

Óbudai Egyetem

Doktori (PhD) értekezés
tézisfüzete



**Speciális mechanikus előkezelés hatásának vizsgálata
biogáz hozam növelése céljából**

Bakosné Diószegi Mónika

Témavezető:

Dr. Horváth Miklós

Biztonságtudományi Doktori Iskola

Budapest, 2015. január

1. A kutatás előzményei

Az elmúlt években az energiaellátás és energiafelhasználás problémája az energiabiztonság kérdéskörének, így a nemzetközi biztonsági tanulmányok tárgykörének is egyik kulcskérdésévé vált. A biztonság fogalma kiegészült az energiabiztonsággal és az ezzel szorosan összefüggő klímabiztonsággal. Az energiabiztonság különösen azon térségeket és országokat érinti – így az Európai Unió tagállamait, s köztük hazánkat is –, melyek jelentős mennyiségű energiát használnak fel, miközben szénhidrogén kincsekben szegények.

Az Európai Unió országaira jellemzően a primer energiatermelés és a felhasználás közötti eltérés az energiaellátás biztonságával kapcsolatosan aggályokat okoz. A közösségben a felhasznált energia több mint fele származik importból. A jelentkező energiahiányt az Európai Unió harmadik országokból származó energiaforrásokkal pótolja. Tagállamaiba érkező három jelentős primer-energia (kőszén, nyersolaj, földgáz) fő beszállítója Oroszország. Ezen energiahordozók közül is a legjelentősebb függőséget a földgáz hiány okozza.

Magyarország energiaigényét tekintve a tagállamok között a középmezőnyben foglal helyet (2011-ben 1071 PJ), ugyanakkor energiatülszórása átlag feletti. Hazánk energia kiszolgáltatottsága 2002 óta 60% fölötti [1]. A honi energiafogyasztás fedezetének hiánya főként az olaj és a földgáz nagy mennyiségű felhasználásából adódik. Az összességében vett 80%-os országos földgázimport függőségünk csaknem teljes egészében Oroszország felé alakult ki [2].

A szembeötlő, első sorban fosszilis energia-kiszolgáltatottság növeli az alternatív energiák iránti igényeket. Célszerű serkenteni a kihasználatlan, és éppen ezért napjainkban csak egyfajta „*tartalékként*” jelen lévő kapacitások kiaknázását. A többféle energiatípusra támaszkodó gazdaságok kiépítése, az alternatív energiaforrások felhasználásának fejlesztése fontos törekvés. Magyarország kitűnő természeti adottságának köszönhetően jelentős a faipari, a

mezőgazdasági és az állattenyésztési tevékenység. Észszerű e területek visszamaradó szerves hulladékából előállítható energiahordozó hasznosítását előtérbe helyezni. A széntartalmú hulladék anyagok anaerob degradációja során keletkező értékes biogáz nagy lehetőségekkel rendelkező megújuló energiaforrás lehet hazánkban.

E légnemű energiahordozó előállításának hatékonysága – a mennyiségének és minőségének növelése –, serkentőleg hathat a biogáz erőmű beruházásokra. Széleskörű alkalmazása jelentősen csökkenthetné a hazai energiafüggőséget.

2. Célkitűzéseim

A biogáz hazánkban méltánytalanul csekély mértékben előállított megújuló energiahordozó a forrásmennyiséghez képest. A környezetet terhelő szerves anyag anaerob bomlása során számunkra fontos termék: energia nyerhető. A biogáz üzemek elsődleges célja a biogáz termelés mennyiségének és minőségének növelése, továbbá a lebomlási idő csökkentése. Sokszor az üzemek rothasztási hatékonysága nem kielégítő, ami abban is megnyilvánul, hogy a visszamaradó fermentléből még jelentős mennyiségű hasznosítható metángáz szabadul fel. Érdemes ennek a fermentlének a további utófermentációját is megvizsgálni, hatékonyabbá tenni.

Ennek érdekében javasolt az alapanyag előkezelése: az aprítási technológia, a biotechnológiai és metagenomikai módszerek alkalmazása. Az aprítási eljárások közül a mechanikai elven történő felületkezelések széleskörű alkalmazási lehetőséget jelentenek.

A felületkezelő, homogenizáló berendezések használata a mezőgazdasági üzemekben kevésbé jellemző. A szennyvíziszap alapú biogáz üzemekben előfordul a mechanikus előkezelés alkalmazása. Elterjedőben van az ultrahangos kavitáción alapuló aprítási technológia, mint hatékony szennyvíziszap előkezelő

eljárás. Ugyanakkor ezek az iszapkezelő berendezések nehezen beállíthatók, sokszor szűk alkalmazhatósági határok között alkalmazhatók.

