

Fagázgenerátor üzemű bio-kiserőmű (CHP) és öntözőberendezés

Madár Viktor, PYROWATT Kft. – Tóth László, SZIE GÉK (FOMI)

A biomassza mint megújuló energiaforrás hatékony felhasználása igen fontos a globális felmelegedés és az erőforráshiány szempontjából, valamint egy, már jól ismert és sokszor megfogalmazott probléma. A kis és közepes teljesítményű rendszerek kedvező villamos hatásfokainak köszönhetően a biomasszagazosítási eljárások igen ígéretes technológiáknak számítanak a többi kapcsolt hő- és energiatermelő (kapcsolt energiatermelő) eljáráshoz képest. A biomasszaelgazosítás és a belső égésű motorok alkalmazása jó megoldás decentralizált kapcsolt energiatermelő erőművek esetében [4]. Más, égesen alapuló, kapcsolt energiatermelő technológiákkal összevetve az alacsonyabb teljesítményszinteken jobb villamos hatásfok és villamosenergia/hőenergia arányok jellemzik [3]. A kis teljesítményű biomasszaelgazosító erőművek fajlagosan nagy teljesítménnyel, kis hőteljesítménnyel rendelkeznek, ezzel jó kiindulási alapot nyújtanak a hazai stabil üzemű berendezések (mint például az öntözőszivattyúk, pelletálóprések meghajtása) dízel- és elektromos motorjainak kiváltásához.

Szilárd biomasszák elgazosítása

Az elgazosítási technológia megjelenése óta számos különböző kialakítású gázgenerátor jelent meg a piacon. A gázgenerátorok kialakítása igen egyszerű, a bennük lejátszódó különleges vegyi folyamatok összetettek [1]. Elgazosítást végezni egyszerű feladat, viszont azt optimálisan, magas hatásfokkal üzemeltetni úgy, hogy magas minőségű generátorgáz keletkezzen már nem az.

A szilárd tüzelőanyagok termokémiai úton történő elgazosításakor elkerülhetetlenül keletkezik kátrány, aminek mennyisége és minősége függ a gázgenerátor típusától és a benne zajló folyamatok jellemzőitől. A kátrány eltávolítására összetett gáztisztító berendezésekkel kell ellátni a gázgenerátort, ami csökkenti energiahatékonyságát, valamint növeli a befektetés és az üzemeltetés költségeit.

A többfázisú fix ágyas elgazosítási technológia olyan alacsony kátránytartalmú generátorgáz előállítására képes, amely köz-

vetlenül elégethető a belső égésű motorban [4]. Ezért nincs szükség nedves gáztisztító berendezésre, kátránykicsapatóra és így szennyvíztisztítóra sem. Ezzel egyértelműen növeli a kis és közepes méretű erőművek gazdasági hatékonyságát.

Alacsony kátránytartalmú fagázgenerátor fejlesztése és mérései

A több fázisú fix ágyas rendszer működésének lényege, hogy egymástól független reakcióterek segítségével választja szét rész-folyamataira (szárítás, pirolízis, oxidáció, redukció) az összetett átalakítási termokémiai folyamatot, így téve sokkal szabályozhatóvá az egyes részfolyamatokat. A rész-folyamatok szétválasztásának köszönhetően a rendszer jó minőségű generátorgázt képes előállítani, mivel kiküszöböli a nem egyértelműen elhatárolt reakciózónákkal járó, a generátorgáz minőségére hátrányos hatásokat, amelyek a felfelé és a lefelé áramoltató elgazosítási eljárásoknál elkerülhetetlenül jelen vannak.

Az első lépés az alacsony hőmérsékletű pirolízis. A következő magas hőmérsékletű pirolízis után elkülönülnek a keletkezett szilárd (koks) és gáznemű (pirolízis gáz) anyagok.

A nagy mennyiségű kátrányt tartalmazó pirolízis gáz oxidációja részben már az égésterben végbemegy, hogy annak kátránytartalma az ott lezajló kémiai reakciók útján csökkenjen. Olyan égésteret alkalmaznak, amelyek hőmérséklete, légkeverése, tüzelőanyag-visszatartási ideje állítható. A részleges elégetés lépésén belüli oxidáció a változtatható magasságú faszén ágy fölötti zónában megy végbe, ahonnan a forró gázok átvezetődnek az izzó faszéren, ahol a gázok már nem vesznek részt a redukációs folyamatban [2].

