

Biogáz-földgáz vegyestüzelés égési folyamatának vizsgálata, különös tekintettel a légszennyező gázalkotókra

OTKA T 046471

(2004 jan. – 2007 jún.)

Témavezető: Woperáné dr. Serédi Ágnes, egyetemi docens

Kutatók (Miskolci Egyetem):

*Dr. Szűcs István, egyetemi tanár
Dr. Mikó József, ny. egyetemi docens
Dr. Szemmelveisz Tamásné, egyetemi docens
Dr. Szecső Gusztáv, egyetemi docens
Dr. Bokányi Ljudmilla, egyetemi docens
Valler Krisztina, doktorandusz*

Külső kutatók:

*Dr. Emilia Wagnerová, egyetemi docens (Kassai Egyetem)
Dr. Nagy Géza, főiskolai tanár (Széchenyi István Egyetem)*

Bevezetés

A megújuló energiahordozóknak növekvő jelentősége van a fosszilis tüzelőanyagok hasznosítása kapcsán jelentkező környezetvédelmi problémák enyhítésében. Az egyik legfontosabb rendelkezésre álló megújuló energiaforrás a biomassza, de jelentős szerephez jut a biogáz és a geotermikus energia is. A biomassza és biogáz energiahordozók termelésének viszonylag kis területi energiasűrűsége következtében ezek az energiaforrások elsősorban a kis- és közepes teljesítményű decentralizált, ill. lokális hő és villamosenergia fogyasztók ellátására alkalmasak, de erőműi és távhő rendszerek is alkalmazzák.

Az elkövetkező 25 évben az európai biogáz termelés tízszeresére történő növekedését jelzik gáztechnikai kutatók, külön illetve a földgázzal történő együttes hasznosítás lehetőségét is vizsgálva. A biogázok mennyiségi és minőségi ingadozása is indokolja a biogáz-földgáz vegyes tüzelés létjogosultságát, lehetőséget teremtve a már létező fosszilis tüzelőanyag rendszerekben történő hasznosításra.

Biogáz összefoglaló néven különféle eredetű gázokkal találkozunk a szakirodalomban. A biomasszának szekunder energiahordozóvá történő átalakítása több irányban folyik. Ezek az irányok a szekunder termékek alapján különböztethetők meg: hő (biomassza elégetése), depóniagáz (anaerob átalakulás), szintézisgáz (biomassza hőkezelése pl. elgázosítás vagy pirólízis). A biogázok hasznosítási lehetőségei: vezetékes minőségű gáztermelés, villamosenergia termelés, kapcsolt hő és villamosenergia termelés.

Kutatásainknál a szintézisgáz vagy szingáz (syngas) kifejezést használjuk a biomassza bármelyik termikus átalakításából származó termék gázra, a hulladéklerakókból vagy szennyvíztelepekből származó depóniagázoktól (depogáz) való megkülönböztetés miatt.

Kísérletek összefoglaló ismertetése

Kutatómunkánk célja volt – a szerződés kötést megelőző évek OTKA kutatásaihoz szervesen kapcsolódva - különböző összetételű ill. származású biogázok és földgáz keverékének környezatkímélő eltüzelése. Három és féléves kutatómunkánk során azt kívántuk vizsgálni, hogy melyek azok a biogáz-földgáz keverékek, amelyek földgázégőkön jelentős átalakítás nélkül üzembiztosan és gazdaságosan elégethetők. Vizsgálni kívántuk továbbá a biogáz bekeverés hatására kialakuló főbb égési jellemzők alakulását is, különös figyelmet fordítva a környezet-terhelés csökkentésére.

Kutatásaink kezdetén, a szakirodalom alapján kiválasztottuk azokat a – elsősorban biomassza különböző technológiával történő elgázosítása során nyerhető - biogáz típusokat, amelyeket kísérleteink során vizsgálni szándékoztunk. Áttekintettük azokat a legfontosabb kutatási beszámolókat, amelyek földgáz-biogáz keverékének égési feltételeit tanulmányozzák [1-8].

Égéselméleti számításokat végeztünk a hálózati földgáz-biogáz különböző arányú keverékeire vonatkozóan. Számításaink nemcsak a tüzelési paraméterekre terjedtek ki, hanem az un. alsó és felső Wobbe index változására is.

