

## BIOGÁZOK KÖZVETLEN ELTÜZELÉSE GÁZÜZEMŰ BERENDEZÉSEKBEN

SZUNYOG ISTVÁN

Kőolaj és Földgáz Intézet  
3515 Miskolc-Egyetemváros  
szunyogi@kfgi.uni-miskolc.hu

**Absztrakt.** Egyre növekedik az igény, hogy a hagyományos energiahordozók mellett alternatív, és lehetőleg megújuló gázforrások is alkalmazhatók legyenek a földgáz alapú berendezésekben. Ennek egyik lehetősége a biogázok alkalmazása. Az ipari teljesítményű berendezések esetében egy-egy berendezést kell átállítani az adott gázminőség fogadására és felhasználására, azaz az adott gázminőséghez illesztendő a kazán vagy égő. A probléma kezelése egyéni megoldást kíván. A háztartási és kommunális fogyasztók ellátásakor a helyzet viszont változik, ugyanis ekkor a meglévő gázkészülékparkhoz kell illeszteni a gázminőséget. A cikkben a szerző sorra veszi azokat a felvetődő kockázati kérdéseket, melyek a tisztítatlan biogáz gázkészülékekben történő eltüzeléskor adódhatnak. Választ keres tüzeléstechnikai, cserélhetőségi, biztonságtechnikai kockázatokra és a biogázokra jellemző mellékösszetevők hatásából származó problémák kezelésére.

**Kulcsszavak:** *biogáz, biometán, gázminőség, mellékösszetevő, földgázhálózati betáplálás, gázberendezés, közvetlen eltüzelés, cserélhetőség, biztonságtechnika*

### 1. BEVEZETÉS

Európában, kisebb-nagyobb ütemben, de évről évre emelkedik a biogázt előállító üzemek száma. Ezeknél az üzemeknél egyik legfontosabb követelmény, hogy a metán formájában keletkező „energia” a legnagyobb mértékben hasznosításra kerüljön. Azaz olyan felhasználási, illetve energiaközvetítési technológia szükséges, amely a legnagyobb hatásfokot biztosítja. A leggyakrabban elterjedt hasznosítási megoldás az üzem területére telepített kombinált áram- és hőtermelő egység, mely kialakítását tekintve általában gázmotoros. Ebben az esetben a gondot az áramtermelés mellett keletkezett hulladékhő szokta jelenteni, melyre nincs szükség teljes egészében a biogáz előállítási technológiához. Amennyiben az üzem egy gazdasági egység részét képezi (pl. zöldség és gyümölcs- vagy húsfeldolgozó üzem mellett kerül kialakításra), a kérdés nem releváns, a jól méretezett egységek a teljes megtermelt áramot és hőt hasznosításra tudják adni. Más a helyzet azokkal az üzemekkel, amelyek mögött nem található ilyen háttér. Itt legtöbbször az áramtermelés a fő bevételi forrás, és a maradék hő értékesítése (amely már nem szükséges a fermentorok temperálásához) fogja meghatározni az éves hatásfokot és a pénzügyi eredményt. Az elmúlt évtizedben egyre inkább megjelentek az üzemek mellé telepíthető tisztító (upgrade) egységek, melyek 96–99% metán tartalmú biometánt tudnak előállítani a még tisztítatlan biogázból. A biometán ilyen formában szintén egy értékes anyag, mely a közelben lévő földgázhálózatba táplálható vagy gépjármű-üzemanyagként (Bio-CNG)

értékesíthető. A földgázhálózati betáplálás kapcsán lecseréléses megoldással az ország másik pontjában vagy akár egy határon túli másik országba is értékesíthető. A termelhető biometán mennyisége kizárólag az üzem környezetében lévő földgázhálózat kapacitásától függ. Ezek a megoldások általában jelentős beruházást igényelnek, és a megtérülésük is hosszú évekbe telik.