A biogáz üzemek alapanyaga széles spektrumú. A néhány %-tól akár a 20-30%-ig terjedő, nagy szárazanyag tartományú szerves szubsztrátum feldolgozása olyan technológiát igényel, ami hatékonyan alkalmazható az anyag e jellemzőjétől függetlenül.

Ilyen mechanikai előkezelő berendezés, ami bizonyítottan alkalmazható lenne az alapanyagok széles körében az üzemekben még nem jelent meg.

Céljaim:

1. Feltárni a szakirodalom alapján a mechanikus előkezelő eljárásokat, majd felkutatni a mezőgazdasági alapanyag, mezőgazdasági fermentlé és szennyvíztelepi fermentlé előkezelésre, felületújítására is alkalmas berendezést.
2. Megkeresni a fent említett alapanyagok fermentálása során azokat az előkezelésre jellemző körülményeket, melyek a biogáz és metán többlet hozamot befolyásolják. Céлом, megállapítani ezek alapján a vizsgálati kísérleti teret.
3. Megállapítani a kísérleti térben az egyes alapanyagok biogáz és metánhozam többleteit, vizsgálva közben a meghatározott körülmények hatását.
4. Megvizsgálni, hogy az előkezelés során befektetett energia és az alapanyagok metánhozam többletének energia értéke az egyes alapanyagok tekintetében hogyan viszonyul egymáshoz.
5. Megvizsgálni, hogy a mezőgazdasági és szennyvíztelepi fermentlevek rothasztása során változik-e a biogáz minősége.

A céljaim kitűzését követően az alábbi hipotéziseket állítom fel:

- Megvizsgálom, hogy a választott berendezéssel történő kezelés az alapanyagok (mezőgazdasági alapanyag, mezőgazdasági fermentlé és szennyvíztelepi fermentlé) szempontjából biogáz és metántöbbletet idéz-e elő a fermentáció során. Feltételezem, hogy az egyes alapanyagok előkezelésénél meghatározott tényezőknek hatása van a biogáz képződésre. Kutatom azok lehetséges kölcsönhatásait. A kísérleti eredmények alapján meghatározom az egyes alapanyagok biogáz- és metántöbblet várható értékének becsült regressziós függvényeit.
- Megvizsgálom, hogy az előkezelés során befektetett energia és az alapanyagok metánhozam többletének energia értéke pozitív energiamérleget eredményez-e mindhárom alapanyag tekintetében.
- Kutatom, hogy a mezőgazdasági és szennyvíztelepi fermentlevek esetében tapasztalható-e minőségi biogáz változás, melynek igazolása az alapanyag kémiai jellemzőjében nyomon követhető.

3. Vizsgálati módszerek

A biogáz témakörben töltött kutatási munkám időszakában számos hazai és külföldi biogáz üzemben tettem látogatást. Tapasztalataim alapján megállapíthatom, hogy a mezőgazdasági alapanyagot feldolgozó üzemek minimális előkezelési, darálási-darabolási technológiát alkalmaznak a szubsztrátum homogenizálása céljából. Oka, hogy a technológiai sorrendbe építhető előkezelő gépegység az előzetes energiamérleg alapján sokszor nem gazdaságos. A szennyvíziszap kezelés során már gyakrabban alkalmazott az elterjedőben levő ultrahangos felületújító berendezés. A fermentáció végén keletkező fermentlé további kezelése az esetleges utófermentáció előtt nem elterjedt.

Értekezésemben vizsgáltam e témakörben az átfogó nemzetközi és hazai irodalmat. Az anaerob degradáció során a hidrolízis sebessége határozza meg a

gázképződés időbeli lefolyását. A felületfüggő bomlást a szilárd részecskék méretének csökkentésével lehet gyorsítani. Ezt az aprítást a biomassza előkezelése során létrehozhatjuk fizikai, kémiai és biokémiai úton is. Mindegyik kezelési eljárásnak több altípusa létezik, továbbá egymással kombináltan is alkalmazhatók. Ezen csoportosítás alapján megvizsgáltam a mezőgazdasági és a szennyvíz alapú előkezelő technológiákat és azok eredményeit, jellemzőit.

