

Automatizált anaerob fermentációs folyamatok értékelése penészgombával fertőzött kukorica esetén

Biró Györgyi – Mézes Lili – Borbély János – Tamás János

Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar,
Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Debrecen
gybiro@agr.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Hazánkban a megújuló energiaforrások energetikai hasznosulásának 2020-ra el kell érnie a 13%-os részarányt. Az egyik legnagyobb energetikai potenciál a biogáz-előállítás területén van. Az újonnan épülő mezőgazdasági alapanyagokat felhasználó biogáz üzemek egyik legáltalánosabb problémája, hogy a változó összetételű, kevert input anyagok a folyamatos biogáz-termelés szempontjából nem elég hatékonyak. Az Víz- és Környezetgazdálkodási Intézetben az első kísérleti fermentorokat 12 évvel ezelőtt helyezték üzembe a fermentációs folyamat hatékonyságának javítása érdekében. A vezérlés és automatizálás a négy elválasztott rendszerű fermentorban ADVANTECH GENIE 3.0 verziójú szoftverrel történt, amely előre programozott mérést és beavatkozási pontokat tartalmazott a pH, a hőmérséklet, valamint a CH₄, CO₂, H₂S, NH₃ tekintetében. A rendszert 2010-ben újraterveztük, vezérléséről Linux platformon (Debian) futó Compair Proview SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) szoftver implementáció gondoskodik. A rendszer tesztelését elvégeztük és a 2010-es év csapadékos időjárása miatt nagy mennyiségben keletkező fuzáriumos kukoricát választottuk alapanyagként. A fuzáriummal fertőzött kukorica biogáz alapanyagként történő hasznosítása megfelelő bekeverés mellett hatékony és környezetbarát ártalmatlanítási módszer. A publikációban értékeljük a teszüzemi periódus tapasztalatait és meghatározzuk a jövőbeni fejlesztési irányvonalakat.

Kulcsszavak: biogáz, Fusarium sp., Compair Proview SCADA szoftver, Fuzzy

SUMMARY

In Hungary the renewable energy utilization is planned to achieve 13% by 2020. Biogas production is one of the fields with the largest energy potential. Achieving high efficiency during continuous production despite the mixed and variable composition of input materials is the most common problem which the newly built biogas plants using agricultural raw materials have to deal with. The first experimental reactors at the Department of Water and Environmental Management were built 12 years ago. Control and automation of the four separated bioreactors were executed with ADVANTECH GENIE 3.0 software which granted pre-programmed measurement and points of intervention for pH, temperature, CH₄, CO₂, H₂S, and NH₃. The system became out-of-data, therefore in 2010 it has been redesigned and tested. The system is controlled by Compair Proview SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) software running on Linux platforms. The Fusarium infection caused serious yield-losses in cereal production in 2010. In the case of cereal products, which non-utilizable as forage seems an optimal solution is utilizing as biogas raw material. The raw material was based on the Fusarium infected maize. In the recent publication info-technological and technological experiences of the pilot test period are evaluated as well as direction of future development is defined.

Keywords: biogas, Fusarium sp., Compair Proview SCADA software, Fuzzy

BEVEZETÉS

A különböző természetes eredetű szerves anyagok, mint a szerves trágya, élelmiszeripari melléktermékek és hulladékok, a zöld növényi maradványok, a háztartási hulladékok, a kommunális szennyvizek és szennyvíziszap egyaránt alkalmasak biogáz-termelésre. A biogáz lényegében a természetes szerves anyagokban tárolódott napenergia egy részének közvetett átalakítása anaerob erjesztés révén gáznemű energiahordozóvá (Kacz és Neményi, 1998). A biogáz 50–70%-ban metánt, 28–48%-ban szén-dioxidot és 1–2%-ban egyéb (oxigén, nitrogén, kén-hidrogén, hidrogén, szén-monoxid, ammónia) gázokat tartalmaz. Természetesen a gáz összetétele alapanyagoként és technológiáknaként eltérő lehet (Bai et al., 2002; Schulz és Eder, 2005). A biogáz-termelés során a mikroorganizmusok a komplex szerves polimereket alakítják át, így egyszerű cukrok, aminosavak és zsírsavak képződnek. A következő lépcsőben metanogén baktériumok konvertálják át a korábbi lebontási szakaszok termékeit elsősorban metánná, szén-dioxiddá és vízzé. A lebontási folyamat bonyolult és nagyban függ a mikrobiális csoportok