Kisebber üzemek esetében lehetőség van a biogáz minimális tisztítás utáni közvetlen eltüzelésére, akár az üzemben belül, akár az üzemtől nem túl nagy távolságban lévő ipari, egyedi vagy akár háztartási gáztüzelő berendezésekben. A nagy inert tartalmú (a szén-dioxid- és a nitrogéntartalom általában magasabb, mint 40–50%), nem földgáz minőségű biogázok eltüzelésére alkalmas speciális gázégők a piacon elérhetőek. Egy-egy berendezés esetében az adott gázminőséghez illeszthetőek, azokra be szabályozhatóak. Itt csak a gázminőséget kell a megengedhető tartományon belül tartani. Hasonlóan igaz ez a megállapítás a gázmotoros egységekre is. Más a helyzet akkor, ha a nem földgáz minőségű biogázt egy nagyobb felhasználói körhöz juttatjuk el, például egy szigetüzemben működő háztartási vagy üdülőövezeti gázfogyasztói csoporthoz. Ebben az esetben kiemelt szerepe van az állandó gázminőség biztosításának, hiszen nagy számú fogyasztót kell ellátni. Nagyon fontos, hogy a szigetüzembe bekötött gázberendezések megfelelően be legyenek szabályozva az adott biogáz minőségre. A továbbiakban vizsgálatra kerülnek az egyes biogáz minőségek abból a szempontból, hogy milyen hatást gyakorolnak a gázberendezések üzemére közvetlen eltüzelés során.

## 2. A BIOGÁZOK GÁZMINŐSÉG JELLEMZŐI

Általános ismérve a fermentációs (anaerob körülményekre alapozott) folyamatból származó biogázoknak, hogy főként metánból, szén-dioxidból és vízgőzből állnak. A metán a legfontosabb összetevő, minél magasabb térfogathányada a kívánatos. A szén-dioxid bár nem hordoz jelentős biztonságtechnikai kockázatot, mégis tanácsos a leválasztása, hiszen amellet, hogy csökkenti a gáz egységnyi energiatartalmát, rontja a gyulladási paramétereket, és a még kezeletlen gázban lévő vízgőzzel savas közeget (szénsavat) alkot. Aránylag kis költséggel megoldható a leválasztása. Hasonló inert összetevő a nitrogén, mely önmagában nem veszélyes, de szintén csökkenti a gáz egységnyi energiatartalmát, és nagy hőmérsékletű eltüzelés esetén jelentősen megnöveli a kibocsátott NO<sub>x</sub>-emissziót. Leválasztása csak igen költséges eljárásokkal oldható meg, így a legjobb módszer a technológia helyes megválasztásával elkerülni a környezeti levegő rendszerbe jutását. Hasonlóan érvényes kijelentés ez az oxigénre, mely nedves környezetben igen jelentős korróziós hatást képvisel. Általában a szeméttelapi gázokban fordul elő. A vízgőz leválasztása elsősorban komoly korróziós hatása szempontjából indokolt, hasonlóan a földgázokhoz. A nyersgázban jelen lehet még kis mennyiségben hidrogén, de ez inkább a szintézisgázok összetételére jellemző. Nagy lángterjedési sebessége miatt (több mint 7-szerese a metánénak) a földgázra be szabályozott készülékekben a tüzeléstechnikai paraméterek intenzív romlását, illetve lángleszakadást okozhat. A földgázokhoz hasonlóan előfordulhat még a biogázokban kénhidrogén, illetve egyéb kénvegyületek (merkaptánok,

dimetil-szulfid, karbonil-szulfid, karbon-diszulfid), melyek mennyisége a földgáz-rendszerben megengedett érték több százszorosát vagy akár ezerszeresét is elérheti. Leválasztásuk alapvető követelmény. Ezek az összetevők a fém vezetékben korróziót, illetve elégetésük során SO<sub>2</sub>-emissziót okoznak, mely az égéstermék vízgőz-tartalmával kénessavat alkothat. Ezek az összetevők bizonyos mértékben a földgázokra is jellemzőek, a földgázra alapozott energiahasznosításban nem ismeretlenek, hatásuk, megengedhető mennyiségük jól körülhatárolható.