A mezőgazdasági alapú szubsztrátum fő alkotóeleme a lignocellulóz. A lignocellulóz cellulóz és hemicellulóz poliszacharidokból, valamint az összetartó erős vázszerkezetből, a ligninből áll [3]. Előkezelés nélkül a cellulóz enzimes hozzáférhetősége - az ellenálló lignocellulóz struktúra miatt -, igen alacsony, a fermentációban résztvevő mikroorganizmusok számára nehezen emészthető. A lignocellulózban a hasznosítható cukrok kötött formában vannak jelen, a cellulóz bontását a lignin és a hemicellulóz polimer mátrixának kötése nehezítik. A nagy lignintartalom a sejtfal ellenálló képességének növelését vonja maga után [4].

A cellulóz jelentős, körülbelül 2/3 része kristályos, erős szerkezetet alkot kötegelt makrofibrilláival. [5] Ha magas a kristályosodási arány, akkor a hidrolizáló enzimek számára nehezebben hozzáférhető, vízzáró struktúrája ellenállóbb a mikrobiológiai és oxidatív behatásoknak. A szerkezet megbontásának vizsgálatára, a széles körű előkezelések eljárási módoknak megfelelően, jelentős számú tanulmány készült [6, 7, 8].

Dolgozatomban áttekintő jelleggel vizsgáltam a fizikai kezelések közül a termikust, majd a kémiai és a biológiai előkezeléseket. Bővebben ismertettem a fizikai előkezelések mechanikai elvű csoportjába sorolható lignocellulóz rostbontást. Az egyes berendezések által elért biogáz és/vagy metánhozam növekményeket összegyűjtöttem. A bomlási hatékonyságot jellemzi a kristályosodási fok, amit a golyós őrlő berendezés a 74,2%-ról 4,9%-ra csökkent [9]. Kim és Holtzaple [10] rizsszalmán végzett marási eljárást, hőmérséklet növelésével és a 2%-os ammóniás kezeléssel együtt, mely jelentős gázhozam

növekedést okozott. Az őrlés-nyírás elvén működő hollandi törővel silózott kukoricával 29%-os biogáz többlet hozamot értek el [11]. Szintén ez a szerkezet alga alapanyag esetében - annak kismértékű lignocellulóz tartalma miatt - magas, mintegy 70% körüli extra biogáz többletet mutatott [12]. A búzaszalma ultrahangos kezelésének hatásait vizsgálva megállapították, hogy másodlagos sejtfalának első rétegében jelentős fibrilláció megy végbe. Rostdarabolódás és duzzadás is megfigyelhető, javul a ligninmentesítés és az őrlésfok jelentősen változik [13]. A folyadéknyíró technológiák hatékonysága függ a folyadékáramtól és a nyomástól, mert célja a sejtek és iszapelyhek tiszta mechanikai erő hatására bekövetkező szétszakítása. Jelentős eredményeket (16-110%-os növekedést) főként eleven iszapos szubsztrátum estében értek el [14]. A szennyvíztisztítás technológiai folyamatába illesztett előkezelő eljárásokat a tisztítási folyamat legkülönbözőbb szakaszába építik be. A mesterséges aprítási eljárás optimális kiválasztásánál figyelembe kell venni a technológia költségét, helyigényét, energiafogyasztását, valamint az eljárással együtt járó esetleges mérgező melléktermékek mennyiségének minimalizálását. Ezen elvárások betartása mellett a mikrobák feltárására gyakran választanak mechanikai módszereket, mivel ezekkel kedvezőtlen melléktermék nélküli, nagyobb mennyiségű alapanyagot is gyorsan fel lehet dolgozni. A műveletek alapja, hogy az elegyet nagy nyírófeszültségnek teszik ki, amit fojtáson való átpréseléssel, erőteljes keveréssel vagy ultrahanggal hoznak létre [15]. A hidrodinamikus kavitációs berendezés [16] alkalmasan megválasztott technológiai paraméterek és sorrend esetén a biogáz hozam növekedését eredményezi [14]. Szennyvízkezelésnél az ultrahangos technológia terjedt el, a hidrodinamikus berendezés egyelőre az élelmiszeripar alkalmazza szeparáció céljából [17]. Az ultrahangos kezelés a szennyvíztisztító telepek iszapkezelésének, ártalmatlanításának egyre inkább elterjedő, hatékony mechanikus előkezelési módja. Javítja az iszap baktériumok általi emészthetőségét, biológiai, fizikai és kémiai tulajdonságait. A dezintegráció mértéke függ az adott iszaphoz igazított