összehangolt működésétől (Bai, 2007., Gujer és Zehnder, 1983). A hulladékok anaerob, levegőtől elzárt közegben végzett kezelése a környezet védelme mellett jelentős, megújuló energiaforrás is lehet. A nemzeti átfogó célkitűzések részeként a megújuló energiaforrásokból előállított energiának a 2020. évi végső energiafogyasztásban képviselt részarányával kapcsolatban Magyarország 13%-ot vállalt (Sembery és Tóth, 2007). Magyarország sajátos földrajzi adottságai következtében jó feltételekkel rendelkezik a biomassza energetikai célú hasznosításához. A mezőgazdasági művelés sikere fokozható alternatív technológiákkal úgy, mint a biogáz előállítás. A biogáz-technológia egyrészt a biohulladékok által okozott környezetterhelést csökkenteni, másrészt jelentős mennyiségű megújuló energiaforrás kihasználását eredményezi. Mindkét szempont rendkívül fontos, hiszen a biológiai eredetű hulladékok mennyisége a jövőben jelentősen nő. A biogáz technológia lényeges környezetvédelmi előnye abban van, hogy csökken az üvegházhatást okozó gázok, azaz a metán, nitrogén-dioxid és szén-dioxid kibocsátása a levegőbe (Schulz és Eder, 2005).

A biomassza erjesztési eljárása során, a nyersanyag jellemzőinek megfelelően két egymással egyenrangú termék, trágyázásra alkalmas szerves anyag és energia-termelésre alkalmas metángáz képződik. A szerves anyagok lebontásával nyerhető trágya ún. „szerves biotrágyaként” hasznosítható, tehát a talajok termőképességének regenerálására és a műtrágya helyettesítésére alkalmas. A biogáz hasznosításának számos lehetősége van (Bai, 2007; Schulz és Eder, 2005). Magas energia-tartalma miatt elfáklázása helyett indokoltabb felhasználása, értékesítése. A biogáz-hasznosítás egyik kiforrott technológiája a gázmotorban való hasznosítás villamosenergia-előállítás céljából. A gázmotorok által termelt hő általában 90 °C-os. Ez a hőmérséklet alkalmas használati melegvíz előállítására egész évben, télen fűtésre, de ipari és mezőgazdasági hőigényt is lehet vele fedezni (Kalmár, 2009). Nem helyben történő felhasználás során a minőségi követelményeknek megfelelő biogáz közvetlenül bevezethető az országos gáz-hálózatba (Fuchsz, 2006).

A biogáz termelés az egyik legnagyobb energia-potenciált jelenti (Szunyog, 2008). Az újonnan épült mezőgazdasági mellékterméket, hulladékokat hasznosító biogáz üzemek egyik leggyakoribb problémája azonban az alapanyagok vegyes és változó összetétele (Petis, 2008). A 2010-es év csapadékos időjárása miatt kedvező körülmények alakultak ki a *Fusarium sp.* gombák számára. A fuzáriumgombák rontják a gabonafélék szemtermésének minőségét, illetve az általuk termelt mikotoxinok mind az emberre, mind a használlatokra veszélyesek (Eifler et al., 2011; Placinta et al., 1999; Szécsi, 1994; Szécsi és Bartók, 1995). A fuzáriummal fertőzött kukorica biogáz alapanyagként történő hasznosítása optimális ártalmatlanítási módszer lehetne. Vizsgálataink során egy mezőgazdasági biogáz üzem adott szerves alapanyagbázisát vettük alapul. Az állandó összetételű alapanyagokhoz különböző arányban fuzáriummal fertőzött és fuzárium mentes kukoricadarát kevertünk, majd elemeztük a biogáz összetételének és mennyiségének változását. A biogáz üzemben bizonyos paraméterek – így főleg a pH, a hőmérséklet és a szervesanyag-terhelés mértéke – vezérelése és ellenőrzése elengedhetetlen (Patzwahl et al., 2001). Drasztikus változásuk hátrányosan befolyásolja a biogáz-termelést. Ezeket a paramétereket kívánatos tartományon belül kell működtetni, illetve tartani ahhoz, hogy a biogáz üzem hatékonyan tudjon működni (Yadvika et al., 2004). A vezérlés-technikai fejlesztések megvalósítása a biogáz rendszer esetében komoly problémát jelent, mivel a gyárilag előre tervezett kereskedelemben kapható szoftverek paraméterezését mindig utólag a tesztüzemi periódus után sikerül optimális működésre kalibrálni (Nyírcsák és Pongrácz, 2011). Kutatásaink a Compair Proview SCADA szoftver alkalmazásának tesztüzemi értékelésére és a jövőbeni fejlesztési irányvonalak meghatározására terjedtek ki.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Laboratóriumi anaerob fermentációs rendszer