A biogázokra egyéb kísérő összetevők is jellemzőek, melyek a földgázellátásra nem jellemzőek. Ilyen az ammónia, mely kis mennyiségben előfordulhat a nyers biogázokban. Rontja a gyulladási paramétereket, és növeli az NO<sub>x</sub>-emissziót. A klór, fluor, bróm és jód mint a halogénelemek vegyületei, kiváló sóképzők. Gázaik mérgező hatásúak (dioxin és furán formációk keletkezhetnek), egyes fémek felületén sószerű anyagokat képeznek, és az égéstermék vízgőztartalmával savas vegyületeket alkotnak. Elsősorban a depóniagázokban fordulhatnak elő. Az aromás szénhidrogének, mint a benzol, toluol és a xilol (BTX) szintén megtalálhatóak az anaerob folyamatból származó biogázokban, mennyiségük általában nem nagyobb, mint a földgázban, a műanyag alkatrészekre gyakorolnak káros hatást. A szemétkerakó telepek gázaiban előfordulhatnak még szerves mikrokristályos szilícium-dioxid tartalmú összetevők (sziloxánok), melyek elsősorban a mozgó alkatrészekre (pl. gázmotorok dugattyúi) – de egyéb elemekre is (vezetékek, tartályok, szelepek) – jelentenek veszélyt koptató hatásuk révén. A szén-monoxid rendkívül mérgező, magasabb (tűztér)hőmérsékleten redukálószerként viselkedik. A szervesetlen összetevőkön túl jelen lehetnek még a biogázokban szerves mikroorganizmusok, melyek amelltt, hogy egyfajta egészségügyi kockázatot képviselnek, biokorróziót okozhatnak a gázvezetékben, szerelvényekben és gáztüzelő berendezésekben. Ennek hatása azonban még a mai napig nem került egzakt módon kimutatásra. A tisztítatlan biogázok lehetséges összetevőit és hatásukat szemlélteti az 1. táblázat.

1. táblázat  
Anaerob forrásból származó biogázok főbb összetevői és hatásuk

Komponens	Összetétel	Hatás
Metán	45–70%	– éghető összetevő
Széndioxid	25–55%	– csökkenti az égéshőt – rontja a gyulladási paramétereket – elősegíti a korróziót – káros az alkáli-tüzelőanyag cellákra
Nitrogén	0,01–5,00%	– csökkenti az égéshőt – rontja a gyulladási paramétereket
Oxigén	0,01–2,00%	– nedves környezetben korrozív
Kénhidrogén	10–30 000 mg/m <sup>3</sup>	– korróziót okoz a berendezésben és a vezetékben – SO <sub>2</sub> -emisszió elégetés után – katalizátor mérég
Szerves kénvegyület	0,1–30,0 mg/m <sup>3</sup>	– korrozív hatás

Ammónia	0,01–2,50 mg/m <sup>3</sup>	– rontja a gyulladási paramétereket – káros a tüzelőanyag cellákra – NO <sub>x</sub> -emisszió elégetés után
BTX (benzol, toluol, xilol)	0,1–5,0 mg/m <sup>3</sup>	– erős korróziót okozhat műanyag vezetékben
Sziloxán	0,1–5,0 mg/m <sup>3</sup>	– elősegíti a gázmotorok és turbinák kopását
Vízgőz (25 °C; 1013,25 mbar)	100% rel. nedv. 3,1%	– korróziót okoz a berendezésben és a vezetékben – a kondenzátum káros a műszerekre – fagyveszélyt okoz a vezetékben és a fűvókákban
Por	> 5 μm	– eltömíti a fűvókákat – káros a tüzelőanyag cellákra