A földgázhoz kevert biogázok befolyásolják az elméleti égési hőmérsékletet és a különböző tüzelési paramétereket. Mérésekkel igazoltuk, hogy hogyan változik az alsó és felső gyúlási határ, valamint a keverékek lángterjedési sebessége. Jelentős különbség adódik a Wobbe számnál is. Ezen okokból előnyösebb a biogázokat külön fűvókán, szekunder gázként vezetni az elégető berendezésbe, ezúton egyben lehetőséget biztosítva a NO_x képződés csökkenésének is. Nagyhőmérsékletű égési folyamatok során gázhalmazállapotú szennyezőanyagok kerülnek a légtérbe (SO_2 , NO_x , CO , CO_2 , C_nH_m). A fokozatos tüzelés a jól ismert tüzelési módszerek egyike, amely segítségével hatékonyan csökkenthető a NO_x légszennyezők mennyisége.

A mérési célnak megfelelően átalakítottuk és összeállítottuk a korábbi OTKA támogatásokkal is megépült kísérleti berendezést és mérőkört, amely a 2004 évben (egyéb forrásból) egy új adatgyűjtő rendszerrel és egy új gázelemző műszerrel bővült.

A kísérletekhez használt laboratóriumi kemence munkatér hőmérséklete léghűtéssel volt szabályozható. A kísérleti égő hagyományos üzemmódban és kétfokozatú gázbevezetés mellett egyaránt üzemeltethető. Amint azt a közlemények jelentős része is szemlélteti, a földgáz és biogázok együttes elégetését két külön égési térben és más-más gázfűvókán keresztül valósítottuk meg a kísérleti gázok növekvő arányával bekövetkező jelentős Wobbe szám eltérés miatt.

Mértük a tüzelőanyagok és az égési levegő térfogatáramát, a füstgáz összetételét (különös tekintettel a légszennyező gázalkotókra), a kemence hossza mentén a munkatér hőmérséklet értékeit, valamint a hűtő levegő hőmérsékletét.

A NO_x képződést befolyásoló legfontosabb tényezők: a maximális lánghőmérséklet, a nagyhőmérsékletű zónában való tartózkodási idő és a levegőtényező. További befolyásoló tényezők: az égők konstrukciós paraméterei, az égők helyzete és az égési tér kialakítása.

Az előzőekből adódóan, az NO_x csökkentése céljából kifejlesztett tüzelési módszerek lényege a láng maximális hőmérsékletének és az égéstermékek tartózkodási idejének csökkentése, valamint az oxigén parciális nyomásának változtatása az égési zónákban.

Ezen célok elérését szolgáló módszerek egyike a már előbb is említett fokozatos tüzelés. A fokozatos tüzelésnél az égési folyamat több zónára van felosztva, egyik zónában léghiányt, másokban levegőfelesleget kialakítva, a fokozatos tüzelés választott típusától függően.

A Tüzeléstan és Hőenergia Tanszék korábbi OTKA kísérleteinél a kétfokozatú tüzelés kivitelezésénél az összes égési levegőt - a tüzelőanyag egy részét képező - földgázhoz vezettük, amely egy nagy levegőtényezőjű primer égési zónát eredményezett, majd a szekunder égési kamrába a kísérleti gázt vezettünk, beállítva a helyes tüzelési paramétereknek megfelelő levegőtényező értékét.

Jelenlegi kutatásaink során különböző arányú depogáz-földgáz és szingáz-földgáz keveréket égettünk el azonos kísérleti feltételek mellett ($\Phi=20$ kW; $T_{\max}=1050$ °C; $n=1,1$) ezzel a tüzelési módszerrel. Az előre elkészített különböző kísérleti gázkeverékeket palackból adagoltuk a kisnyomású hálózati földgázzal üzemelő kísérleti égő szekunder gázfúvókájába.

A földgáz és a kísérleti gázok összetételét és jellemző paramétereit az alábbi táblázat foglalja össze.

Földgáz és biogázok összetétele

Összetétel, % v/v	Depogáz	Szingáz-1	Szingáz-2	Szingáz-3	Földgáz
CO ₂	22.5	25	10	35,8	0,0706
CH ₄	57.5		5	21,2	97,933
C ₂ H ₆					0,828
C ₃ H ₈					0,279
C ₄ H ₁₀					0,101
C ₅ H ₁₂					0,017
C ₆ H ₁₄					0,011
C ₇ H ₁₆					0
N ₂	20	5	50		0,7604
CO		30	25	19,7	0
H ₂		40	10	23,3	0
Hu, kJ/m³	20583	8097	6027	12600	36019
T _{elm.} , °C	1917	1983	1704	1798	2063
ρ, kg/m ³	1,1022	0,9635	1,1777	1,1209	0,7303

Elsőként a szennyvíztelepek és hulladéklerakók egy viszonylag nagy metán tartalmú (~58%) depóniagázát vizsgáltuk kétfokozatú gázbevezetés mellett. A kísérleti eredményeket a **K1-4** közlemények tartalmazzák.