Az Intézet Biodegradációs laboratóriumában hőszigetelt inkubátorokban található 1–1 db 6 l térfogatú rozsdamentes acéltartály, amelyekben az anaerob fer-

mentációs kísérleteket végeztük. A reaktorból csőrendszeren távozó gázelegy víztelenítésére hűtőberendezést használtunk. A biogáz egy kettős szeleprendszeren át a detektorba távozott. A kalibrálás után a gázkeverék összetételének meghatározása folyamatos üzemmódu Fisher-Rosemount NGA 2000 típusú [CH₄, CO₂, (0–100 tf%)] gáz-analizátorral történt adott hullámhosszokon való abszorbanca és potenciometria elve alapján. A kénhidrogén és az ammónia (ppm) mérésére alkalmas az Oldham gyártmányú, MX42A típusú gázelemző. A gázelemző műszerek kimeneti egysége RS232 porttá alakítható, így lehetőség nyílik ezen adatok számítógépen való tárolására (Mézes et al., 2008). Az állandó hőmérsékletet a reaktortérben elhelyezett fűtőegységek biztosították, melyek mérése a fermentorok belsejébe és az inkubátor szekrénybe elhelyezett 1–1 db Pt100-as hőmérővel történt (1. ábra). Ezek szabályozott mű ködsét az operátori panel kezelőfelületéről biztosítjuk. Az egyes fermentorok önállóan ki- és bekapcsolhatóak, hőmérsékleti szabályozási értékük egymástól függetlenül beállítható.

1. ábra: Anaerob fermentációs rendszer

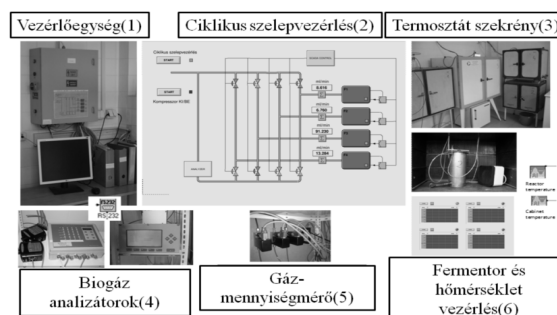


Figure 1: Anaerobic fermentation system

Control unit(1), Cyclical valve system(2), Thermostat(3), Gas analysers(4), Gas quantity meter(5), Reactor and temperature control(6)

Az egyes fermentorokban termelődött biogáz mennyiségét Brooks gyártmányú, 5850E tömegáram szabályozók segítségével mértük. A szabályozók szükséges és megfelelő átalakítás után széles mennyiségi tartomány mérésére alkalmasak. A mennyiség-mérőkön keresztül a gáz a szabadba vagy a gázanalizátorba áramlik, mely áramlásirányokat a mágnes szelepek vezérlésével biztosítja a szabályozási rendszer.

