

# BIOGÁZ LABORATÓRIUM GÉPÉSZETI FEJLESZTÉSEI

## MECHANICAL DEVELOPMENTS OF THE BIOGAS LABORATORY

*Bakosné Diószegi Mónika, Egyetemi adjunktus*

**ÖSSZEFOGLALÁS.** Az Óbudai Egyetem biogáz laboratóriumában számtalan lehetőség adódik a fermentációs kutatásban használt berendezések fejlesztésére. A laboratórium gépészeti egységei között található egyszerűbb és professzionális kivitelű fermentor is. A berendezés értékétől függetlenül a kísérletek során felmerülnek olyan funkcionális hiányosságok és egyéb elvárások is, melyeket saját gépészeti újításainkkal oldunk meg.

**ABSTRACT.** At the biogas laboratory of the University of Óbuda, there are numberless possibilities to develop the mechanical equipment of the fermentation reactor research. There are some simple and more complex professional mechanical fermentation equipments. Independently of the value of the equipment, functional issues which arise during experiments, we are able to solve them with our own mechanical innovations.

### 1. BEVEZETÉS

A biogáz laboratóriumban fellelhető berendezések három nagy csoportra oszthatók: a biogáz előállító berendezések, a biomassza előkezelő berendezések, és az analitikai mérőegységek.

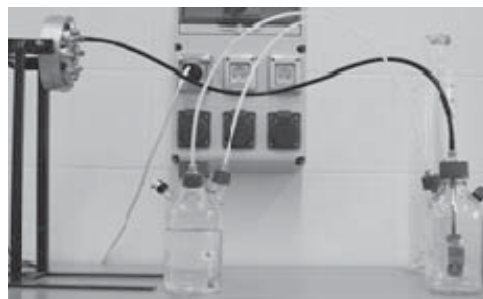
A biogáz előállító berendezések különböző szubsztrátumok (szerves alapanyagok) anaerob lebontására, a biogáz előállítására alkalmasak. A laboratóriumban levő fermentorok között van olyan, ami kereskedelmi forgalomban kapható, illetve azok tovább fejlesztett változata, de használatban van teljes mértékben saját tervezésű reaktor-blokk is. A gépészeti megoldások, újítások, fejlesztések az egyes reaktorokon jelenleg is folynak.

Az alapanyag előkezelő berendezések célja, a szubsztrátum feltárása, fajlagos felületének megnövelése a nagyobb és jobb minőségű gázhozam termelése érdekében. Műszaki paramétereik optimális beállítása nagy fontosságú az ipar számára.

### 2. A VÍZFÜRDŐS REAKTOR-BLOKK

A laboratórium közkezdvelt reaktorai a 400 ml-es kupakkal és szeptummal lezárt laborüvegek.

A rendszer előnye az alacsony beszerzési költség, a kis helyigény és egyszerűség. Zárt inkubátorban elhelyezve akár 12 párhuzamos mérés is indítható az üvegekből összeállított egységgel. Hátránya, hogy mechanikus keverése – ellentétben az ipari üzemben fellelhető fermentorokkal- a zárt inkubációs tér miatt nem megoldott. Kialakítottunk emiatt egy termosztáttal temperáló vízfürdős környezetet, ahol a reaktorokban a keverést már sikerült kivitelezni.

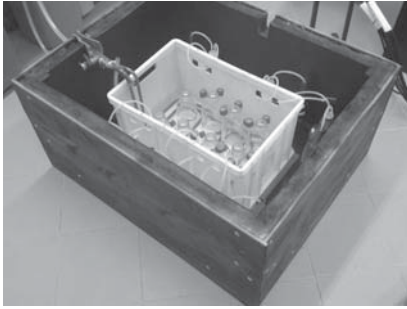


1. ábra A motor állványa, a hajtásegység, a bowdenszál és a reaktor a keverőszárral

Egy villanymotor a tervezett fogaskerék áttételen keresztül 8 db bowden szál meghajtására alkalmas. Ezek a szálak csatlakoznak a reaktortestbe vezetett keverőszár felső keverődugó részéhez, mely kialakításánál az üvegben levő anaerob környezet biztosítása miatt kritérium volt a légzárás is. (1. ábra)

A reaktortér homogenizálására a keverőszár végére - egy másik fejlesztési lépésként - keverőlapát kialakítást optimalizáltunk, ami vezérlése időzítő segítségével automatizált. A vízfürdős egységet a szigetelés céljából egy duplafalu ládában helyeztük el. (2. ábra)