optimális értékre beállított paramétereiktől. Külföldi tapasztalatok bizonyítottan igazolták az akár 50%-os biogáz hozamnövekedési értéket is [18]. A gyöngymalmok alkalmazása során több roncsolási mechanizmus működik egymás mellett, a szemcsék ütközése, legördülése és a rétegek között fellépő nyíróerő egyaránt hat. Az üzemeltetés során figyelembe kell venni, hogy folytonos üzemmódban az elvételnél az üvegszemcséket vissza kell tartani az őrlőtérben. Kis gyöngyátmérőnél a szeparátor nyílásai is kicsik, ami eltömődés veszéllyel és nagy áramlási ellenállással jár. Szakaszos üzemben az eleven iszap 24%-os, a kirothasztott iszap esetében 64%-os biogáz növekmény érhető el [19]. Az aprítási technológiák mechanikai eljárásait megismerve felkutattam egy olyan fajlagos felületnövelő berendezést, amely mind a mezőgazdasági, mind a szennyvíz alapanyag esetében eredményesen alkalmazható. E kívánalmaknak megfelel a folyadéknyrás és ütközés elvén működő magyar fejlesztésű Shark berendezés. Elő-kísérletek alkalmával megvizsgáltam berendezés műszaki és működési határait, megkerestem a kísérlethez megfelelő aprítandó alapanyagokat és azok optimális előkészítését a felületújítás előtt.

Értekezésemben közölt kísérleteim arra irányultak, hogy a választott mechanikus előkezelő berendezés alkalmazhatóságát és annak körülményeit vizsgáljam mezőgazdasági alapanyag (búzaszalma) egylépcsős, valamint kétféle (szennyvíziszap és mezőgazdasági) fermentlé további fermentációja alatt keletkezett biogáz termelés céljából. A végrehajtott anaerob fermentációs kísérletet nemzetközi és hazai szabványok és ajánlások alapján végeztem el.

Munkám során a kísérleti teret és a kísérlet összeállítását a hazai és nemzetközi szakirodalomban alátámasztott módszer alapján kísérlettervezéssel (Design of Experiment) támogattam [12]. A kísérlet során kapott (mért) eredmények statisztikai elemzéséhez (ANOVA, MINITAB szoftver) varianciaanalízist és statisztikai programot használtam.

4. Új tudományos eredmények

A folyadéknyírás és ütközés elvén üzemelő berendezés mind a mezőgazdasági növényzet, mind a fermentlevek felületkezelésére alkalmas. A vizsgált alapanyagok tekintetében elemeztem a kezelés és körülményeinek gáz és a metánhozamot befolyásoló tényezőit. Megvizsgáltam, hogy a befolyásoló tényezőknek van-e egymásra tett hatása. A keresztthatásokat elemeztem, kialakulásukat megindokoltam. Megalkottam a folyadéknyíró és ütközéses elven működő berendezéssel kezelt szubsztrátumok anaerob rothasztása során termelt biogáz és metán többlet várható értékének becsült regressziós függvényét. Megvizsgáltam mindhárom alapanyag tekintetében az előkezelés során befektetett energia és az alapanyagok metánhozam többletéből származó energia energiamérlegét. Megállapítottam, hogy a fermentlevek kémiai változása az utófermentációjuk során keletkezett biogáz minőségében változást idéz elő. Ezeket alapul véve értem el az alábbi új tudományos eredményimet és alkottam meg a téziseket.

Értekezésem új tudományos eredményének tartom

- annak mérésekkel történő bizonyítását, hogy az előkezelt búzaszalma szubsztrátum esetében, a vizsgált kísérleti térben a biogáz és metánhozamot pozitívan befolyásolja az alapanyag kezelését megelőző áztatási idő és a recirkuláció száma, míg ezt a kezelt alapanyag szárazanyag-tartalma nem befolyásolja,
- a biogáz és metántöbblet várható értékek becsült regressziós függvényeinek meghatározását mérési eredmények alapján, kísérleti térben,
- annak kísérletekkel történő igazolását, hogy a folyadéknyírás és ütközés elvén előkezelt mezőgazdasági fermentlé utófermentálása során a biogáz és metán hozamot fordított arányban befolyásoló tényezőként kell figyelembe venni a recirkulációt,

- annak igazolását, hogy a kísérleti térben meghatározott paraméterekkel történő előkezelés a szennyvíztelepi fermentlé és mezőgazdasági fermentlé esetében azonnali kémiai változást idéz elő, magasabb metántöbbslet-érték érhető el a biogáz hozamtöbbslet értékénél, és a gázhozam növekedéssel a gáz minősége (metánkoncentráció) is jelentősen javul.

