Kialakításkor felhasználtam a Fermac 320 több paraméterét és elemét is, ezzel kompatibilissé téve az új rendszert a forgalomban kapható egységgel. Nem csak a belső térfogat, de a fizikai méretek is, mint külső-, belső átmérő és magasság (a fekvő esetében hossz) is megegyeznek. A reaktor legfontosabb alkotó eleme maga a test, amit korrózióálló acélból valósítottam meg. Az 5 literes működő térfogatú reaktortest három részből áll. A központi elem egy 3.5 mm falvastagságú korrózióálló acél cső. Ennek mind a két oldalára furatokkal ellátott peremek lettek hegesztve. A henger alakú reaktortest elfordulását a talp gátolja meg. Ez egy gumis belső felületű csőbilincs, melyre M8-as toldó anyák kerültek hegesztésre. A

megfelelő hosszúságú csavarokkal állítható a reaktor dőlésszöge a vízszinteshez képest. A kontroll kísérletnél a reaktort vízszintes elrendezésben használtam.

A reaktor másik fő eleme a keverő. Malomkerék szerű kialakítást választottam, ami a reaktor majdnem teljes hosszában képes keverni a belsőjében lévő folyadékot. A keverőt hat lapáttal van ellátva 60° -ban egymástól elhelyezve. A keverő 1 mm vastagságú korrózióálló acélból készült. A lapátokat négy gyűrű és egy véglap tárcsa tartja pozícióban. A keverő külső átmérője csupán 5 mm-el kisebb, mint a reaktor belső átmérője, annak érdekében, hogy a lehető legtöbb, a reaktor fenekére leülepedett szuszpenziót legyen képes megmozgatni. A rögzítési pontot a hőmérséklet szondához a lehető legközelebb helyeztük el, ezzel is csökkentve a tengely kihajlását. A keverőlapát modellje 11.a, a fedéllel összeállított és szondákkal feltüntetett elrendezés a 11.b., míg az összeszerelt egység modelljét a 11.c. ábra szemlélteti.

A Fermac több elemét is felhasználtam az elkészült reaktorhoz. A legfontosabb ilyen egység a fedél, amibe

gáztömör kialakítás követelményeinek megfelelően át van fűzve a motorral hajtott keverőszár főtengelye. A fedél biztosítja a pH szonda és a hőmérsékletmérő pozícióját is. Az elektromotor fordulatszámának beállítása a vezérlő egységen keresztül történik.



a.

b.



c.

11. ábra A keverő modellje és az elkészült egység

A hőmérséklet temperálását a reaktortestbe erősített elektromos ellenállásos gyári fűtőköpeny biztosítja.

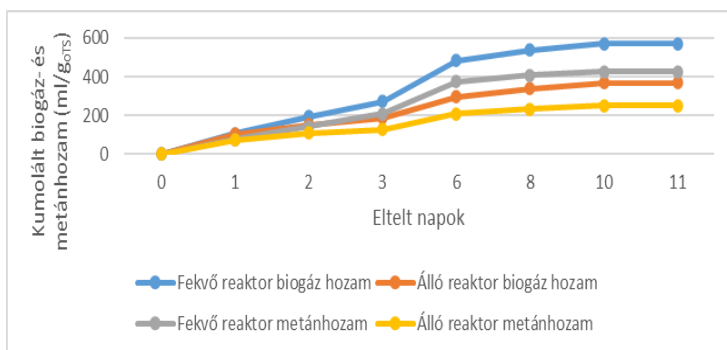
2.3.3 A kontroll kísérletek eredménye

A kísérletekben oltóiszapként Dél-pesti szennyvíztisztító telepről származó fermentlevet használtam. A kísérleti alapanyag pedig 2 mm alatti búzaszalma frakció volt. A fermentáció a VDI 6430 Szerves anyagok fermentálása irányelv [6] alapján zajlott. A keverés beállított értéke a tervezett és a gyári reaktor esetében is 10 fordulat/perc volt, a beállított hőmérséklet 37 Celsius.