A reaktor-blokkon végzett több éves gépészeti és egyéb átalakítások kedvezően alakultak a fermentációs kísérletek során, melyeket a VDI 4630 *Szerves anyagok fermentálása* irányelv alapján végeztünk el. [1]

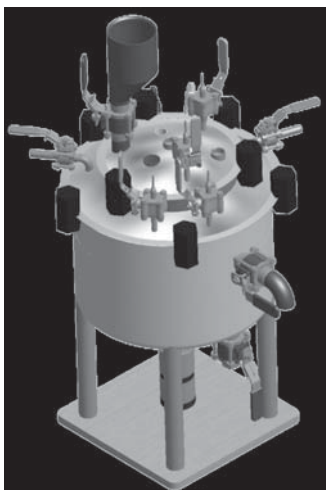


2. ábra A rendszer elhelyezése a duplafalu ládában

A szórásértékek az előírt határértéken belül adódtak, a reaktorok gázhozam teljesítménye pedig a keverés hatására felül múlja az eredeti inkubátorszekrény kialakítási hozam értékeit.

### 3. A DUPLA-FALÚ FERMENTOR

A laboratóriumban található egy szintén saját tervezésű dupla-falú fermentor. Ennél a kialakításnál a belső termofil reaktortér hulladékhője hasznosítva jut az alapanyag a külső mezofil térbe, megvalósítva ezáltal a kétlépcsős rothasztást. Az Óbudai Egyetem és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem oktatóinak bevonásával fejlesztett termofil (55-60°C) és mezofil (37°C) környezetet biztosító reaktor alkalmas félüzemi kísérletekre, melyek szakaszos vagy folyamatos üzemmódban biztosítja az anaerob bomlási folyamatot. (3. ábra)



3. ábra Egyedi tervezésű dupla-falú fermentor

### 4. HORIZONTÁLIS ELRENDEZÉSŰ REAKTOR FEJLESZTÉSE

A laboratórium csúcskategóriás fermentorai a vezérlőegységgel együtt működtethető 3 db 5

literes Fermac 320 gyártmány, amit elsősorban mikrobiológiai kutatásokra kifejlesztettek ki. (4. ábra). Távoli irányítással és programozható vezérléssel naplózza a beszerelhető szondák segítségével a fermentáció jellemző paramétereit.



4. ábra Fermac 320

Az álló elrendezésű üvegreaktorban nagyon pontos és hatékony kísérleteket lehet végezni kisméretű homogén összetételű anyag biogáz hozamának megállapítására. Ugyanakkor az általunk gyakran használt alapanyag a búzaszalma vizsgálatára a gyárilag beépített keverőlapát nem hatékony, mert a rothasztás során az egyszerre felúszó és leülepedő részecskék homogenizálására alkalmatlan.

Ez alapján célként tűztük ki a Fermac automatizált tulajdonságaira építve egy egyedi horizontális elrendezésű reaktor megtervezését és kivitelezését. Fontos szempont volt a keverési hibákat új keverőlapáttal és az esetleges hőfokszabályozási problémákat új reaktortest alapanyaggal kijavítani. A tervezett, majd legyártott berendezés működését empirikus és összehasonlító módszerrel ellenőriztük.

#### 4.1. A homogenizáló keverőlapát megtervezése

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. [2]

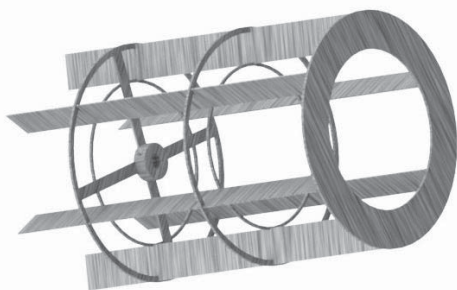
Dán kutatók vizsgáltak a keverés intenzitását (minimális, gyenge, erőteljes) 55°C-on batch kísérlet során. Kimutatták, hogy ha túlterhelik a rendszert (túl magas szubsztrátum tartalom) akkor a minimális keverés a leghatékonyabb. Folyamatos rendszerrel pedig, betáplálás előtt 10 percig történő minimális keverés az ideális. [3]

Ipari méretekben a bioreaktorok mechanikus úton történő keverése a leggyakoribb módszer. A függőleges síklapú keverőket (Rushton), elsősorban magas fordulatszámú keveréshez használnak. Ez baktérium kultúrák keverésénél ideális, de növényi sejtek keverésénél már kevésbé hatékony. A laboratóriumi Fermac 320-as rendszer is ezzel felszerelt. Növényi hulladék keverésénél hatékonyabb a különböző dőlés szögű propellerek használata, melyekkel axiális irányú keverés is megvalósítható. [4]

Egyéb 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 sokszor időben folyamatos.