A kutatási időszak nagyobb részében különböző biomassza elgázosítási folyamat eredményeként keletkező szintézisgázok (szingázok) vizsgálatára került sor. A biomassza elgázosítása egyik lehetőség arra, hogy egy jó minőségű gáztüzelőanyagot kapjunk, amely kitűnő tüzelési és emissziós tulajdonságokkal rendelkezik. Bármely, eddigiekben ismert, termikus gázosítási eljárás alkalmas a biomassza elgázosítására is. A folyamat során a biomasszához vizet, levegőt (vagy oxigént) kevernek, és reaktorban hevítik. A parciális oxidáció során keletkezett termék gáz tisztítás után szén-monoxidot, hidrogént és metánt tartalmaz. Amikor levegő az elgázosító közeg, a keletkezett gáz nitrogént is tartalmaz. Néhány eljárás hidrogént használ gázosító közegként. A biomassza pirolízise során oxidáló közeg távollétében történik a nagy hőmérsékletű hevítés. Az elgázosítási eljárások sokféleségét legrészletesebben a **K5** és **K11** közlemények mutatják be.

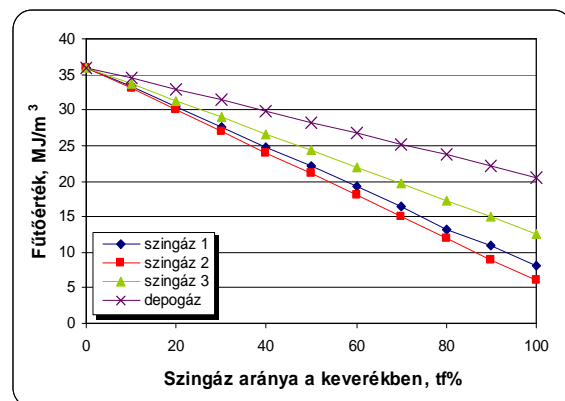
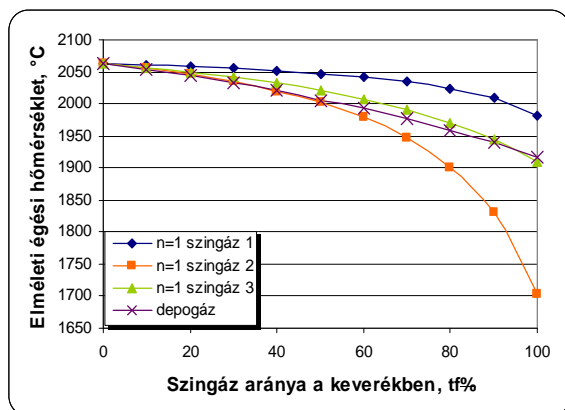
A kísérleteinkhez elsőként választott szingáz összetétele (továbbiakban: *szingáz1*) leginkább a pirolízis gáznak vagy az oxigénnel gőz jelenlétében történő elgázosítás termék gázának felelt meg: CO₂ 25%, N₂ 5%, CO 30%, H₂ 40% (H_u: 8097 KJ/m³). Ennél a nagy H₂ tartalmú gáznál mértük azt is, hogy szingáz1-földgáz keveréknél miként változik a lángterjedési sebesség és az alsó és felső gyúlási határ értéke növekvő szingáz bevitel hatására (**K5, K8 és K9** közlemények).

A **K6-8** közlemények a depogázzal összehasonlítva összefoglalóan mutatják be a szingáz1 mérési és számítási eredményeit. A mérések során a füstgáz NO_x és CO₂ tartalmának változását vizsgáltuk elsősorban.