A tudományos eredmények tézisekkel történő igazolása:

1. tézis

Megállapítottam, hogy a folyadéknyírás és ütközés elvén működő berendezéssel előkezelt búzaszalma szubsztrátum esetében a vizsgált kísérleti térben a biogáz és metánhozamot befolyásoló tényezők: az alapanyag kezelését megelőző áztatási idő és a recirkuláció száma. Ezen paraméterek értékeinek növelésével nőnek a hozamértékek is. **A metánhozam vizsgálata esetében további befolyásoló tényezőként jelentkezik a fordulatszám és a recirkuláció kölcsönhatása.** Magas metánhozam többsletet a kis recirkuláció – magas fordulatszám, valamint a nagy recirkuláció – alacsony fordulatszám együttes alkalmazása eredményez. **A kezelt alapanyag szárazanyag-tartalma indifferens a fermentáció biogáz és metánhozama szempontjából. A mérési eredmények alapján meghatároztam a kísérleti térben a biogáz és metántöbbslet várható értékének becsült regressziós függvényeit.[S1][S7]**

2. tézis

A folyadéknyírás és ütközés elvén működő berendezéssel előkezelt búzaszalma szubsztrátum esetében a vizsgált kísérleti térben a minták fermentációs metántöbbsletének energiamérlege alapján megállapítottam, hogy a búzaszalmát nagy áztatási idő után gazdaságos kis recirkulációval előkezelné úgy, hogy a berendezés alacsony fordulatszámon üzemeljen. Ezek

a paraméterek nem egyeznek meg a legnagyobb metántöbbletet produkáló minta paramétereivel (kis szárazanyag-tartalom; nagy áztatási idő; kevés recirkuláció; alacsony fordulatszám). [S7]

3. tézis

Megállapítottam, hogy a folyadéknyírás és ütközés elvén működő berendezéssel előkezelt szennyvíztelepi fermentlé utófermentálása során a vizsgált kísérleti térben a biogáz és metánhozamot befolyásoló tényező a recirkuláció. A hozamokkal a recirkuláció egyenes arányban van, növelésével nő a hozam értéke is. A gázhozamra hatással van továbbá a fordulatszám – recirkuláció kölcsönhatása. Alacsony fordulatszám esetében a recirkulációk száma elhanyagolható tényező, magas fordulatszám értéken vizsgálva nagy recirkuláció mellett adódik biogáz hozam többlet. **A mérési eredmények alapján meghatároztam a kísérleti térben a biogáz és metántöbblet várható értékének becsült regressziós függvényét.**

4. tézis

A folyadéknyírás és ütközés elvén működő berendezéssel előkezelt szennyvíztelepi fermentlé szubsztrátum esetében a vizsgált kísérleti térben a minták utófermentációs metántöbbletének energiamérlege alapján megállapítottam, hogy legtöbb energia alacsony fordulatszámon, kis recirkulációs számmal végzett kezeléssel nyerhető. Ezek a paraméterek nem egyeznek meg a legnagyobb metántöbbletet mutató minta paramétereivel (nagy fordulatszám; nagy recirkulációs szám).

5. tézis

Megállapítottam, hogy a folyadéknyírás és ütközés elvén működő berendezéssel előkezelt mezőgazdasági fermentlé utófermentálása során a vizsgált kísérleti térben a biogáz és metánhozamot befolyásoló tényező a

recirkuláció. Mindkét hozam esetében a **recirkuláció fordítottan arányos.** Alacsony recirkuláció eredményezi a magas gáz- és metánhozamot. **A metánhozam esetén a fordulatszám alulról megközelíti a szignifikancia határt.** **A metánhozam értékével egyenes arányban van a fordulatszám.** Magas fordulatszám nagy metánhozamot, alacsony fordulatszám kis metánhozamot eredményez. **A mérési eredmények alapján meghatároztam a kísérleti térben a biogáz és metántöbblet várható értékének becsült regressziós függvényét.**

6. tézis

A folyadéknyírás és ütközés elvén működő berendezéssel **előkezelt mezőgazdasági fermentlé szubsztrátum** esetében a vizsgált kísérleti térben a **minták utófermentációs metántöbbletének energiamérlege alapján minden beállítás esetében energiaveszteséget állapítottam meg.** **A legjobb befektetett-nyert energia arány alacsony fordulatszámon, kis recirkulációs számmal végzett kezeléssel nyerhető.** Ezek a paraméterek nem egyeznek meg a legnagyobb metántöbbletet produkáló minta paramétereivel (nagy fordulatszám; kis recirkulációs szám).