A kísérlet alatt nagy különbséget figyeltem meg a hőmérséklet alakulásakor a két reaktor között. Az üveg gyorsabban melegszik át és közli a hőt a folyadékkal, de sajnos az előre beállított értékhez képest túlfűti a rendszert. Megközelítőleg 42-44 °C-ra melegíti a folyadékot, ami túllép a mezofil tartomány határán. A 37°C-os hőmérsékletet beállításához közel 5 órára volt szükség. A hőmérséklet ingadozás végig kísérte az üveg reaktor működését a több napos rothasztási folyamat alatt, emiatt a fűtőköpeny óránként 2-3-szor ki-be kapcsolt. Minden bekapcsoláskor 1-2°C-al túlfűti a rendszert

mielőtt kikapcsol, és csak akkor kapcsol be ismét, ha a folyadék már 35-36°C-osra hűlt. A fémtestű reaktor esetében nincs túlfűtési szakasz. Az itt megfigyelhető hőingadozás óránként csupán 0.3 °C pozitív és negatív irányban a beállított értékhez képest.

A tervezett fermentációs egység keverője a homogenizálást tökéletesen megoldotta. A horizontális reaktor kumulált gázhozama 54%-kal, a kumulált metánhozama pedig 64%-kal magasabb lett, mint a vertikális egysége. (12. ábra)



12. ábra Kumulált biogáz- és metánhozamok felfutási görbéi

A tézisekhez közvetlen kapcsolódó cikkek:

1. Bakosné Diószegi, Mónika,

Design of a horizontal anaerobic reactor

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK (EN) 9
pp. 35-38., 4 p. (2018) DOI

2. Bakosné, Diószegi Mónika,

Biogáz laboratórium gépészeti fejlesztései GÉP 69: 1 pp.
12-16., 5 p. (2018)

3. Bakosné, Diószegi Mónika; Misi, Ádám,

Anaerob fermentációs reaktor keverőlapátjának
optimalizálása

GÉP 5-6 pp. 5-10. Paper: LXVII. évfolyam, 6 p. (2016)

4. Bakosné, Diószegi Mónika, Fekvő elrendezésű
anaerob reaktor tervezése

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK (HU) 9
pp. 35-38., 4 p. (2018)

3 A kutatás és a bemutatott eredmények hatása, visszhangja

A biogáz technológia fejlesztése szoros kapcsolatban áll az ESG (Environmental, Social, Governance) alapelvekkel. A fenntarthatósági célokat támogató közlemények preferált témakörök, amik a társadalom egészét érintik. A témában megjelent publikációkat nagy érdeklődés követi, ami az azokra független hivatkozások számából is látszik.

Számos esetben megkeresést, együtt gondolkodást vagy együttműködést is maga után von az eredményeim közzététele.

A publikációimban közölt eredmények hatása által együttműködtem az

- Agrártudományi Kutatóközpont Talajkémiai és Anyagforgalmi Kutató osztályának kutatóival, VALUE – Waste to Value – GINOP-2.2.1-15-2017-00080 pályázat kapcsán.

- a Szegedi Tudomány Egyetem Természettudományi és Informatikai kar Biológiai intézet több kutató kandidátusával,
- a Magyar Biogáz Egyesület elnökével, Prof. Dr. Kovács Kornéllal
- a Csatornázási Művek Dél-pesti Szennyvíztisztító telepének kutató munkatársaival és műszaki igazgatójával, továbbá
- az Opusz Energetika cégcsoport megbízásából szakvéleményt nyújtottam a Szarvasi biogáz erőmű működésének állapota és annak hatékonyság növelése kapcsán.

A szerves anyagok anaerob fermentációjának vizsgálata számtalan irányba nyit lehetőséget, mellyel a későbbiekben szándékozom élni.

4 Irodalmi hivatkozások listája

A felhasznált, idegen szerzők által publikált szakirodalmi hivatkozások

[1] Fytili, D.; Zabaniotou, A. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2008, 12, 116–140. [Google Scholar] [CrossRef].

[2] Neczaj, E.; Grosser, A. Circular Economy in Wastewater Treatment Plant—Challenges and Barriers. *Proceedings* 2018, 2, 614. [Google Scholar] [CrossRef],

3] Healy, M.G.; Clarke, R.; Peyton, D.; Cummins, E.; Moynihan, E.L.; Martins, A.; Béraud, P.; Fenton, O. Resource recovery from sewage sludge. In *Sewage Treatment Plants: Economic Evaluation of Innovative Technologies for Energy Efficiency*; Stamatelatou, K., Tsarakakis, K.P., Eds.; IWA Publishers: London, UK, 2015; pp. 139–162. ISBN 9781780405025. [Google Scholar].