A rendszer irányítástechnikai vezérlését (hőmérséklet szabályozása: mezofil (38 °C), termofil (55 °C), biogáz koncentráció (tf%) adatok tárolása, gázmennyiség mérése, szelepek vezérlése), valamint az adatok gyűjtését az erre a célra kifejlesztett szoftver, az ADVANTECH GENIE 3.0 verziója tette lehetővé az elmúlt 10 évben. A technológia fejlődésével a szoftver elavulttá vált, illetve az alkatrészek meghibásodása is szükségessé tette a vezérlésirányítási rendszer teljes cseréjét. 2010-ben az Intézet laboratóriuma új irányítástechnikai rendszert alkalmazott a fermentációs kísérletek lefolytatásához. A rendszer vezérléséről Linux platformon (Debian) futó Compair ProView SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) szoftver implementáció gondoskodik. A mérési adatgyűjtő, szabályozó rendszer FitPC2 típusú ipari számítógépre épül. A perifériák – mérőeszközök, beavatkozók – il-

lesztését Ethernet I/O eszközök biztosítják, melyek Modbus/TCP kommunikációs protokollal illeszkednek a számítógéphez. A szoftverrendszer hierarchikus felépítése, objektumkönyvtára, nyitott programozhatósága és rugalmas perifériakezelése lehetővé teszi – az általánosságban alkalmazott PLC vezérlésekkel szemben – a bonyolultabb feldolgozási algoritmusok beépítését, a jelkondicionálást, mérési csatornák hosszú idejű logolását, az adatok rögzítését, valamint későbbi elemzési célú megjelenítését, adatok exportálását. A korszerű folyamatirányító rendszereknek megfelelően az operátori panel kialakításánál szemléletes objektumkészlet ad lehetőséget az áttekinthető kezelésre, felügyeletre és adatfeldolgozásra.

Kísérleti beállítások a biogáz modell reaktorokban

A biogáz alapanyagbázist a Nyírbátori Biogáz Üzem receptúra összetételére alapoztuk, mely szarvasmarha hígtrágyára, silókukoricára, sterilizált vágóhídi húslére és szilárd fermentált végtermékre (ún. szeparált anyag) épült. Az alkalmazott alapreceptúrához kontroll és fuzáriummal fertőzött kukoricaszemeket adtunk meghatározott mennyiségben. A beállított arányok a következők voltak: 5,26%, 10%, 26,3% fertőzött kukorica (kg szárazanyag%-ra vonatkoztatva) (1. táblázat).

A vizsgálatokhoz a DKC4372 kukorica hibridet választottuk ki, melyet az adott biogáz üzemben legnagyobb arányban használnak fel takarmányozási célra. A minták előkészítése során WARING® márkájú SNIJDERS ANALYSEER aprítógépet használtunk a kukoricadara készítéséhez. Laboratóriumi körülmények között teszteltük a takarmányok *Fusarium sp.* gomba fertőzöttségének mértékét, valamint a nem fertőzött kukoricaszemek *Fusarium sp.*-től való mentességét is igazoltuk. Ennek megállapítására az MSZ 6383:1998. számú szabványt alkalmaztuk, emellett mikroszkópos vizsgálatot végeztünk a fuzárium makrokonidiumok kimutatása céljából. Fuzárium szelektív Papavizas táptalajon (Papavizas, 1967) (pH 5,2) tenyésztéssel igazoltuk a gomba jelenlétét a kukoricaszemekben. A táptalaj összetétele a következő: 20 g agar (VWR), 15 g pepton (Biolab), 1 g KH₂PO₄ (VWR), 0,5 g MgSO₄·5H₂O (VWR), 0,5 g epesó (Biolab), 0,5 g pentaklór-nitrobenzol (PCNB, Sigma), 50 mg klórtetraciklin-hidroklorid (AppliChem), 100 mg sztreptomycin-szulfát (AppliChem) 1 liter ioncserélt vízre számítva. Mezofil körülmények között teszteltük a rendszer működését. A fermentációs kísérlet folyamán a termelődött gázelegy minőségét, mennyiségét, illetve a hőmérsékletet folyamatosan mértük.