A felszabadított energia arra szolgál, hogy fenntartsa a pirolízis faszéren lejátszódó endoterm redukációs folyamatot, mely ezt a faszénet generátorgázzá redukálja, a részleges oxidációból származó gáznemű égéstermékek segítségével.

A gázgenerátorból kilépő nagy hőtartalmú gáz energiájának nagy része visszanyerésre kerül azáltal, hogy a magas hőmérsékletű pirolízishez szükséges hő létrejöttét segíti és az oxidációs folyamat levegőjét előmelegíti.

Az elmúlt években a többfázisú rendszerek fejlődése eltérő irányokba folyt, viszont mindegyiknél megfigyelhető (értelem-szerűen) a reakciós és a konverziós zónák (a szárítás, a pirolízis, a részleges oxidáció és a redukció zónái) elkülönítése. A létrejött berendezéseknél fellelhető főbb eltérések:

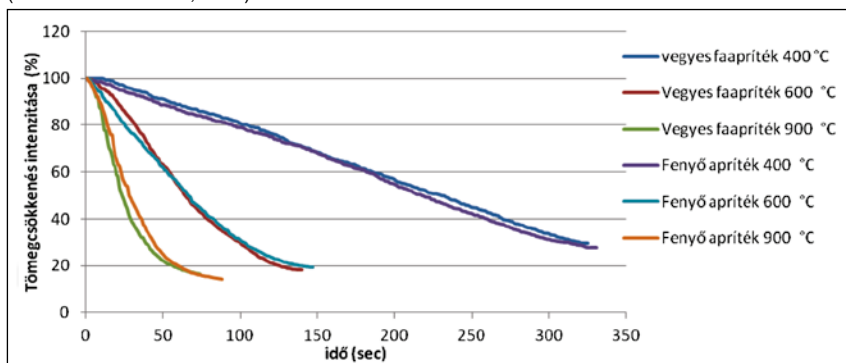
- az adagolóberendezések kivitele és
- a részleges oxidációs zónák, valamint
- a kiszolgáló részegységek kialakítása.

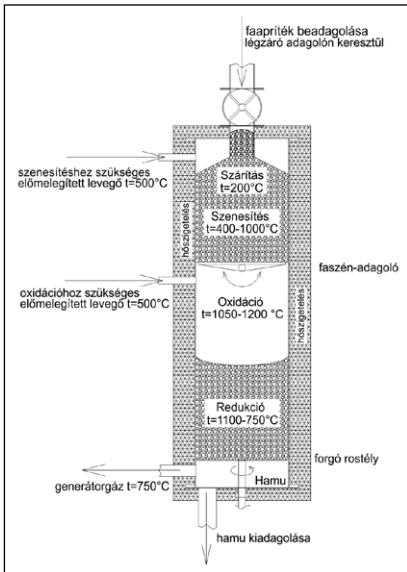
A modern, többfázisú rendszerek tanulmányozása alapján a hazai specifikumoknak megfelelő gázgenerátor fejlesztésébe kezdünk. A fejlesztés fő célja egyszerű működésű, alacsony kátránytartalmú generátorgázt előállító berendezés kialakítása volt.

A gázgenerátorral szembeni követelmények:

- A generátorgáz magas fűtőértékkel, tehát magas H_2 - és CO -tartalommal rendelkező.
- A keletkezett generátorgáz kis kátránytartalommal rendelkezzen ($0,1\text{g}/\text{Nm}^3$ az el-

1. ábra A száraz faapríték termikus bomlása inert atmoszférában különböző hőmérsékleteken az idő függvényében termogravimetriás analízissel (Tóvári P. – Madár V.; 2011)





2. ábra A gázgenerátor elvi sémája

fogadható maximális koncentráció, de ennél előnyösebb a 0,05 g/Nm³ alatti szint).
 – A szén teljesen égjen el (>95 %), mely segíti a folyamat kedvező hatásfokát.
 – A tüzelőanyag akadálytalanul áramoljon a hamutér irányába.
 – Hatásfokvesztés nélküli reagálás a terhelések változására.