[4] E. Veschetti, D. Maresca, D. Cutilli, A. Santarsiero, M. Ottaviani, Optimization of H₂O₂ action in sewage-

sludge microwave digestion using Δ pressure vs. temperature and pressure vs. time graphs, Microchemical Journal, Volume 67, Issues 1–3, december 2000, Pages 171-179

[5] Juan Tong, Jibao Liu, Xiang Zheng b, Junya Zhang a, Xiaotang Ni, Meixue Chen, Yuansong Wei, Fate of antibiotic resistance bacteria and genes during enhanced anaerobic digestion of sewage sludge by microwave pretreatment Bioresource Technology Volume 217, October 2016, Pages 37-43

[6] VDI 4630: Fermentation of organic materials – Characterisation of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation test, 2006

[7] A. Dregelyi-Kiss, R. Horvath and B. Miko. Design of experiments DOE in investigation of cutting technologies. Scientific Research Reports vol. 3. Krakow University, 2012.

[8] Ellegaard, Irini Angelidakia - Effects of mixing on methane production during thermophilic anaerobic digestion of manure: Lab-scale and pilot-scale studies

[9]<http://www.biologydiscussion.com/bioreactors/bioreactors-types-top-3-types-of-bioreactors/12213>

[10] Drégelyi – Kiss Ágota, Horváth Miklós, Bagi Zoltán: Biogáz gyártás mérési eljárásai, Óbudai Egyetem, Budapest, 2012, ISBN 978-615-5018-51-0

[11] OjikutuAbimbola, Osokoya Olumide Evaluation of Biogas Production from Food Waste The International Journal Of Engineering And Science (IJES) ISSN (e): 2319 <http://www.theijes.com/papers/v3-i1/Version-2/A030102001007.pdf>

5 A tézispontokhoz közvetlen és közvetetten kapcsolódó tudományos közlemények

1. Bakosné, Diószegi, Mónika; Rékási, Márk; Szécsy, Orsolya; Bezsenyi, Anikó; Nagy-Mezei, Csenge; Paukó, Andrea

Mikrohullámú előkezelés hatása a biogázhozamra szennyvíziszap anaerob rothasztása során modellkísérletben Biztonságtudományi szemle 5: 2 pp. 59-67., 9 p. (2023)

2. Bezsenyi, Anikó; Sági, Gyuri; Bodáné, Kendrovics Rita; Bakosné, Diószegi Mónika; Makó, Magdolna; Palkó, György; Wojnárovits, László; Takács, Erzsébet

Kometabolizmus: Mikrobiológiai segítség a gyógyszermaradványok szennyvízből való eltávolításához MASZESZ Hírcsatorna: 4 pp. 11-37., 27 p. (2019)

3. Bakosné Diószegi, Mónika
Design of a horizontal anaerobic reactor

Műszaki Tudományos közlemények (EN) 9 pp. 35-38., 4 p. (2018) DOI: 10.33894/mtk-2018.09.04

4. Bakosné, Diószegi Mónika

Biogáz laboratórium gépészeti fejlesztései GÉP 69: 1 pp. 12-16., 5 p. (2018)

5. Bakosné, Diószegi Mónika

Biogáz laboratórium gépészeti fejlesztései

Gépipari Tudományos Egyesület (2018) pp. 12-16., 5 p.