*Forrás: Kilinski: STUDIE Einspeisung von Biogas in das Erdgasnets, 2006.*

Az egyes összetevők leválasztására számos, a piacon elérhető technológia áll rendelkezésre. Ilyen a vizes mosás, a nyomásváltó adszorpció, az aminos mosási technológiák, a membrános leválasztás és a mélyhűtéses technológiák. Ezek az eljárások elsősorban az inert, nem éghető összetevők kivonására szolgálnak, így növelve az egységnyi gáz energiataralmát. A tisztítás során természetesen egyéb mellékösszetevők koncentrációja is csökken, attól függően, hogy az adott technológia képes-e, illetve milyen mértékben megkötni a gázból az adott összetevőt. A kis mennyiségben a gázban lévő szennyezőanyagok (kén, víz, oxigén, sziloxán, halogénezett szénhidrogének stb.) leválasztására egyéb tisztítási módszerek is rendelkezésre állnak (pl. biológiai, aktív szén), melyek az igényektől függően kapcsolhatók a tisztítórendszer után. A gyakorlatban a legelterjedtebb a vizes mosás (41,3%), melyet a kémiai mosási technológiák (21,6%), a nyomásváltó adszorpció (20,8%), a membrán leválasztás (9,6%), a szerves anyaggal történő fizikai mosás (6,3 %) és a kriogén eljárás (0,4 %) követ az elterjedés gyakoriságának sorrendjében.

### 3. KÖZVETLEN ELTÜZELÉS

A biogázok közvetlen eltüzelése során a gázkészülék-, gázégő-, illetve gázmotor- és gázturbina-gyártók határoznak meg minimum gázparamétereket az adott berendezésre vonatkozóan. A 2. táblázat ezekre a követelményekre fogalmaz meg egy ajánlást. A táblázatból látható, hogy a legszigorúbb követelmények a gázmotoros felhasználásra vonatkoznak, és a legkisebb fokú előkészítést egy gázkazánban vagy fáklyán történő elégetés jelenti.

2. táblázat  
A közvetlen eltüzelés szempontjából fontos összetevők határértékei

Biogáz összetevő	Fáklya	Kazán	Dugattyús gázmotor	Mikroturbina
Metán	> 50%	> 50%	> 60%	> 55%
Hidrogén-szulfid	–	–	< 250 ppm	< 5 000 ppm
Víz	Szabad víz mentes	Szabad víz mentes	< 80% relatív nedvesség	< 55% relatív nedvesség
Ammónia	–	–	< 25 ppm	< 200 ppm
Klór	–	–	< 40 ppm	< 250 ppm
Fluor	–	–	< 40 ppm	< 1 500 ppm
Sziloxán	–	–	< 2 ppm	< 0,005 ppm
Por	–	–	50 mg/10 kWh	< 20 ppm
Szilárd szennyezők	–	–	< 3 µm	< 10 µm

Forrás: Australian Meat Processor Corporation, [www.ampc.com.au](http://www.ampc.com.au)

A következőkben vizsgáljuk meg, hogy a még tisztítatlan biogázok milyen tüzeléstechnikai paraméterekkel rendelkeznek, és ez mennyire tér el egy tipikus orosz földgáz értékeitől (F1). A minta gázösszetételeket a 3. táblázat szemlélteti. Minden esetben a fő komponensekre redukált biogáz-összetételek kerültek megadásra a német DVGW G 262 előírásban szereplő mintaösszetételek alapján (B1, B2, B3). Ezek az összetételek nem mutatják az esetleges nyomösszetevőket (kén-hidrogén, kénvegyületek, ammónia, halogénvegyületek stb.), azonban közvetlen eltüzeléskor is szükségessé válhat leválasztásuk a körülményektől függően. Vizsgálatunk szempontjából sokkal lényegesebbek a feltüntetett komponensek, melyek a gázelegy tüzeléstechnikai viselkedését, azaz eltüzelhetőségét határozzák meg.

A kapott eredmények alapján kijelenthető, hogy önmagában egyik biogáz sem felel meg a magyar közszolgáltatású földgázok minőségét meghatározó MSZ 1648:2000 szabvány követelményeinek. Az alsó hőérték a földgázénak 42,8–64,7%-a, a felső Wobbe-szám a földgázénak 32,8–51,7%-a. Mindhárom biogáz relatív sűrűsége 1-hez közeli, a levegő sűrűségéhez közelít, mely komoly biztonságtechnikai kockázat rejt magában, hiszen a környezetbe történő kijutás esetén már nem teljesen ugyanazok az elvek érvényesülnek a gázfelhalmozódásra, mint a földgáz esetében.