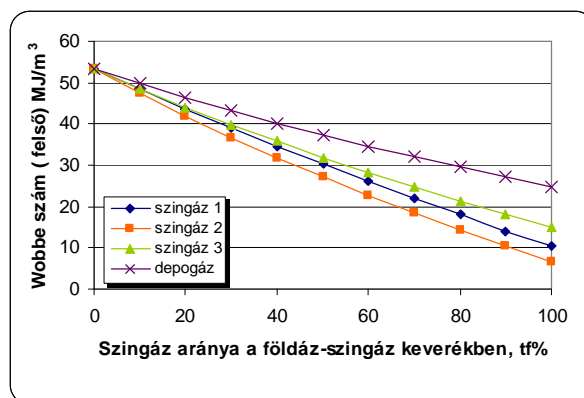
A következő kísérleti szakaszban egy kis fűtőértékű, nagy nitrogén tartalmú szintézis gázt vizsgáltunk (*szingáz2*: CO₂ 10%, N₂ 50%, CH₄ 5%, H₂ 10%), amely a levegővel történő elgázosítás jellemző termékéja. Az összefoglaló eredményeket a **K9** közlemény szemlélteti a szingáz1-el történő összehasonlításban.

Utolsó mérési sorozatunkat egy olyan pirolízis gázzal végeztük, amely a többi gázhoz képest nagy metán tartalommal és nagy szén-dioxid tartalommal rendelkezik (*szingáz3*: CO₂ 35,8%, CH₄ 21,2 %, CO 19,7%, H₂ 23,3%). A kísérleti eredményeket a **K10-11** közlemények mutatják be.

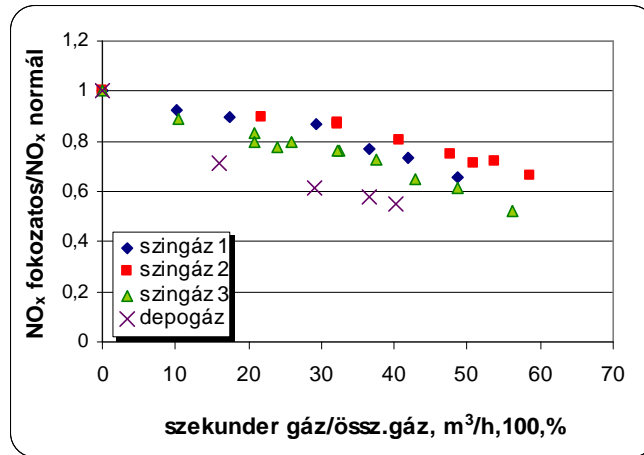
Miután a mellékelt közleményekben a számítási és kísérleti eredmények összehasonlítása részletekben történt, a kísérleti lépcsőknek megfelelően, az alábbiakban összefoglaló ábrákat mutatunk be mind a négy kísérleti gázra vonatkozóan, a legfontosabb eredményeket kiemelve.



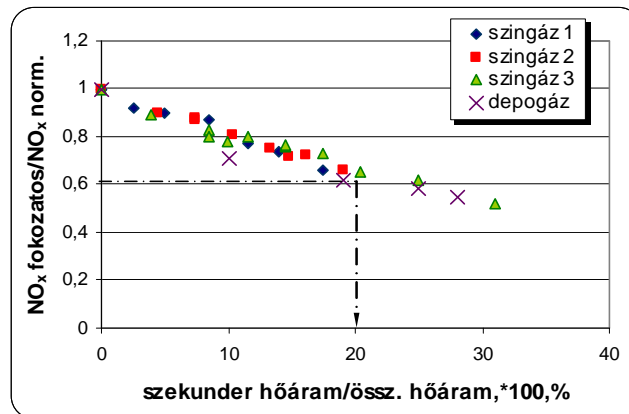
Földgáz-biogázok keverékénél a biogáz arány növelésének hatása az elméleti égési hőmérsékletre és a fűtőértékre



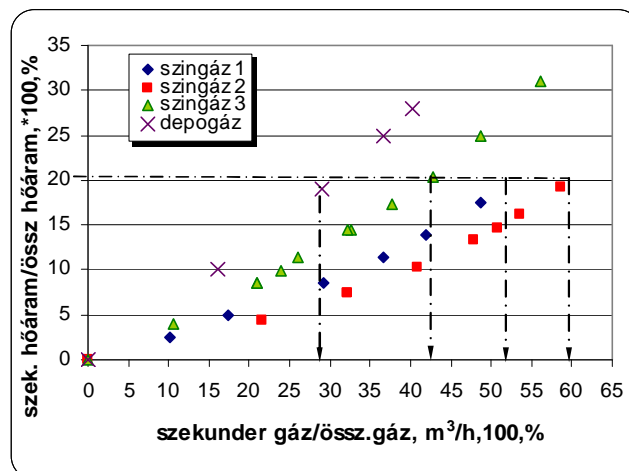
Földgáz-biogázok keverékénél a biogáz arány növelésének hatása az égésmelegből számított ún. felső Wobbe számra