6. Bakosné, Diószegi Mónika

Fekvő elrendezésű anaerob reaktor tervezése

Műszaki Tudományos közlemények (HU) 9 pp. 35-38., 4 p. (2018) DOI: 10.33895/mtk-2018.09.04

8. Tupa, Boglárka; Korondi, Endre; Bakosné, Dr. Diószegi Mónika

Kevert iszap előkezelésének hatása a fermentációra:
Effect of waste-water sludge pre-treatment on
fermentation Bánki Közlemények 1: 2 pp. 69-73., 5 p.
(2018)

9. Bakosné, Diószegi Mónika

Comparison of mechanical pretreatment method of
organic ewate in ewater plant GÉP 3: 1 pp. 31-35., 5 p.
(2017)

10. Bakosné, Diószegi Mónika; Misi, Ádám
Anaerob fermentációs reaktor keverőlapátjának optimalizálása
GÉP 5-6 pp. 5-10. Paper: LXVII. évfolyam, 6 p. (2016)
11. M, Bakosné Diószegi
Biogáz kutatási lehetőségek az Óbudai Egyetemen
In: Drégelyi-Kiss, Ágota (szerk.) Proceedings of 8th International Engineering Symposium at Bánki (IESB 2016) Óbudai Egyetem (2016) Paper: 29, 10 p.
12. M, Bakosné Diószegi; Zs, Kiss; E, Korondi
Power optimization of bioreactor block with water bath stabilized temperature
In: Drégelyi-Kiss, Ágota (szerk.) Proceedings of 8th International Engineering Symposium at Bánki (IESB 2016) Óbudai Egyetem (2016) Paper: 25, 8 p.
13. Bakosné, Diószegi Mónika
Speciális mechanikus előkezelés hatásának vizsgálata biogáz hozam növelése céljából 145 p.
Óbudai Egyetem, Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola, Disszertáció benyújtásának éve: 2015, Megjelenés/ Fokozatszerzés: 2015, Disszertáció (PhD)

14. Mónika, Bakosné Diószegi; Miklós, Horváth
Experiments with a Newly Developed Biogas Reactor
Block

ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA 12: 1 pp. 175-
188., 14 p. (2015)

Scopus - Multidisciplinary SJR indikátor: Q1, folyóirat
szakterülete: Scopus - Engineering (miscellaneous) SJR
indikátor: Q2, DOI: 10.12700/APH.12.1.2015.1.11

15. Erzsébet, Ancza; Mónika, Bakosné Diószegi;
Miklós, Horváth

Hydrodynamic Cavitation Device that Makes Straw Cuts
Suitable for Efficient Biogas Production Applied
mechanics and materials 564 pp. 572-576., 5 p. (2014),
DOI Corvinus PhD WoS Scopus, SJR indikátor: Q3, DOI:
10.4028/www.scientific.net/AMM.564.572

16. Mónika, Bakosné Diószegi; Miklós, Horváth
Effects of Mechanical Pretreatment on Wheat Straw
Fermentation

In: Rácz, Pál (szerk.) IESB 2014: Nemzetközi Gépész és
Biztonságtechnikai Szimpózium, Óbudai Egyetem, Bánki
Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar (2014)
pp. 76-88., 13 p. ISBN: 9786155460081

17. Mónika, Bakosné Diószegi; Miklós, Horváth; Ágota, Drégelyi-Kiss Experimental Design and Study of Shear Technology for Biomass Comminuting Applied mechanics and materials 564 pp. 555-559., 5 p. (2014)
18. Bakosné, Diószegi Mónika
A magyarországi energiabiztonság növelésének okai
In: Csibi, Vencel-József (szerk.) OGÉT 2013 XXI Nemzetközi Gépészeti Találkozó
Kolozsvár, Románia: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT) (2013) pp. 28-31., 4 p.
19. Bakosné, Diószegi Mónika; Horváth, Miklós; Szigeti, Márton
Biogáz alapanyag előkezelési technológiák
Budapest, Magyarország: Óbudai Egyetem (2013), 100 p.
ISBN: 9786155018954
20. Horváth, Miklós; Bakosné, Diószegi Mónika
Biogáz üzem típusok Magyarországon - lehetőségek és buktatók
In: Csibi, Vencel-József (szerk.) OGÉT 2013 XXI Nemzetközi Gépészeti Találkozó, Kolozsvár, Románia: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT) (2013) pp. 162-165., 4 p.

21. Miklós, Horváth; Sándor, Horváth; Mónika, Bakosné Diószegi; Tibor, Poós

Breakthrough possibilities and limitations based on the experiences of the Hungarian biogas plants

In: Anikó, Szakál (szerk.) EXPRES 2013: 5th International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources Budapest, Magyarország: Óbudai Egyetem (2013) pp. 123-126., 3 p.