1. táblázat

A felhasznált input anyagok mennyisége (5,26%, 10% és 26,3% kukoricadarával beállított kísérlet)

Alapanyag(1)	Szárazanyag-tartalom (%) (2)	5,26 kg sza% kukoricadara(3)	10 kg sza% kukoricadara(3)	26,3 kg sza% kukoricadara(3)
Húslé (sterilizált vágóhídi hulladék)(4)	30	220	220	220
Silókukorica(5)	38	160	160	160
Szeparált anyag(6)	35	43	43	43
Hígtrágya(7)	4	500	500	500
Fermentlé(8)	0,9	4000	4000	4000
Kontroll kukoricadara(9) / Fuzáriumos kukoricadara(10)	87,6	11,4	22	57

Table 1: The amount of input materials (experimental settings with 5.26%, 10% and 26.3% maize-grits)

Raw material(1), Quantity in 5 l volume (g)(2), Dry material-content (%) (3), Sterilized slaughterhouse waste(4), Silage(5), Dry fermented product(6), Cattle slurry(7), Liquid fermented product(8), Control maize-grits(9), *Fusarium* infected maize-grits(10)

EREDMÉNYEK

***Fusarium sp.* fertőzöttség kimutatása**

A kukorica *Fusarium sp.* fertőzöttségének szabvány szerinti meghatározása során nagymértékű fuzárium fertőzöttséget tapasztaltunk, melyet mikroszkópos vizsgálattal is sikerült igazolni. Az 2. ábrán jól felismerhetőek a *Fusarium sp.*-re jellemző többsejtű, sarlóalakú makrokonidiumok. A kontroll kukorica fuzárium mentesnek bizonyult. Fuzárium szelektív Papavizas táptalajon tenyésztéssel igazoltuk a gomba jelenlétét a kukoricaszemekben, azonban a fermentléből végzett tenyésztés során nem volt kimutatható a gomba, amely az anaerob, savas kémhatású közegben a fermentációs folyamat kezdetén elpusztult (3. ábra).

Anaerob fermentációs kísérletek eredményei

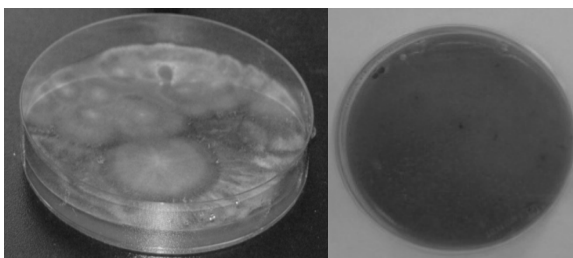
A különböző kísérleti beállítások esetén vizsgáltuk a gázhozam adatokat. A Compair ProView SCADA

szoftver lehetővé teszi trend görbék felvételét, például a hőmérséklet, a nyomás vagy a gázáramlás változása is megadható egy adott időintervallumban. A 4. ábra mutatja a gáz áramlását az idő függvényében (ml/min).

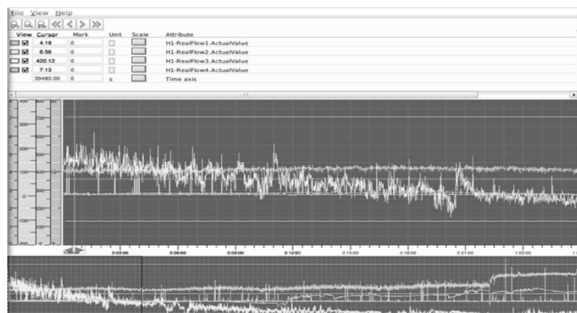
2. ábra: A *Fusarium sp.* makrokonidiumok mikroszkópos felvétele (40x objektív)



Figure 2: *Fusarium sp.* macroconidia viewed under 40x objectives

3. ábra: *Fusarium* sp. kimutatása kukoricából és fermentélből Papavizas táptalajon

 Figure 3: *Fusarium* sp. detection from maize and biogas end-product on Papavizas medium

4. ábra: Gázáramlás az idő függvényében (ml/min)


 Figure 4: Gas flow versus time (ml min^{-1})