A gyári Fermac egységhez kompatibilis fekvő elrendezésű reaktortestet kívántunk tervezni melyhez, malomkerékhez hasonló lapátkereket választottunk. (5. ábra)

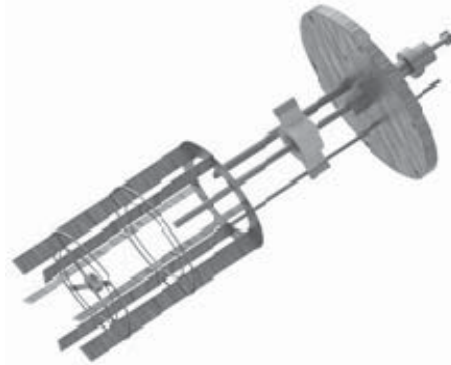
Ez a kialakítás a reaktor majdnem teljes hosszában képes keverni a belsejében lévő folyadékot. A keverőt 1 mm vastagságú korrózióálló acélból hat lapáttal terveztük 60°-ban egymástól elhelyezve. A lapátokat négy gyűrű és egy véglap tárcsa tartja pozícióban. A lézervágott egységek összeillesztése hegesztéssel történt, ezért roncsolás nélkül nem szétszerelhető. A keverő külső átmérője csupán 5 mm-el kisebb, mint a reaktor belső átmérője, annak érdekében, hogy a lehető legtöbb, a reaktor aljára leülepedett szárazanyagot képes legyen megmozgatni.



5. ábra A keverő modellje

A keverő tervezésekor nagy figyelmet kellett fordítani a rögzítési pont kiválasztására, valamint a belső átmérőjére, hogy ne ütközzön a főtengellyel párhuzamosan elhelyezett belső szondákkal. A rögzítési pontot a hőmérséklet

szondához a lehető legközelebb helyeztük el, ezzel is csökkentve a tengely kihajlását. Ez a távolság a keverő végpontjától megközelítőleg a teljes hosszának egynegyede. A fedéllel összeállított és szondákkal feltüntetett elrendezés a 6. ábra, míg az összeszerelt egység modelljét a 7. ábra szemlélteti.



6. ábra. A keverőlapát fedéllel összeállított és szondákkal feltüntetett elrendezése

#### 4.2. A reaktortest

Az irodalomkutatás és a labor igények alapján rögzített testű belső keverésű fekvő reaktor tervezése volt a cél. Kialakításkor felhasználtuk a Fermac 320 több paraméterét és elemét is, ezzel kompatibilissé téve az új rendszert a forgalomban kapható egységgel. A tervezés során fontos szempont volt az összehasonlíthatóság. Ennek érdekében a reaktor úrtartalma megegyezik a Fermac berendezésével, ami 5 liter. 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. A gyári egységek temperált üvegből készülnek. A szerves anyagok fermentálásánál ez nem ideális, mert az optimális biogáz képződés egyik alapfeltétele a baktériumok fénytől történő elzárása. Így minden kísérlet alkalmával egy fényszigetelő burkot kellett a gyári üveg reaktortestekre helyezni.

A tervezett reaktor minden eleme korrózióálló acélból készült. Ez nagyon fontos kitétel, mert az anaerob bomlási folyamat során keletkező kénhidrogén erősen roncsolja a berendezések azon részét, melyek közvetlenül kapcsolatba kerülnek a betáplált anyaggal vagy a keletkezett biogázzal. Az 5 liter nettó térfogatú reaktortest három részből áll. A

központi elem egy 3.5 mm falvastagságú korrózióálló acél cső.