7. tézis

A folyadéknyírás és ütközés elvén működő berendezéssel történő előkezelés a kísérleti térben meghatározott paraméterekkel **a szennyvíztelepi fermentlé és mezőgazdasági fermentlé esetében azonnali szignifikáns kémiai változást** (mindkét alapanyagnál átlag $\text{pH} = +0,5$) **idéz elő.** Mindkét szubsztrátum utófermentálása során magasabb a metántöbblet százalékos értéke a biogáz hozam többlet százalékos értékénél. A kezelés hatására nem csak a gázhozam növekedik ezen alapanyagok esetében, hanem **a gáz minősége** (metánkoncentráció) is **jelentősen javul.**

5. Az eredmények hasznosíthatósága

A témaválasztás mind az Európai Unió, mind a hazai tekintetben is napjaink aktualitás kutatási területe. A magyarországi energiabiztonság növelésének egyik lehetséges pillére az alternatív energiahordozók, azon belül a biogáz alkalmazásának előtérbe helyezése. A hazai biomassa - mint megújuló energiaforrás - lehetőségeit feltárva, a kihasználatlan biogáz előállítás jelenlegi okaira rámutattam. A kiszámíthatóan biztosított bomlási hatékonyság növelése fokozza a biogáz üzemek telepítésének szándékát, megközelítheti a hazai kihasználhatósági lehetőséget, és növeli az energiabiztonságot. A már ismert – esetleg ez idáig a biogáz előállításban még nem alkalmazott –, alapanyag előkezelő technológiák fejlődése, számos tartalékkal rendelkezik. A magasabb gázhozam, illetve több nyerhető energia érdekében cél az alacsony energiaigényű gépegység beillesztése a biogáz előállító üzem rendszerébe.

Felkutattam és laboratóriumi körülmények között alkalmaztam olyan mechanikus aprítóberendezést, ami széles spektrumú biogáz alapanyagra (mezőgazdasági növényzet és fermentlé) hatékonyan alkalmazható. A kezelés a degradációs folyamatot felgyorsítja, a hidraulikus tartózkodási időt töredékére csökkenti. Az egyes alapanyagok esetében a bomlási hatékonyságot befolyásoló tényezők, és azok kölcsönhatásainak ismerete kulcsfontosságú. Ezen értékek tudatában és az energiamérleg ismeretében lehetőség nyílik az előkezelés körülményeinek olyan beállítására, ami az adott alapanyagnál az optimális üzemeltetést segíti. A folyadéknyírás és ütközés elvén működő berendezés a vizsgált szubsztrátumokat feldolgozó üzemek technológiai folyamatába építve az adott üzem hatékonyságát jó biztonsággal növeli. A laboratóriumi körülményekre vonatkozó, általam meghatározott biogáz- és metántöbblet várható értékének becsült regressziós függvényével kiszámíthatóvá tehető az előkezelés alkalmazása.

A fent leírtak alapján mindenképpen érdemes fél-üzemi, majd nagyüzemi paraméterekkel megvizsgálni a berendezést. A laboratóriumi kísérletek és a

számítások megalapozottá teszik az üzemi alkalmazhatóságát. Az energiamérleg és a kezelést befolyásoló tényezők összehangolásával nagyobb mennyiségű hazai energiaforrás: biogáz nyerhető.

Magyarországon a rendelkezésre álló alapanyagok alapján becslések szerint akár, 700 MW teljesítményt lehetne elérni, mely tizenötszöröse a jelenleg működő és beruházás alatt álló biogáz üzemek teljesítményének. Az ilyen sokoldalú, új generációs berendezések alkalmazásával serkenthető a biogáz üzemek létesítésének szándéka, csökkentve ezzel a hazánk energia kiszolgáltatottságát. Decentralizált elhelyezkedésű, hatékonyan és kiszámíthatóan működő telepek kiépítése akár 10–15%-kal is csökkenthetné a hazai energiafüggőséget.

6. Irodalmi hivatkozások

- 1 Központi Statisztikai Hivatal: Statisztikai Tükör, Az energiaárak alakulása [Online] <http://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/stattukor/energiaarak0409.pdf>. 2010. IV. évfolyam 58-as szám [Hivatkozva: 2013. 12. 13.]
- 2 Központi Statisztikai Hivatal: Település Statisztikai Rendszer, 2011. [Hivatkozva: 2013. 04. 05.] [Online] http://www.ksh.hu/docs/hun/terinform11/pdf/terinf_2011.pdf.
- 3 Energetika, bioenergia, Budapesti Műszaki Egyetem, [Hivatkozva: 2014. 02 12.] [Online] ftp://ftp.energia.bme.hu/pub/energ/.../ea_003c-energetika_bioenergia.ppt.
- 4 Dr. Molnár S.(etal.): Faipari kézikönyv I., Sopron 2000., Faipari Tudományos Alapítvány
- 5 Taherzadeh Mohamad J., Keikhosro Karimi: Pretreatment of lignocellulosic wates to improve ethanol and biogas production: a rewiew, Molecular Sciences, www.mdpi.org/ijms., ISSN1422-00672008,9, pp.: 1621-1651
- 6 Hendks, A.T.W.M., Zeeman, G.: Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. 100, pp.: 10-18, Bioresource Technology, 2009.