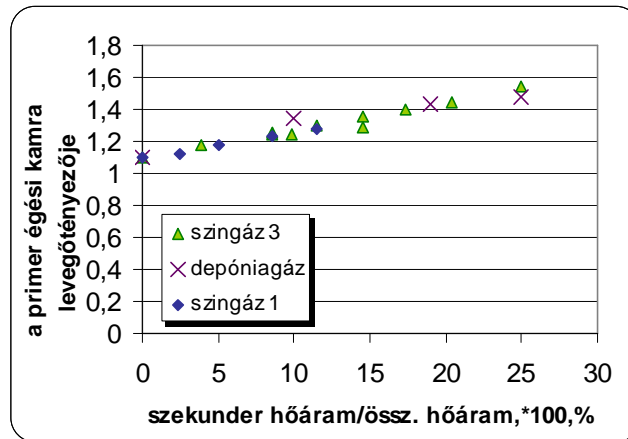
A NO_x csökkenés mértéke a szekunder gázáram függvényében
(földgáz-szingáz 1-2-3; földgáz-depóniagáz)
($\phi=20$ kW; $T_{\max}=1050$ °C; $n=1,1$)



A NO_x csökkenés mértéke a szekunder hőáram függvényében
(földgáz-szingáz 1-2-3; földgáz-depóniagáz)
($\phi=20$ kW; $T_{\max}=1050$ °C; $n=1,1$)



A hőáram változása a szekunder égési kamrában a szekunder gázáram függvényében



A primer égési zóna levegőtényezője a szekunder hőáram függvényében

Összefoglaló következtetések

Kísérleteink alapján megállapítható, hogy biomasszák elgázosítása során kapott bármelyik vizsgált termék gáz (szingáz1-2-3) valamint a depogáz biztonságosan elégethető kétfokozatú gázbevezetéssel, csökkenő NO_x képződés mellett.

Fokozatos tüzelési kísérleteink és környezetvédelmi vizsgálataink alapján megállapítható, hogy a szingázok és a depogáz (összefoglalóan: biogáz) energetikai célú felhasználásakor 40-60% biogáz tartalmú biogáz-földgáz keverék ajánlható a keverék kémiai hőjének hasznosítása során. Hátrányként említhető meg a biogázok nagy CO_2 tartalma miatt, az ajánlott keverékek elégetése során keletkező füstgáz nagy CO_2 tartalma. Ez a CO_2 tartalom azonban rendhagyóan értékelendő, mert a biomasszák ill. a biomasszákból származó gázok esetében a megújuló energiahordozókra érvényes „különleges elbírálásban” részesül.

60% biogáz tartalom felett már jelentős az eltérés a tiszta földgázhoz viszonyított tüzelési paraméterek vonatkozásában, a CO_2 kibocsátásnál, ugyanakkor a NO_x képződés csökkenése ezen érték felett már kisebb mértékű.

Ha a négy különböző biogázzal folytatott méréseinket összehasonlítjuk, megállapíthatjuk, hogy ugyanazon szekunder hőáram biztosítása mellett, közel azonos mértékű NO_x csökkenés tapasztalható bármelyik kísérleti gáz és földgáz elégetésekor. Pl. 40%-os NO_x csökkenés 20%-os szekunder hőárammal biztosítható.

20%-os szekunder hőáram arány kb. 52%-os szekunder térfogatáram arányú nagy H_2 tartalmú szingáz1-el, kb. 28% nagy CH_4 tartalmú depónia gázzal, kb. 60% szingáz2-vel és kb. 43% szingáz3-al érhető el, amelynek alapvető oka a fűtőértékek jelentős különbsége.

A kísérletek alapján az is megállapítható, hogy a NO_x csökkenése szempontjából meghatározó szerepe van a primer égési zóna levegőtényezőjének,

A biogázok (szingázok, depogázok) és a földgáz kombinált hasznosítása reális lehetőség nemcsak gázmotoroknál, hanem a már létező fosszilis tüzelési rendszereknél is.

A kutatás eredményeiből, a közleményeken kívül, készült egy I. díjas TDK munka, egy diplomamunka és jelenleg egy doktorandusz hallgató folytat PhD kutatásokat a témában.