7. ábra. Az összeszerelt egység modellje

Ennek mind a két oldalára furatokkal ellátott peremek lettek hegesztve. A furatok osztóköre és azon való elhelyezkedése megegyezik a Fermac fedelén található furatok pozíciójával. Ez biztosítja a pontos csatlakozási lehetőséget a két elem közt. A henger alakú reaktortest elfordulását a talp gátolja meg, ami egy gumis belső felületű csőbilincs, melyre M8-as toldó anyákat hegesztettünk. Az ezekbe elhelyezett csavarok ki- illetve becsavarásával lehet kitámasztani és stabilizálni a reaktort. További kutatások érdekében megfelelő hosszúságú csavarokkal állítható a reaktor dőlésszöge a vízszinteshez képest. Mivel a csőbilincsnak nincsen meghatározott pozíciója, szabadon megválasztható az emelni kívánt oldala a reaktornak. A bilincs mozgását csupán a fűtőköpeny és a perem határolja be. A kontroll kísérletnél a reaktor vízszintes helyzetben volt.

A fermentációs egység másik oldalát egy plexi lappal fedtük le. A lap polisziloxán alapú tömítő anyaggal ragasztott a peremhez, majd csavarokkal rögzített a végleges pozíciójában. Ez a tömítő anyag ellenáll a kénhidrogén korróziós hatásának, és a megfelelő felületi előkészítést követően folyadék és gázszivárgás mentes zárást biztosít. Az átlátszó lap segítségével betekintést nyerhetünk működés közben a reaktorba így megfelelő demonstrációs eszközként is szolgálhat a laboratóriumban tanuló vagy dolgozó hallgatók számára.

Az összehasonlító kísérletek során a hőmérséklet vizsgálatoknál jelentős különbség mutatkozott meg a két reaktor között. Az üvegreaktor gyorsabban melegszik át és közli a hőt a folyadékkal, aminek hatására az előre beállított értékhez képest jelentősen túlfűti a rendszert. Megközelítőleg 42-44 °C-ra melegíti a folyadékot, ami már nem a mezofil tartomány részét képezi. Ezt követően egy lehűlési szakasz

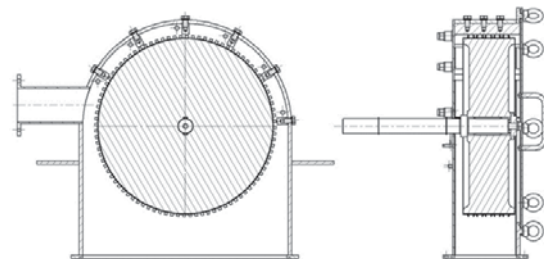
látható, ami jó közelítéssel 37°C-on stabilizálódik. A kívánt 37°C-os hőmérsékletet eléréséhez közel 5 órára volt szükség. További állandó ingadozás tapasztalható a gyári reaktor hőmérséklet diagramján, hiszen az üveg gyorsan veszít a felvett hőből. Ezért a fűtőköpeny óránként 2-3-szor kapcsol ki-be. Minden bekapcsoláskor 1-2°C-al szintén túlfűti a rendszert mielőtt kikapcsol, és csak akkor kapcsol be ismét, ha a folyadék már 35-36°C-osra hűlt. A laboratóriumban végzett egyéb kísérletek rögzített paramétereire képest ez az ingadozás nagyon magas. A fémtestű reaktor esetében nincs túlfűtési szakasz. Az itt megfigyelhető hőingadozás óránként csupán 0.3 °C pozitív és negatív irányban. A korrózióálló acélaknak jóval nagyobb a hőtehetetlensége, mint az üvegnek így kiegyenlített a rothasztási folyamat hőmérséklettartománya.

A tervezett fermentációs egység keverője a rothasztás során mért gázhozamok alapján hozta a várt eredményt. A horizontális reaktor kumulált gázhozama 54%-al, a kumulált metánhozama pedig 64%-al magasabb lett, mint a vertikális egységé.

## 5. FERMENTÁCIÓS ALAPANYAG ELŐKEZELŐ BERENDEZÉSEK MŰSZAKI PARAMÉTEREINEK OPTIMALIZÁLÁSA

Az alapanyag előkezelő berendezések műszaki paramétereinek beállításával optimalizálást végzünk a magasabb biogázhozam érdekében. A laboratóriumban két különböző elven működő mechanikai aprítóberendezés van.

Az egyik a Shark fantázianevű gép egy vágómalom típusú nedves aprító berendezés (8. ábra). A berendezésben az alapanyag fajlagos felületnövelése és roncsolása, folyadéknyírás és ütközés elvén valósul meg. [5]



8. ábra Az aprító egység felépítése

A szerkezetben egy belső forgótárcsás rész a beadagolt maximum 8% szárazanyag tartalmú vizes szubsztrátumot körülbelül 170 m/s sebességre gyorsítva, jelentős nyíróerőt

ébredt a réteg határfelületein, szétroncsolva ezzel a részecskék tekintélyes hányadát. A gép alkalmas a vizes közeg ipari körülmények között történő többszöri recirkuláltatására.