- 7 J. Pérez; Muñoz-Dorado, J. De La Rubia T., Martínez, J.: Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview, 5:53e63., *Int. Microbiol*, 2002.
- 8 A. Barakat; Monlau , F. Steyer , JP. Carrere , H.: Effect of lignin-derived and furan compounds found in lignocellulosic hydrolysates on biomethane production, 104:90e9, *Bioresour Technol*, 2012.
- 9 Fan, L.T., Lee, Y. Beardmore, D.H.: Mechanism of the enzymatic hydrolysis of cellulose: Effects of major structural features of cellulose on enzymatic hydrolysis, pp.: 177-199., *Biotechnol. Bioeng*, 1980.
- 10 Kim, S., Holtzapple, M.T.: Effect of structural features on enzyme digestibility of corn stover, *Bioresurces technol*, 97, pp.: 583-591., 2006.
- 11 Mohammed A, Alfarjani F, Benyounis KY, Prescott T, Olabi AG.: Application of mechanical pretreatment to produce methane from Maize . *Simulation and Environmental Impact of Energy Systems*, *Int. Conf. Of Efficiency, Cost, Optimization (ECOS) Novi Sad*, 2011.
- 12 S. Tedesco, K.Y. Benyounis, A.G. Olabi.: Mechanical pretreatment effects on macroalgae-derived biogas production in co-digestion with sludge in Ireland, *Energyjournal homepage: www.elsevier.com/locate/energy*, 2013.
- 13 Ancza E., Bakosné Diószegi M., Horváth M.: Hydrodynamic cavitation device that makes straw culms suitable for efficient biogas production. pp.: 572-576, Malaysia, Kuala Lumpur, *Applied Mechanics and Materials*, 2014.
- 14 Muller, C.D., Abu-Orf, M., Novak, J.T.: Application of mechanical shear in an internal-recycle for the enhancement of mesophilic anaerobic digestion, *Water Environ. Res.* 79, pp.: 297-304., 2007.
- 15 Pécs M.: *Feldolgozási műveletek – Sejtfeltárás*, BME oktatási anyag
- 16 Dr. Horváth M, Bakosné D, M.: *Biogáz hozam növelése kavitációs mező alkalmazásával Románia, Erdély, Kolozsvár, OGÉT, 2012.április, ISSN 2068-1267.*

- 17 Horváth M, Bakosné Diószegi M.: Kavitációs mező előállítás szonokémiai reakciókhoz, Románia, Erdély XIX. Nemzetközi Gépészeti Találkozó Konferencia-kiadványa, 2011. április, pp.: 168-171, ISSN 2068-1267.
- 18 Pilli, Sridhar; Puspendu Bhunia; Song Yan; R.J. LeBlanc.: Ultrasonic pretreatment of sludge: A review , journal homepage: www.elsevier.com/locate/ultsonch., Ultrasonics Sonochemistry, pp.: 1–18. 2011.
- 19 Baier, P. Schmiheiny: Enhanced anaerobic degradation of mechanically disintegrated sludge water. pp.: 137-143, Sci. Technol, 36 (11) 1997.

7. Az értekezés témájához kapcsolódó tudományos közlemények

Lektorált, idegen nyelvű, külföldi folyóiratban megjelenő cikk

S1 Bakosné Diószegi M., Drégelyi-Kiss Á., Horváth M.: Experimental Design of Examination of Shear Technology for Biomass Comminuting (ICAM2E) Applied mechanics and material, ISSN: 1660-9336, eISSN:1662-7482, 564, pp. 555-559, 2014 (Scopus)

S2 Ancza E., Bakosné Diószegi M., Horváth M.: Hydrodynamic Cavitation Device that Makes Straw Cuts Suitable for Efficient Biogas Production (ICAM2E) Applied mechanics and material, ISSN: 1660-9336, eISSN:1662-7482, 564:pp. 572-576, 2014 (Scopus)