22. Szigeti, Márton; Bakosné, Diószegi Mónika; Legeza, László; Horváth, Miklós

Magyarország hulladékhasznosítási lehetőségei hatékonyabb biogáz termelés céljából

In: Csibi, Vencel-József (szerk.) OGÉT 2013 XXI Nemzetközi Gépészeti Találkozó, Kolozsvár, Románia: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT) (2013) pp. 387-390., 4 p.

23. Adler, György; Mohácsi, Róbert; Bakosné, Diószegi Mónika; Horváth, Miklós

Introduction of Various Biogas Plants in Hungary (2012) Plants in Hungary, Postgraduates' International Network, Budapest - előadás

24. Horváth, M; Bakosné, Diószegi Mónika

Biogáz üzemek Magyarországi tapasztalatai - lehetőségek és buktatók (2012) GreenTech 2. konferencia - előadás,

25. Horváth, Miklós; B. M., Diószegi

Biogáz hozam növelése kavitációs mező alkalmazásával

In: Csibi, Vencel (szerk.) OGÉT 2012, XX. Nemzetközi Gépészeti Találkozó

Kolozsvár, Románia: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT) (2012) pp. 185-188., 4 p.

26. HORVÁTH, Miklós; HORVÁTH, Sándor; CSÓKA, Levente; ADLER, György; MOHÁCSI, Róbert; BAKOSNÉ, DIÓSZEGI Mónika

Biogáz üzemek helyzete Magyarországon, kitörési lehetőségek

Bánki Donát Emlékkülés, 2012. november 22., Budapest, Magyarország: Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar (2012) pp. 81-88., 7 p.

27. Bakosné, Diószegi Mónika

Biogáz laboratórium az Óbudai Egyetemen

In: Otti, Csaba; Őszi, Arnold (szerk.) Nemzetközi Gépész és Biztonságtechnikai Szimpózium: International Engineering Symposium at Bánki (IESB 2011)

Budapest, Magyarország: Óbudai Egyetem (2011) p. 123

28. Bakosné, Diószegi M; Horváth, M.; Legeza, L
Biogáz laboratórium fejlesztése
In: Péter, Tamás (szerk.) Innováció és fenntartható
felszíni közlekedés, IFFK 2011
Budapest, Magyarország: Magyar Mérnökakadémia
(MMA) (2011) pp. 325-330. Paper: 14, 6 p.
29. Bakosné, Diószegi Mónika; Horváth, Miklós;
Grozdits, G ; Csóka, Levente
Hydrodynamic Cavitation Digested Wheat Straw And
Biogas Production From The Residue (2011)
Tappi PaperCon 2011, Covington, Northern Kentucky
Convention center May 1-4, 2011, Poszter, Megjelenés:
Amerikai Egyesült Államok,
30. Bakosné, Diószegi Mónika; Horváth, M.
Kavitációs mező előállítása szonokémiai reakciókhoz
In: Csibi, Venczel (szerk.) OGÉT 2011 - XIX.
Nemzetközi Gépészeti Találkozó
Kolozsvár, Románia: Erdélyi Magyar Műszaki
Tudományos Társaság (EMT) (2011) pp. 168-171. Paper:
31. Bakosné, Diószegi Mónika
A biogáz szerepe a hazai energia-biztonságban

In: Lőrincz, Katalin (szerk.) Nemzetközi Gépész, Mechatronikai és Biztonságtechnikai Szimpózium Budapest, Magyarország: Óbudai Egyetem (2010) P.: 9

32. Bakosné, Diószegi Mónika; Solymosi, J.

Növénytermesztési és állattenyésztési „vegyes” gazdaságok hulladékainak energetikai hasznosítása

HADMÉRNÖK 3: 5 pp. 24-37., 14 p. (2010),

33. Bakosné, Diószegi Mónika

Hazai energiabiztonság növelésének lehetőségei

HADMÉRNÖK 4: 2 pp. 5-18., 14 p. (2009),

41. Bakosné, Diószegi Mónika

Energiabiztonság - növelés lehetőségének vizsgálata lágyszárú mezőgazdasági hulladék vizsgálatával GÉP 2008/9. pp. 3-7., 5 p. (2008) Matarka