A grafikus felületen nyomon követhetjük a hőmérséklet és gáz adatok változását (5. ábra). A keletkezett gázmennyiség – a minőségi összetevőkön – kiemelt helyet foglal el a rendszeren belül. Mérése összetett feladat. A mérések során fermentoronként csak egy gázvolumen mérést végeztünk, valamint gázanalizátorral egy minőségi információ birtokába jutunk. A SCADA jelfeldolgozó algoritmus gondoskodik a különböző adatcsatornák time-stamp-el való ellátásáról, hogy a kiértékelés későbbi fázisában azt referenciaként felhasználva ténylegesen származtatható legyen a nyers mérési adatokból a gázösszetevők mennyisége. Az üzembe helyezést követően, a teszt üzemi periódusában tapasztaltak alapján a kísérleti összeállítás módosítását hajtottuk végre. Az adatfeldolgozásba jelkondicionálást, szűrési algoritmusokat illesztettünk be. Az üzembe helyezett mérés adatgyűjtő által regisztrált gáz tömegáram volumenben nagy amplitúdójú fluktuációt figyelhettünk meg. A mérés szempontjából ez nem releváns információt hordoz, mely zavaró hatással van a gázvolumen burkológörbéjére. Előzetes vizsgálatokkal kizártuk, hogy a jel ingadozását termikus zaj okozta volna a mérőberendezésben. Ezt igazolja, hogy a mérő celláról leválasztott gázcső esetében a kimeneti jel statikusan 0 értéket mutatott. A további elemzések kimutatták, hogy a volumeningadozás elsősorban a fermentorban lejátszódó folyamatok, másodsorban pedig a gázmérő körök gázdinamikai viselkedésének következménye. A technológiai összeköttetések megváltoztatásával – pl. gázcső keresztmetszet, csőszakaszok hosszának növelése és gáz puffertartályok elhelyezése – csökkentenénk a mérésben megjelenő érték ingadozását. Mérlegelve a lehetséges beavatkozásokat az elektronikus jelfeldolgozásba beépített szűrőkörök alkalmazása mellett döntöttünk.

5. ábra: A hőmérséklet és a gáz adatok grafikus felülete

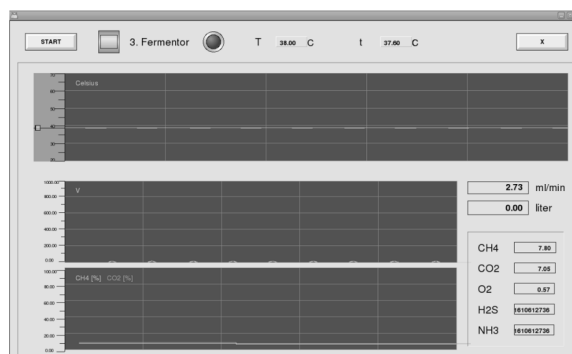


Figure 5: The graphical interface of temperature and gas data

A vizsgálat során az 5,26%, 10%, és 26,3%-ra (kg szárazanyag%-ra vonatkoztatva) beállított kísérletek esetén elemeztük a gázminőség és mennyiség alakulását. Az egyes kezelések során a kontrollt és a fuzáriumos kukoricával beállított kísérleteket hasonlítottuk össze Wilcoxon-próbával. A próbát valamennyi paraméter (gázmennyiség, metán-kihozatal, és szén-dioxid) összehasonlítása esetén elvégeztük; a szignifikancia szint minden esetben meghaladta a 0,05 értéket. Ezen eredmények alapján statisztikailag igazolható, hogy a kontroll és a fuzáriumos beállítás között nincs szignifikáns különbség az általunk vizsgált paraméterek esetében. A biogáz CH_4 -tartalma a 26,3%-os (sza%) fuzáriummal fertőzött kukoricadarával beállított kísérlet esetén volt legmagasabb, melyet elsősorban magasabb szárazanyag-tartalmának lehet tulajdonítani, ezzel egyidejűleg mértük a legalacsonyabb CO_2 szintet (2. táblázat). Az eredmények alapján a gázmérő, a ciklikus szeleprendszer és az adatgyűjtés megfelelően működött. A kísérlet gázhozam adatainak lefutásából megállapítható, hogy a folyamatok optimális lefutásához azonban elengedhetetlen speciális keverőegységek beépítése, mely biztosítja az alapanyagok minél hatékonyabb homogenizálását, ezáltal a gázképződés folytonosságát és mennyiségének növekedését.