A kísérleti berendezés és a végzett vizsgálatok

A jelenlegi fejlesztési fázisban a célunk a tartózkodási idők meghatározása volt. A mérési sorozatokat 3 hőmérsékleten, 400, 600 és 900 °C-os értékeken végeztük el. A hőmérsékletválasztás azért esett erre a három értékre, mert a mérvado irodalmi források, valamint a méréseink szerinti technológiai paraméterek alapján ezek bizonyultak optimálisnak (1. ábra). A 400 °C érték az első hőmérsékleti tartomány középtétele, ahol a száradás már befejeződött, s az illóanyag-tartalom nagy százalékban eltávozik az anyagból. A 600 °C-os érték egy energetikai optimumpont, azaz az illóanyagok szintén eltávoznak ezen a hőmérsékleten, valamint már elegendő a termokémiai folyamatok teljes körű lefolyásához. Ezzel a teljes gázosító rendszer energiaigényét tudjuk csökkenteni, amely az üzemeltetés gazdaságosságát javíthatja. A 900 °C-os értéken a termokémiai reakciók, valamint a gázösszetétel a legjobb értékeket mutatta. A mérések szerint a fafajta szerint nem mutatható ki különbség a gázosodási intenzitás szempontjából, azaz az eltérő fajtájú faaprítékoknál közel azonos az intenzitás és a pirolízis idő.

A méréseknél 9 % nedvességtartalmú, 200 kg/m³ halmazsűrűségű faaprítékokat használtuk, de a gázgenerátorba esetlegesen magasabb nedvességtartalmú vagy alacsonyabb halmazsűrűségű tüzelőanyag (mezőgazda-

1. táblázat Tervezett gyártási mérték paramétere

Fagázgenerátoros kísérőmű mérete	50 kWe	100 kWe	200 kWe	500 kWe
Villamos teljesítmény (kW)	50	100	200	500
Hő teljesítmény (kW)	100	200	400	1000
Éves üzemidő (h)	7000	7000	7000	7000
Éves tüzelőanyag szükséglet (t) (30%-os nedvességtartalmú apríték)	385	770	1540	3080
Éves CO ₂ -kibocsátás (t)	294	588	1176	2940
Éves elektromos áram termelés (MWh)	350	700	1400	3500
Éves hőtermelés 3000h értékesítés (fűtés) esetében (GJ)	1075	2150	4300	10750
Éves hőtermelés 7000h értékesítés (GJ) (fürdők, ipari folyamatos hőhasznosítás pl. húsfeldolgozó, granulátumszárító, pelletáló stb.)	2500	5000	10000	25000
Létrehozott munkahelyek száma (közvetlen+közvetett)	1+1	1+1	1+2	2+3

sági melléktermékek, pl. repceszalma, kukoricaszár) alkalmazhatósága érdekében a tartózkodási időt 500 s-ra határoztuk meg. A gázgenerátorban (2. ábra) a szénésítéshez szükséges hőt a tüzelőanyag szénésítése közben keletkező pirolízisgázok részleges elégetésével biztosítottuk. A szénésítési zónában a stabil égés fenntartása érdekében előmelegített levegőt vezettünk, mert ha a lángfront a zóna aljában alakul ki, akkor a tervezetthez képest jóval kevesebb idő fordítódik a tényleges szénésítésre. A szénésítéshez szükséges levegő az elgázosítási mennyiség 35-50 %-a, a tüzelőanyag nedvességtartalmától függően. A szénésítésből származó pirolízis gázok részleges oxidációját faszéntől mentes légüres térben végezzük. Így biztosítható a pirolízisgázok és a levegő nagyfokú keveredése, az alacsony hőmérsékletű terek kialakulásának elkerülése. Az oxidációs zóna minimális hőmérséklete 1050 °C, ahol már megtörténik a kátrányösszetevők részleges krakkolása, az energetikailag még megfelelő maximális hőmérséklet 1200 °C.

A terheléstől függetlenül a redukciós zónában a forró gázok tartózkodási idejét közel állandó értéken célszerű tartani, ezért a redukciós zóna szintje a faszénadagolás intenzitásával szabályozható. A redukciós zóna alján keletkező hamu, forgó rostéllyal jól eltávolítható. A rostély mozgását a

3. ábra A kísérleti PYROWATT berendezés kiviteli példája



dukciós zóna nyomásesésének megváltozása (magnövekedése) alapján szabályozzuk.

A keletkezett generátorgáz fűtőértéke 4,5-5,2 MJ/Nm³, összetétele:

- 22-26 % H₂
- 17-19 % CO
- 0,7-1,5 % CH₄
- 10-12 % CO₂
- 42-51 % N₂

A felhasználható tüzelőanyagok:

- kemény- és puhafa-aprítékok, fűrészsüzem hulladékok, erdőművelési növedékek
- energetikai ültetvények: energiafűz, energianád, energianyár
- mezőgazdasági melléktermékek: kukoricaszár, repceszalma, napraforgószár, gyümölcsfanyesedék, szőlővenyige, szárított baromfitrágya

A rendszer tervezett tüzelőanyag-fogyasztása: 11 MJ/kg fűtőértékű, 30 %-os nedvességtartalmú aprítékból 1,1 kg/kWh_e.