Szakirodalom

- [1] Nussbaumer, T.: Field Investigation on NO and Particulates from Biomass Combustion and Relevance for Life Cycle Assessment. ISBN 88-900442-5-X. Twelfth European Biomass Conference. Amsterdam, 2002 p. 868-871
- [2] Biomass Gasification Technology and Utilisation. Gasification Process. ARTES Institute, University of Flensburg <http://mitglied.lycos.de/cturare/bio.htm>
- [3] Bridgwater, AV.: Fast Pyrolysis of Biomass for Fuel and Chemicals. ISBN 88-900442-5-X. Twelfth European Biomass Conference. Amsterdam, 2002 p. 385-388
- [4] Jan Jensen, Owe Jönsson: Adding Gas from Biomass to the Gas Grid, Danish Gas Technology Centre a/s, Swedish Gas Center. Final Report. Time period: July 1999-February 2001
- [5] Gázhalmazállapotú levegőszennyezők képződésének feltételei parciális égésnél. OTKA kutatási jelentés. Miskolci Egyetem, Tüzeléstan és Hőenergia Tanszék. Miskolc, 2000. p.64
- [6] Wopera, Á., Szűcs, I., Wagnerova. E.: Utilization of Biogas. 2nd World Conference of Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Roma, 2004. p.4
- [7] Meggyes, A., Bereczky, Á, Kovács, V: Effect of Different Gas Compositions and Combustion Circumstances on the Operation of Heat Engines. Heat Engines and Environmental Protection. Proceedings. Balatonfüred, 2005. p. 88-95.
- [8] Wopera, Á., Mikó, J.: Combustion of Natural Gas-Syngas by Staged Firing Heat Engines and Environmental Protection. Proceedings. Balatonfüred, 2005. p. 1135-142.

Hivatkozott közlemények

- K1.** Kapros, T., Szűcs, I., Wopera, Á: *Fosszilis energiahordozók környezetbarát eltüzelése*, Miskolci Egyetem Közleménye. A sorozat, Bányászat, 67. Miskolci Egyetemi Kiadó, p.14., 2004
- K2.** Wagnerová, E., Wopera, Á: *Vlastnosti a využitie skládkového plynu.*, Alternativni Energie. 5. p. 12, 2004
- K3.** Wopera, Á., Szűcs, I., Wagnerova. E.: *Utilization of Biogas*, 2nd World Conference of Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Roma, p.4., 2004
- K4.** Wopera, Á., Nagy G., Wagnerova, E.: *Kibocsátási paraméterek laboratóriumi vizsgálata földgáz-biogáz vegyestüzelés esetén.*, IV. Környezettudományi Tanácskozás. Győr. p.58-64., 2004
- K5.** Valler Krisztina, Woperáné Serédi Ágnes: *Biomassza elgázosításából származó szintézisgáz hasznosításának lehetőségei*, ME Műszaki Anyagtudományi Kar, Tudományos Diákköri Konferencia Kiadványa, Miskolc, 2005, p.170-189.
- K6.** Wopera, Á., Mikó, J.: *Combustion of Natural Gas-Syngas by Staged Firing*, 7 th International Conference on Heat Engines and Environmental Protection. Balatonfüred. p.135-142, 2005

K7. Wopera, Á., Szűcs, I., Szemmelveisz, K.: *Combustion of Natural Gas-Syngas by Low NO_x-Formation*, 14th European Biomass Conference & Exhibition. Paris. p.1-4., 2005

K8. Woperáné dr. Serédi Ágnes, Valler Krisztina: *Biomassza elgázosításából származó szintézisgáz hasznosítása*. Magyar Energetika, 2006, XIV. évfolyam. 3. sz. p.7-12.

K9. Krisztina Valler, Ágnes Wopera, Árpád B. Palotás: ECM-Kréta *Co-combustion of Synthesis Gas and Natural Gas*, 3rd European Combustion Meeting, ECM 2007. Proceedings. Crete, Greece, 2007.

K10. Á. Wopera, K. Valler, E. Wagnerová: *Combustion of Syngases with Natural Gas*, 15th European Biomeass Conference & Exhibition, Berlin, 2007. (megjelenés alatt)

K11. Wopera, Á., Valler, K., Palotás, Á.B.: *Combustion of various compound synthesis gases with natural gas*. 8th International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, ISBN 9789634209072, Balatonfüred, 2007, p. 57-62.