KÖVETKEZTETÉSEK

A fuzáriummal fertőzött kukorica biogáz alapanyagként történő hasznosítása megfelelő bekeverés mellett hatékony és környezetbarát ártalmatlanítási módszer. *Fusarium* sp.-re jellemző makrokonidiumok és micéliumok pusztulására utal, hogy a fermentélből sem táptalajos tenyésztéssel, sem mikroszkópos vizsgálatokkal nem lehetett azokat kimutatni. A kontrollt és a fuzáriumos kukoricával beállított kísérletek eddigi gázhozam adatai között szignifikáns különbség nem mutatkozott. Ezen megállapítások igazolására további kísérleteket állítunk be a rendszer további fejlesztését követően (ipari pH és redoxpotenciál szondák beépítése minden fermentorhoz). Elvégeztük a reaktorok szenzorainak érzékenység vizsgálatát, kalibrációs beállításait és új informatikai és vezérlésirányítási rendszert fejlesztettünk ki. Megállapíthatjuk, hogy a szűrőkör alkalmazásával jelentősen csökkenthetjük a zavaró jelváltozások hatását. A fermentorokban a hóáramlás és a felszálló buborékok miatt aktív keverés nélkül is kialakul bizonyos keveredés.

A termelődött biogáz mennyisége és átlagos minősége a laboratóriumi kísérletek során

Kísérleti beállítások(1)	A termelődött gáz mennyisége (liter/28 nap)(2)	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	Maradék gáztartalom (%) (NH ₃ , H ₂ S, egyéb gázok)(3)
5,26% kontroll(4)	70,18	52,70	32,03	15,27
5,26% fuzárium(5)	70,45	56,70	33,83	9,47
10% kontroll(4)	68,06	61,20	27,08	11,72
10% fuzárium(5)	67,78	60,20	27,00	12,80
26,3% kontroll(4)	70,29	64,90	26,77	8,33
26,3% fuzárium(5)	72,96	63,90	24,97	11,13

Table 2: The quantity and the maximum values of quality of biogas in the course of laboratory experiments
Experimental settings(1), The produced gas quantity (liter 28 day⁻¹)(2), Residual gas content% (NH₃, H₂S and other gases)(3), Control(4), *Fusarium sp.*(5)

Ez a passzív keveredés azonban nem minden alapanyag esetén elegendő. Laboratóriumi kísérleteinkben különféle alapanyagokat alkalmaztunk, melyek hatékonyabb bomlását, a mikroorganizmusok anyagcseréjének növelését, ezáltal a biogáz képződés mértékét a folyamatos keverés fokozhatná. Éppen ezért tervezzük a fermentorokhoz speciális keverőegységek beépítését, melyek irányítása szintén az operátori panel kezelőfelületéről biztosítható lenne.

A mérési eredmények és a kísérleti beállítások módosításából levont következtetések eredményeként egy fuzzy algoritmuson alapuló szabályozó, szakértői szoftver modullal kívánjuk bővíteni a rendszert. A fermentációs folyamatok – a biokémiai reakció, valamint a technológiai felépítmény – nem írhatóak le lineáris modellekkel, ezért egy fuzzy logikán alapuló algoritmus használatát tervezzük szabályozásra. A fuzzy szabályozási rendszerek jó eredménnyel alkalmazhatóak olyan rendszerekben, ahol sok változót kell figyelembe venni. A beállításhoz szükséges paraméterek értéktartományát tapasztalati, empirikus úton nyerjük ki a korábbi kísérleti adatokból. A fermentorok szabályozásának célja, a biogáz előállításának technológiájában jelentkező zavaró tényezők – mint például a pH érték változás – kompenzálása, valamint a folyamat szempontjából fontos paraméterek optimalizálása, mint pl. a metán kihozatal növelése kevesebb tartózkodási idő mellett, a káros melléktermékek volumenének csök-