A másik gépegység egy hidrodinamikus kavitációs berendezés. A növényi sejtek mesterséges aprítása történhet kavitációs jelenség segítségével, melynek során a szilárd felületek mentén keletkező buborékokban túszerű benyomódás alakul ki, ami azok összeomlásához vezet. [6] Ezek megsemmisülése nagymértékű változást okoz egymás felületi szerkezetében, reaktivitásában, így az anyagban kémia, szerkezeti és fizika alakutani átalakulások mennek végbe. [7]

Az alapanyagok (búzaszalma, szennyvíziszap) előkezelésének optimalizálása laboratóriumi mérések alapján határozható meg. A kísérlet sorozatok célja a berendezéssel történő alapanyag(ok) előkezelésének azon értékeinek és paramétereinek megkeresése, melyek hatással vannak a fermentációjuk során termelt biogáz hozamra. Ha minden esetben a paraméterek hatásának értékelhetősége miatt csak egy-egy tényező változik, akkor a kísérletek magas számának következtében a vizsgálatok hosszasan lennének csak megvalósíthatók. Ezért alkalmazzuk a kísérlettervezést. Így a vizsgált tényezők egyszerre történő szisztematikus változtatásával (kísérlettervezéssel), a kimenő paraméterek segítségével egyszerre lehet több változó hatását vizsgálni, kevés számú kísérlet mellett. A faktorok (recirkuláció, fordulatszám) két szinten kerülnek meghatározásra, a linearitás ellenőrzése végett még 1 db centrumpontra állítva. Az adatok elemzése varianciaanalízis alapján MINITAB szoftver segítségével történik. Következtetések és ajánlások a mért értékek alapján kapott diagramok és egyenletek felhasználása és kiértékelése után esedékes.

A mérési eredmények alapján felállítható a kísérleti térben a biogáz és metántöbblet várható értékének becült regressziós függvénye. Az energiamérleg ismeretében pedig meghatározhatók a reális alkalmazhatósági határok. Az üzemi alkalmazás megbízható eredményéhez szükség van a kísérletek félüzemi vizsgálataira, majd nagyüzemi próbaüzemére. A laboratóriumi vizsgálatok ugyanakkor alkalmasak a kezelt és kezeletlen alapanyag fermentációjának

összehasonlítására, a kezelés hatékonyságának feltérképezésére.

## 6. BEFEJEZÉS

A laboratórium jelenlegi fejlesztései mellett új irányvonal mutatkozik a különböző fizikai elven működő előkezelő berendezések tervezésére, kivitelezésére.

## 7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A közleményben ismertetett kísérletek és fejlesztések Bakosné Dr. Diószegi Mónika, Tupa Boglárka, Kormos Klaudia, Misi Ádám, Pelle György Tamás közreműködésével az Óbudai Egyetem biogáz laboratórium eszközei segítségével jött létre. Továbbá készült az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-4-I. kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával”.

## 8. IRODALOM

- [1] VDI 4630 – Szerves anyagok fermentálása - A szubsztrátum jellemzése, mintavételezés, lényeges adatok gyűjtése, fermentációs tesztek, Verein Deutcher Ingenieure, Düsseldorf, 2006
- [2] Bai Attila (szerk.): A biogáz, Száz Magyar Falu Könyvesháza Kht., 2007
- [3] Prasad Kaparaju, Inmaculada Buendia, Lars Ellegaard, Irini Angelidakia - Effects of mixing on methane production during thermophilic anaerobic digestion of manure: Lab-scale and pilot-scale studies
- [4] <http://www.biologydiscussion.com/bioreactors/bioreactors-types-top-3-types-of-bioreactors/12213>
- [5] Bakosné Diószegi Mónika: Speciális mechanikus előkezelés hatásának vizsgálata biogáz hozam növelése céljából, Doktori értekezés, Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola, Budapest, 2015.
- [6] Miklos Horvath: The Effect of Comminution as a Pretreatment Method Used in the Process of Anaerobe Fermentation of Lignocellulose Substrate on Biogas Yield, In: László Nádai, József Padányi (szerk.), 184 p., Zürich: Springer International Publishing, 2016. pp. 141-152., (ISBN: 978-3-319-28090-5)
- [7] 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. 572-57