Lektorált, idegen nyelvű, hazai folyóiratban megjelenő cikk

S3 Bakosné Diószegi M., Horváth M.: Experiments with a Newly Developed Biogas Reactor Block, Acta Polytechnica, 2015, Journal of Applied Sciences Hungary, ISSN 1785-8860, <http://www.uni-obuda.hu/journal/Issue57.htm>

Lektorált, magyar nyelvű folyóiratban megjelenő cikk

S4 Bakosné Diószegi M. - Dr. Solymosi, J.: Lágyszárú mezőgazdasági növényekből előállított pellet vizsgálata, az energiabiztonság növelését

szolgáló lehetőség szemszögéből, Hadmérnök, 2008. szeptember pp.: 14-24, ISSN 0016-8572

S5 Bakosné Diószegi M.: Hazai energiabiztonság növelésének lehetőségei, Hadmérnök IV. Évfolyam 2. szám - 2009. június, pp.: 5-18, ISSN 1788-1919

S6 Bakosné Diószegi M., Solymosi, J.: Növénytermesztési és állattenyésztési „vegyes” gazdaságok hulladékainak energetikai hasznosítása, Hadmérnök V. Évfolyam 3. szám 2010 szeptember, pp.: 24-37., ISSN 1788-1919

Lektorált, idegen nyelvű, hazai konferencia kiadványban megjelenő cikk

S7 Bakosné Diószegi M., Horváth M.: Effects of Mechanical Pretreatment on Wheat Straw Fermentation, 2014. november 20. (IESB) International Engineering Symposium at Banki ISBN 978-615-5460-08-1

Magyar nyelvű konferencia kiadvány

S8 Bakosné Diószegi M.: Energiabiztonság - növelés lehetőségének vizsgálata lágyszárú mezőgazdasági hulladék vizsgálatával, GÉP, 2008. 09.01. LIX. Évfolyam, pp.: 3-7., ISSN 0016-8572

S9 Bakosné Diószegi M.: A biogáz szerepe a hazai energia-biztonságban, A Magyar Tudomány Ünnepe, Nemzetközi Gépész, Mechatronikai és Biztonságtechnikai Szimpózium, Óbudai Egyetem, 2010. november 10-11. CD kiadvány, ISBN 978-615-5018-10-7

S10 Horváth M, Bakosné Diószegi M – Kavitációs mező előállítása szonokémiai reakciókhoz – XIX. Nemzetközi Gépészeti Találkozó Konferencia-kiadványa, Románia, Erdély 2011 április, 168-171 (2011) ISSN 2068-1267

S11 Bakosné Diószegi M.: Biogáz laboratórium az Óbudai Egyetemen, Nemzetközi gépész, mechatronikai és biztonságtechnikai szimpózium, Budapest, 2011. november 15-16. ISBN 978-615-5018-15-2

- S12 Horváth M, Bakosné D, M.:, Biogáz hozam növelése kavitációs mező alkalmazásával Románia, Erdély , Kolozsvár 2012.04. OGÉT, ISSN 2068-1267
- S13 Horváth M., Horváth S., Csóka L., Adler Gy., Mohácsi R., Bakosné Diószegi M.:, Biogáz üzemek helyzete Magyarországon, kitörési lehetőségek, Nemzetközi gépész, mechatronikai és biztonságtechnikai szimpózium, Budapest, 2012. november, ISBN 978-615-5018-35-0
- S14 Bakosné Diószegi M.: A magyarországi energiabiztonság növelésének okai XXI. Nemzetközi Gépészeti Találkozó Konferencia-kiadványa, 28-31 (2013) ISSN 2068-1267
- S15 Szigeti M., Bakosné Diószegi M., Legeza L., Horváth M.: Magyarország hulladékhasznosítási lehetőségei hatékonyabb biogáz termelés céljából – XXI. Nemzetközi Gépészeti Találkozó Konferencia-kiadványa, 387-390 (2013) ISSN 2068-1267
- S16 Horváth M., Bakosné Diószegi M.: Biogáz üzem típusok Magyarországon - lehetőségek és buktatók – XXI. Nemzetközi Gépészeti Találkozó Konferencia-kiadványa, 162-165 (2013) ISSN 2068-1267

Idegen nyelvű, külföldi konferencia kiadvány

- S17 M. Horváth, S. Horváth, M. Bakosné Diószegi, T. Poós: Breakthrough possibilities and limitations based on the experiences of the Hungarian biogas plants - 5th International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources, EXPRES 2013, Subotica, 123-126 (2013) ISBN 978-86-85409-82-0