A keletkezett generátorgáz kémiai energiája magas hatásfokú motorokban történik hő és villamos energia átalakításra (1. táblázat). A rendszer nagyobb, mint 11 MJ/kg fűtőértékű biomasszából tervezett elektromos hatásfoka 30 % és tervezett termikus hatásfoka 45 %.

A fagázmotor fejlesztését a speciális gázokra (biogáz, depóniagáz, termálvíz kísérő gáz) szakosodott gázmotorépítő cég, a KOMMON KFT. végezte. A gázmotoros kísérletekhez egy meglévő dízelmotoros

4. ábra A fagáz gázmotor (40 kWe – prototípus) kiviteli példája



2. táblázat Összehasonlító táblázat dízel és fagázgenerátoros költségekre

Teljesítmény/ típus	Dízel öntözőszivattyú DC67MSTD23-P1002AS	Fagázgenerátoros öntözőszivattyú
Motor	IVECO turbófeltöltéses, 6 hengeres, 6,7 l lökettérfogatú	Kommon V8 fagázmotor, turbófeltöltéses, 8 hengeres, 14,8 l lökettérfogatú
Teljesítmény (LE/kW) n=1750 1/min fordulatszám	163/120	176/130
Szivattyú	Cadoppi – P1002AS	Cadoppi – P1002AS
Max emelőmagasság(m) / vízhozam (m ³ /h)	108/240	108/240
Fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás	210 g/kWh	1,1 kg/kWh
Óránkénti tüzelőanyag-fogyasztás	25,2 kg/h; 29,64 l/h	130 kg/h
A tüzelőanyag fajlagos ára	346 Ft/l + áfa	14 Ft/kg + áfa
Óránkénti tüzelőanyag-költség	10255 Ft + áfa/h	1820 Ft + áfa/h
Éves 1200 órás üzemeltetés esetén a tüzelőanyag ára	12.306.000 Ft + áfa	2.184.000 Ft + áfa
A berendezés ára hőhasznosítás nélküli folyamatos üzemre	6.129.000 Ft + áfa	33.000.000 – 44.290.000 Ft + áfa

TEKSAN TJ68-as aggregátoregységet alakítottunk át. A motor típusa Perkins licenc alapján gyártott Lovol 1004tg turbófeltöltéses dízelmotor, 65 kW folyamatos teljesítménnyel, amely közvetlen tengelykapcsolattal hajt egy 68 kVA-es Marelli szinkrongenerátort. Az átalakítás során a befecskendezőfűvőkák helyére gyújtógyertya, a szívócsonkhoz fojtószelep került elhelyezésre és sűrítési viszonzszámot csökkentettük a gyári 17,5:1-hez képest 12:1- hez értékre. A motorvezérlését Woodward Esygen vezérlő végzi.

A gázgenerátorból 650-750 °C-on kikerülő generátorgáz első lépcsőben egy ciklonba jut, ahol a faszén, a hamu nagyobb frakciójú részei leválasztódnak. A második lépcsőben centrifugális vizes mosásra kerül sor, ahol a finomabb részek is leválasztódnak és a gáz 150-250 °C-ra hűl le. A gázban található kondenzvíz leválasztása vízhűtési csöves hőcserélőben történik. A gázmotor keverékszabályozását nullnyomás-szabályzó végzi. Az ehhez szükséges 30 mbar túlnyomást, valamint a reaktor és a gázkezelő rendszer nyomásvesztésének legyőzését az oldalcsatornás fűvő biztosítja.

A gázmotorral elért eredményeink.

- Szívó üzemben 1,1-es légfelesleg tényezővel 23 kW elektromos teljesítmény, 32 %-os elektromos hatásfok.
- 120 kPa-os töltőnyomással 1,4-es légfelesleg tényezővel 50 kW elektromos teljesítmény, 33 %-os elektromos hatásfok.

A bemutatott, s a kísérletek tárgyát képező fagázmotoros villamos generátor az országos hálózatra termel villamos energiát, a keletkezett hulladékot a helyszínen kell hasznosítani, mint minden kogenerációs (CHP) rendszernél. Tehát leginkább ott lesznek gazdaságosak, ahol a hő is teljes egészében gazdasági célokra felhasználható lesz.