Amennyiben a hasznosítás közvetlen eltüzelés, akkor az adott eltüzelési módhoz (illetve környezetvédelmi célokhoz) igazítva le kell választani a nem kívánatos összetevőket. Mindig leválasztjuk a vízgőzt, a kén tartalmú összetevőket, a port, a szilárd szennyezőket, és technológiától függően a halogén összetevőket, a sziloxánokat, az ammóniát, a nitrogént, és a BTX vegyületeket.

A közvetlen eltüzelésre vonatkozóan az alábbi megállapítások tehetőek a 2H minőségű (orosz) földgázokhoz hasonlítva a mintaösszetételeket. Mivel a biogázok energiatartalma (alsó hőértéke) jelentősen eltér a földgázétól, ezért a gázkészülékben egységnyi mennyiségű energia felszabadításához 1,54–2,34-szer több gáz szükséges, azaz ennyivel növelni kell az időegység alatt az égőből kiáramló gázmennyiséget. Mivel a biogázok Wobbe-szám tartománya a földgázénak csupán 32,8–51,7%-

a, ezért a földgázra besabályozott készülékekben nem biztosított a gázok közvetlen cserélhetősége, azaz átállítás nélkül a gázkészülékek üzemeltetése veszélyes. A levegőéhez közeli (1,0) relatív sűrűség azt eredményezi, hogy a rendszerből kiáramló gáz nem felfelé indul el, hanem elterül a környezetében (természetesen csak akkor, ha nincs egyéb befolyásoló környezeti hatás, pl. légmozgás), azaz máshol fog kialakulni a robbanóképes közeg.

3. táblázat

Az összehasonlításához alkalmazott minta gázösszetételek

Összetétel		Biogázok				
		B1	B2	B3	F1	
		DVGW G 262 házt. szemét mol%	DVGW G 262 komm.szennyvíz mol%	DVGW G 262 trágyalé mol%	Beregdaróc 2H mol%	
Éghető összetevők	Metán	CH <sub>4</sub>	43,00%	60,00%	65,00%	97,913%
	Etán	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>				0,814%
	Propán	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>				0,284%
	i-Bután	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>				0,050%
	n-Bután	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>				0,053%
	i-Pentán	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>				0,010%
	n-Pentán	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>				0,008%
	Hexán +	C <sub>6+</sub>				0,009%
	Szén-monoxid	CO				
	Hidrogén	H <sub>2</sub>				
	Hidrogén-szulfid	H <sub>2</sub> S				
	Nem éghető összetevők	Szén-dioxid	CO <sub>2</sub>	31,00%	39,00%	34,00%
Nitrogén		N <sub>2</sub>	23,00%	1,00%	1,00%	0,804%
Oxigén		O <sub>2</sub>	3,00%			
Vízgőz		H <sub>2</sub> O				
Argon (nemesgázok)		Ar				
Összesen:			100,00%	100,00%	100,00%	100,000%
<b>Tüzeléstechnikai jellemzők</b>						
Alsó hőérték (H <sub>l</sub> )	MJ/m <sup>3</sup>		<b>14,63</b>	<b>20,43</b>	<b>22,13</b>	34,21
Wobbe-szám felső hőért.	MJ/m <sup>3</sup>		<b>16,53</b>	<b>23,44</b>	<b>26,08</b>	50,41
Relatív sűrűség (d)	-		<b>0,97</b>	<b>0,94</b>	<b>0,89</b>	0,57

Az alapvető tüzeléstechnikai paramétereken túlmutatóan vizsgáljuk meg az eltüzeléshez közvetlenül köthető további határértékeket, melyeket a 4. táblázat szemléltet. Az elméleti levegőszükséglet esetén egyértelműen látható, hogy kisebb éghetőanyag-tartalom mellett kevesebb égési levegő szükséges. A kevesebb égési levegő és a magasabb inert tartalom miatt viszont romlanak az éghető részek gyulladási paraméterei.