kentése. Az input adatok fuzzyfikálását követően, a modell alapján létrehozott szabályhalmaz döntési grafjának outputjából aggregáljuk a szabályozó választát. Az aggregáció utáni output paraméterek: fűtésszabályozó beavatkozó jel, adagolószivattyú működtető jel. A folyamat irányultsága olyan, hogy minimális tartózkodási idő mellett elérjük a legnagyobb metán kihozatali arányt a termelt gázösszetevőkre vetítve. A fuzzy szabályozó bemeneti változóikhoz rendelt alkalmasan megválasztott tagsági függvények és a szabályhalmaz hatékonyra teszik a változók kritikus gradiens változásának detektálását, mely előre jelzi a fermentorban zajló folyamatok állapotát, így hatékonyan tudunk beavatkozni a folyamatba, fenntartva az optimális működési állapotot.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a Baross Gábor Program segítségével (REG_EA_KFI_09-POTOABIT) valósult meg. A laboratóriumi biogáz fermentációs rendszer vezérlés-technikai fejlesztéséért köszönetet mondunk Nyírcsák Miklósnak (Compair 1st Kft.). A publikáció elkészítését a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0024 számú projekt támogatta.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOM

- Bai A. (2007): A biogáz. Száz magyar falu könyvesháza Kht. Budapest.
- Bai A.–Lakner Z.–Marosvölgyi B.–Nábrádi A. (2002): A biomassza felhasználása. Szaktudás Kiadó Ház. Budapest.
- Eifler, J.–Martinelli, E.–Santonico, M.–Capuano, R.–Schild, D.–Di Natale, C. (2011): Differential detection of potentially hazardous *Fusarium* species in wheat grains by an electronic nose. PLoS One. Epub 2011 Jun 9. 6: e21026.
- Fuchsz M. (2006): Biogáz. A Magyar Biogáz Egyesület kiadványa. Budapest.
- Gujer, W.–Zehnder, A. J. B. (1983): Conversion processes in anaerobic digestion. Water Science & Technology. 15: 127–167.
- Kacz K.–Neményi M. (1998): Megújuló energiaforrások, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó. Budapest.
- Kalmár P. (2009): A biogáz hasznosítása gázmotorokban. Biogáz-előállítás és -felhasználás. Műszaki Kiadványok. 1: 48–52.
- Mézes, L.–Bíró, T.–Tamás, J. (2008): Results of biogas production experiments based on agricultural and food industry wastes. Acta Agraria Debreceniensis. Suppl. 297–303.
- Nyírcsák M.–Pongrácz I. (2011): Autonóm rendszer használata mérés-adatgyűjtésre, telemetriai célokra. [In: Lóki J. (szerk.) Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában II.] 137–142.
- Papavizas, G. C. (1967): Evaluation of various media and antimicrobial agents for isolation of *Fusarium* from soil. Phytopathology. 57: 848–852.
- Patzwahl, S.–Nacke, T.–Frense, D.–Beckmann, D.–Kramer, K. D.–Tautz, T.–Vollmer, G. R. (2001): Microcontroller-based fuzzy system to optimize the anaerobic digestion in biogas reactors, Lecture Notes in Computer Science. 2206: 2–10.

- Placinta, C. M.–D’Mello, J. P. F.–Macdonald, A. M. C.(1999): A review of worldwide contamination of cereal grains and animal feed with *Fusarium* mycotoxins. *Animal Feed Science and Technology*. 78. 1: 21–37.
- Petis M. (2008): Biogáz hasznosítása. Energiapolitika 2000 Társulat. Energiapolitikai Hétfő Esték. Budapest. 2008. február. 11.
- Schulz H.–Eder B. (2005): Biogázgyártás. Cser Kiadó. Budapest.
- Sembery P.–Tóth L. (2004): Hagyományos és megújuló energiák, Szaktudás Kiadó Ház. Budapest. 274–279.
- Szécsi Á. (1994): *Fusarium graminearum* izolátumok azonosítása egy új módszerrel. *Növényvédelem*. 30. 1: 1–6.
- Szécsi Á.–Bartók T. (1995): A magyarországi *Fusarium graminearum* populáció trichotecén kemotípusai. *Növényvédelem*. 31. 3: 103–108.
- Szunyog I. (2008): Magyarország elméleti biogáz potenciálja. Egy európai uniós kutatási projekt szemszögéből. *Energoinfo. Energia Ügynökség Kht*. 2: 4–5.
- Yadvika, A.–Santosh, A.–Sreerishan, T. R.–Kohli, S.–Rana, V. (2004): Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques – a review. *Bioresource Technology*. 95: 1–10.