További fejlesztések

Fagázgenerátoros öntözőszivattyú

A rendszer kialakításánál érdemes figyelembe venni, hogy a gázmotor direkt hajtással alacsonyabb veszteséggel hajthatja az öntözőszivattyút, mint ha elektromos áramot termelnék és azzal hajtánánk egy villanymotoros öntözőszivattyút. Ezért célunk, hogy direkt meghajtású fagázgenerátoros öntözőszivattyút hozzunk létre (2. táblázat).

Felhasználása főként dízel öntözőszivattyúk kiváltását teszi lehetővé, tekintve, hogy a berendezés egy alvázra építésével mobilizálható. Üzemeltetése az elektromos öntözőtelepeknél is kedvezőbb, mivel 1,1 kg faaprítékból állít elő 1 kWh tengelyteljesítményt, így azonos teljesítményre vetítve a tüzelőanyag ára az elektromos áram árának csupán 50 %-a és nincs a fogyasztáson felüli alapdíj- vagy teljesítménydíj-fizetési kötelezettség sem.

A hálózatra tápláló erőmű (kalkulált) fajlagos ára 1.000.000 Ft/kWe (elektromos teljesítmény). Ezek a berendezések tartalmaznak a hőhasznosításhoz szükséges hőcserélőket, hálózati csatlakozáshoz szükséges vezérlő- és kapcsolóelektronikákat is. Öntözés esetében a berendezés várható fajlagos ára 330.000 Ft/kW_{meh} (tengelyteljesítmény).

Értékelés

A prototípus egység alapján megkezdődik a rendszer szériagyártása. A villamos generátor 7000 h/év üzem esetén az eladott villamos energia és a felhasznált tüzelőanyag árkülönbsége 4,5 millió Ft, s további 3,0-3,5 millió Ft származik a hő eladásából. Összesen 7-8 millió Ft a várható bevétel + a CO₂-megtakarítás. Ezzel a beruházás megtérülése 5-7 év, ami jelentősen csökken, ha a villamos energiát saját célra hasznosítjuk,

ill. a tüzelőanyag saját forrásból, esetleg hulladékból származik.

A szivattyút hajtó berendezés adataiból látható, hogy 4-5 év alatt megtérül, miközben a helyben termelt anyagokat felhasználhatóvá teszi, a bio-üzemanyag révén kisebb a CO₂-kibocsátás, és új munkahelyek jönnek létre.

A *PYROWATT KFT.* célja a rendszer komplett gyártása, amelyhez korszerű automatizálást párosít. Már a kísérleti egységek vezérlése is PLC technológiával valósult meg, amely a szériagyártásba is átkerül.

Summary

The gasification of biomass with the application of internal-combustion engines is a good solution for the decentralized power stations of co-generation energy production. In comparison with other co-generation technologies based on combustion, better electric efficiency and more advantageous electric/heat energy ratios characterize the solution. In the course of the development, we built a system like that and tested its technical parameters.

Lektorálta: Dr. Schrempf Norbert PhD

Irodalom

- [1] Fock F., Henriksen U., Houbak N., Thomsen K. : (2002) Demonstration of the vortex process for biomass gasifiers Poster and paper V2.82 in proceedings of 12th European Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Amsterdam, pp. 670-676
- [2] Venselaar J.: Design rules for down draft wood gasifiers a short review, 1982
- [3] Kaupp, A., Goss, J. R., 1981 State of the Art for small Scale (to 50 kW) Gas Producer-Engine Systems, Final Report, U.S.D.A., Forest Service, March, Chap 5.
- [4] Henriksen, U., et al.: 2006. The design, construction and operation of a 75 kW two-stage gasifier. Energy, 31: p. 1542-1553.
- [5] Tóvári P. – Holló E. – Madár V.: 2011. Laboratóriumi mérőkör fejlesztés biomassza gázosíthatóságának modellezésére, különös tekintettel a lágyszárú tüzelőanyagokra. Zöldenergia termelés és hasznosítás rendezése c. Tudományos konferencia, Gyöngyös, Konferenciakiadvány (ISBN 978-963-9941-24-3)
- [6] Tóvári P.- Madár V.: 2011 Gasification experiments on herbaceous biomass, Synergy in the Technical Development of Agriculture and Food Industry (Synergy2011) Gödöllő, Hungary, Disk ISBN: 978-963-269-250-0