A füstgázösszetétel és térfogat, hasonló elvek alapján szintén csökken, a legkisebb metán tartalmú biogáz (B1) esetében kevesebb, mint a felére. Amennyiben nem egységnyi gázmennyiséget vizsgálunk, hanem azonos energiatartalmat veszünk figyelembe, akkor ebből a biogázból (B1) 2,34-szer több mennyiség szükséges, mint a földgázból (F1) azonos energia felszabadításához, ami a füstgáztérfogatban is jól látható. Az ekkor keletkező nedves füstgáztérfogat 11,82 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, ami 12%-al több mint a földgáz esetében. Ebből következik, hogy adott esetben szükséges lehet akár

az égéstermék-elvezető rendszer felülvizsgálata is. Megjegyzendő, hogy egy megfelelően méretezett égéstermék-elvezető rendszerben ekkora túlterhelés nem okoz problémát. A füstgáz harmatpontja a biogázok esetében kedvezőbb, akár 2 °C-al is csökkenhet.

4. táblázat

A mintaösszetételekből számított gázminőségi paraméterek

Gázminőségi paraméter	Biogázok			Földgázok	Mértékegység
	B1	B2	B3	F1	
	DVGW G 262 házt. szemét	DVGW G 262 komm.szennyvíz	DVGW G 262 trágyalé	Beregdaróc 2H	
<b>Tüzeléstechnikai jellemzők</b>					
Elméleti levegő szükséglet ( $V_{\text{levelm}}$ ):	<b>3,9680</b>	<b>5,7370</b>	<b>6,2151</b>	9,6144	$\text{m}^3/\text{m}^3$
Alsó gyulladási koncentrációhatár ( $Z_a$ ):	<b>9,5855</b>	<b>7,0614</b>	<b>6,5538</b>	4,9349	$\text{m}^3/\text{m}^3$
Felső gyulladási koncentrációhatár ( $Z_f$ ):	<b>29,9506</b>	<b>23,4550</b>	<b>22,0485</b>	14,9345	$\text{m}^3/\text{m}^3$
Lánghőmérséklet ( $T_{\text{elm}}$ ):	2 343	2 374	2 391	2 505	$^{\circ}\text{C}$
Lángterjedési sebesség ( $u_{\text{fl}}$ ):	<b>15,6</b>	<b>20,4</b>	<b>22,1</b>	33,8	cm/s
Füstgázösszetétel ( $\text{CO}_2$ ):	0,7392	0,9889	0,9888	1,0089	$\text{m}^3/\text{m}^3$
Füstgázösszetétel ( $\text{H}_2\text{O}$ ):	0,8319	1,1608	1,2575	1,9363	$\text{m}^3/\text{m}^3$
Füstgázösszetétel ( $\text{N}_2$ ):	3,4420	4,4919	4,8654	7,5190	$\text{m}^3/\text{m}^3$
Füstgázösszetétel ( $\text{SO}_2$ ):	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	$\text{m}^3/\text{m}^3$
Füstgázösszetétel ( $\text{Ar}$ ):	0,0382	0,0533	0,0578	0,0894	$\text{m}^3/\text{m}^3$
Nedves füstgáztérfogat ( $V_{\text{fstgnedv}}$ ):	<b>5,0513</b>	<b>6,6949</b>	<b>7,1695</b>	10,5535	$\text{m}^3/\text{m}^3$
Száraz füstgáztérfogat ( $V_{\text{fstgszar}}$ ):	<b>4,2195</b>	<b>5,5341</b>	<b>5,9120</b>	8,6173	$\text{m}^3/\text{m}^3$
Füstgáz harmatpont ( $t_{\text{fstg}}$ ):	57,0	58,0	58,3	59,2	$\pm 1,5$ $^{\circ}\text{C}$

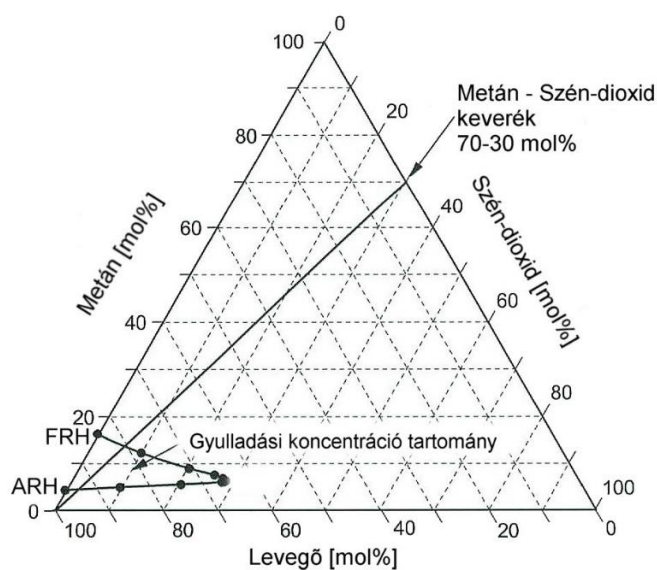
A kialakuló elméleti lánghőmérséklet láthatóan csökken, megközelítőleg 150 °C-al, ami az  $\text{NO}_x$ -képződés szempontjából kedvező, azonban technológiai folyamatnál problémát okozhat. A lángterjedési sebesség jelentősen eltér a földgázétól, azaz fokozottan megnő a lángleszakadás veszélye az égőnél.

Az alsó és felső gyulladási koncentrációhatárt vizsgálva szembevetve a tartomány kiszélesedése és a felsőbb értékek felé tolódása a metántartalom csökkenésének hatására. Meg kell jegyezni, hogy a gyulladási koncentrációhatárok számítása a Le Chatelier-összefüggéssel történt, mely magas inert tartalom esetén nem teljesen megbízható. A (Molnár–Schröder, 2014) publikáció mérési eredményekkel alátámasztva adja meg a  $\text{CH}_4$ - $\text{CO}_2$  keverék levegőre vonatkoztatott gyulladási koncentrációértékeit. Az ott közölt értékek viszont jó korrelációt mutatnak ezekkel a számításokkal, átlagban 2 tf% eltérést adnak a felső határértékre vonatkozóan. Egyetlen nagyobb eltérés a B1 összetételnél látható (5 tf%), ami alátámasztja a Le Chatelier számítási elv hibáját magas inert tartalom esetén. Az 1. ábra a fent hivatkozott irodalomból átvett gyulladási koncentrációhatár háromszög diagramot mutatja.

A gyulladási koncentráció tartományt az ARH (alsó robbanási határ) és az FRH (felső robbanási határ) határolja a hivatkozott irodalom szerzői által mért eredmények alapján.

A földgázra szabályozott háztartási készülékek legtöbbször átállíthatóak alacsonyabb hőértékű biogázok eltüzelésére. Növelni kell ekkor az égőbe áramló gáz mennyiségét (azonos leadott hőmennyiség igény esetén), amivel együtt a gáz-levegő

arányt is utána kell szabályozni. Az ebből adódó nagyobb gázáramokat is el kell viselnie a berendezésnek. Mivel több olyan mellékösszetevő is előfordulhat a biogázban, ami elégetés után az égéstermékben lévő vízben oldódva káros lehet a berendezésre, ezért célszerű megemelni a rendszer tüztérhőmérsékletét, csökkentve ezzel a hatásfokot és megnövelve az  $\text{NO}_x$ -képződés esélyét. A kén-hidrogénből és vízgőzből adódó kondenzációs veszélyek miatt a tüzelőanyaggal és az égéstermékkel érintkező fémfelületeket savakkal szemben ellenálló anyagból kell kialakítani, illetve kezelni kell.



1. ábra

Metán–szén-dioxid–levegő keverék gyulladási koncentrációhatárai

Forrás: Molnárné, M.–Schröder, V.: Chemical Safety Database – Application for Flammability Limits of Biogases, 2014

Ipari berendezések esetében a biogázzal történő tüzelés egyéb követelményeket is támaszt. Ilyen például a magasabb tüztérhőmérséklet irányi igény (lásd előbb), amihez megfelelő tüztérszigetelés szükséges. Az inert tartalom miatt a tökéletes eltüzeléshez jobb, intenzívebb keveredés szükséges. Ezt a gyakorlatban csak gyorsan reagáló és folyamatos visszajelzéssel rendelkező szabályozó elemekkel lehet megvalósítani. További probléma, hogy megváltozhat a láng alakja és az égés sebessége, valamint az eltérő füstgázösszetétel miatt megváltoznak a tüztér hőátadási viszonyai is (változik a láng- és füstgázszugárzás mértéke, a változó füstgáz tömegáram befolyásolja a konvektív hőátadást). 40–50% metántartalom alatt már szükséges lehet az égési levegő előmelegítése is.



#### 4. ÖSSZEGRZÉS

A felhasználás szempontjából mindenképpen el kell különíteni a biogáz és a biometán minőséget. A biometán tulajdonságai megegyeznek a földgázokéval, azaz a földgáz-iparban ismert konstrukciók és összefüggések alkalmazhatók. A biogáz minősége viszont jelentősen eltér a földgázokétól, más az energiatartalom, a Wobbe-szám, a relatív sűrűség, az összetétel, változnak a tüzeléstechnikai paraméterek és az eltüzelési peremfeltételek. Tehát megjelennek bizonyos kockázatok, melyeket kezelni kell. Ezzel együtt kiváló alternatíva a földgáz helyettesítésére.

Összegezve az eredményeket elmondható, hogy a földgázra beszabályozott készülékekbe közvetlenül, átállítás nélkül bevezetve a biogázokat az alábbi hatások tapasztalhatók. Mivel csökken a készülékbe bevezetett egységnyi mennyiségű gáz energiatartalma, ezért kevesebb elméleti levegő szükséges. A földgázra beszabályozott készülékben ezáltal megnő a levegőfelesleg, csökkentve ezzel a készülék hatásfokát, esetlegesen a lángstabilitást. A gyulladási hőmérséklet néhányszor 10 °C-al megemelkedik, és az elméleti, valamint gyakorlati lánghőmérséklet is csökken 100–150 °C-al. Ez az NO<sub>x</sub>-kibocsátás csökkenését eredményezi, azonban technológiai folyamatoknál hátrányos lehet. Az esetlegesen kialakuló füstgáz oldali vízkondenzáció miatt pedig éppen a lánghőmérséklet növelése indokolt. A magas inert tartalom miatt lecsökkenő lángterjedési sebesség magában hordozza a lángleszakadás veszélyét, azaz kiemelt figyelmet kell fordítani az égő konstrukciójára biogázok esetében. A füstgáz harmatpontja néhány 0 °C-al csökken, ami kedvező hatású az égéstermék-elvezető rendszerben kialakuló kondenzáció megelőzése szempontjából. A gyulladási koncentrációhatár kiszélesedik, és egyben el is tolódik a magas inert tartalom miatt.

#### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Fenntartható Természeti Erőforrás Gazdálkodás Kiválósági Központ keretében készült.

#### IRODALOM

- [1] WEILLINGER et al.: *The Biogas Handbook: Science, production and Applications*, 2013.
- [2] BEREZ E.: *Kémia műszakiaknak*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1991.
- [3] DVGW Technische Regel Arbeitsblatt G 262: *Nutzung von Gasen aus regenerativen Quellen in der öffentlichen Gasversorgung*. Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn, 2004.
- [4] FARKAS O.–NAGY G.: *Tüzeléstan*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1985.
- [5] IEA Bioenergy Task 37 (<http://www.iea-biogas.net>)
- [6] KAPROS T.: Szekunder energiahordozó gázok termikus hasznosítása. *Hulladékonline*, 2013, 1.
- [7] KILINSKI, S. Hauptschriftleiter: *STUDIE Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetze*; Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Leipzig, 2006.

- [8] MOLNARNÉ, M.–SCHRÖDER, V.: *Chemical Safety Database – Application for Flammability Limits of Biogases*. 2014.
- [9] SZUNYOG I.: A biogázok és a földgázok eltérő összetételéből adódó hatások elemzése. *Magyar Épületgépészet*, LVII. évf., 2008, 4.