

FAGÁZOSÍTÁS ENERGETIKAI HATÉKONYSÁG- VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ GÁZOSÍTÓ KÖZEGEK ALKAMAZÁSÁVAL

ENERGY EFFICIENCY ANALYSIS OF WOOD GASIFICATION USING DIFFERENT GASIFYING MEDIUMS

Bodnár István

Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszék; H-3515 Magyarország, Miskolc- Egyetemváros; Telefon / Fax: +36-46-565-168, vegyibod@uni-miskolc.hu

Abstract

This paper presents the Energy Efficiency Analysis of the wood gasification in case of different gasifying mediums. I will describe in detail the chemical composition of different types of trees and the heating value. On the basis of the wood's chemical composition and of the reaction equation I have made an approximate model, which helps to specify the resulting synthesis gas' chemical composition and the energetic properties. The basis of the model is an energy calculation, and it can be easily solved numerically. I have applied the model and I analysed some types of trees.

Keywords: *gasification, wood-gas, chemical composition, energy efficiency analysis.*

Összefoglalás

A tanulmány a tűzifa gázosításának energetikai hatékonyságát mutatja be különböző gázosítóközeg alkalmazása esetén. Részletesen ismertetem a különböző fafajták kémia összetételét és az energiatartalmát. A fa kémiai tulajdonságainak és a reakcióegyenletek függvényében készítettem egy közelítő modellt, aminek a segítségével meg tudom határozni a keletkező szintézisgáz kémiai összetételét és energetikai tulajdonságait. A modell energetikai számításon alapul és numerikusan könnyen megoldható. Alkalmaztam a modellt és megvizsgáltam néhány jellegzetes fafajtát.

Kulcsszavak: *gázosítás, fagáz, kémiai összetétel, energetikai hatékonyság vizsgálat.*

1. Bevezetés

Az erőmű-energetikában egyre nagyobb szerepet kapnak azok a technológiák, amikkel hatékonyabban lehet villamos energiát előállítani. Magyarország éves villamosenergia-fogyasztása 2014-ben 43,3 TWh volt, a fogyasztási igényre pedig évente 1,3%-os növekedés jellemző. Az előrejelzések szerint a fogyasztás 2020-ra elérheti a 46,2 TWh-t. A hazánkban termelt villamos energia 14%-a szén, 5,25%-a biomassza tüzelésű erőművekben került előállításra.

Ez a teljes előállított mennyiség mintegy ötödét jelenti, ezért célszerű ezeket az energiahordozókat hasznosító erőművek, hatékonyságának növelésében gondolkodni. A villamos hatásfok javításának egyik módja a termikus hatásfok növelése. Rankine-Clausis-körfolyamatot (RCk) alkalmazó erőművek esetén a termikus hatásfok javítása megvalósítható a kondenzátorban uralkodó hőmérséklet csökkentésével, vagy az elgőzöltető nyomásának, illetve hőmérsékletének emelésével. További lehetőség az újrahevítés, és a tápvíz előmelegítés [1].

Korszerűtlen rendszereknél a gőzkazán, vagy a gőzturbina cseréjével is tudunk hatásfokot növelni. Ezekkel a megoldásokkal csak kismértékben növelhető a villamos hatékonyság, ezért célszerű új megoldások, új technológiák alkalmazása. Jelentős hatékonyság-javulást gázosítási technológia és Diesel-körfolyamat alkalmazásával érhetünk el. A gázosítás lehetővé teszi, hogy a szilárd tüzelőanyagból, gáz halmazállapotú energiahordozót állítsunk elő, ezzel biztosítva a technikai körfolyamat váltást [2]. Diesel-körfolyamat alkalmazásával a villamos hatásfok akár két és félszerese is lehet az RC körfolyamaténak. Ennek köszönhetően az energiaforrásainkat hatékonyabban tudjuk hasznosítani, így csökkenthető a fajlagos tüzelőanyag-felhasználás és szén-dioxid megtakarítás is elérhető.

2. Gázosítás modellezése

A gázosítási folyamat modellezésére egy egyszerűsített, lineáris termokinetikai modellt alkalmazunk, ami a moláris tömegmegmaradás tételén alapul. A modell alkalmazásával közelítő becslést lehet adni a keletkező fagáz kémiai összetételére, fűtőértékére és a gázosítási folyamat energetikai hatékonyságára. Mivel a modell lényege, hogy egyszerűbbé és gyorsabbá tegye a számítást, ezért számos elhanyagolással élünk a modellegyenletek felírásakor [3,4]. Elhanyagoltuk a szintézisgáz maradó oxigén- és a metántartalmát. További elhanyagolásként a fafajták egyéb összetevőit figyelmen kívül hagyjuk, valamint feltételezzük, hogy a rendszer termodinamikai egyensúlyban van. Ezek alapján a modell pontossága biztosan kisebb, mint 97%, ami jellemzően a szintézisgáz energiatartalmában jelentkezik. A modellegyenlet a tüzelőanyag egy mólyi karbon-tartalmára vonatkoztatott hidrogén- és oxigéntartalmára kerül felírásra. A modellegyenletet levegő gázosító közegnél az (1), vízgőz esetén a (2) jelű képlet mutatja. Az egyensúlyi fel-

tételeket a (3-7) képletek tartalmazzák [5,6]. Ismert: a k, az l, az n és a K.

$$CH_kO_l+n\cdot H_2O+(m\cdot O_2+3,76\cdot m\cdot N_2) = x_1\cdot H_2+ x_2\cdot CO+x_3\cdot H_2O+x_4\cdot CO_2+3,76\cdot m\cdot N_2 \quad (1)$$

$$CH_kO_l+n\cdot H_2O+(m\cdot O_2+2\cdot m\cdot H_2) = x_1\cdot H_2+ x_2\cdot CO+x_3\cdot H_2O+x_4\cdot CO_2 \quad (2)$$

Karbon egyensúly: $1=x_2+x_4 \quad (3)$

Hidrogén egyensúly levegő esetén:

$$k+2\cdot n=2\cdot x_1+4\cdot x_3 \quad (4)$$

Hidrogén egyensúly vízgőz esetén:

$$k+2\cdot n+2\cdot m=2\cdot x_1+4\cdot x_3 \quad (5)$$

Oxigén egyensúly:

$$l+n+2\cdot m=x_2+x_3+2\cdot x_4 \quad (6)$$

Víz-gáz egyensúlyi állandó:

$$K = \frac{x_1\cdot x_4}{x_2\cdot x_3} \quad (7)$$

3. A fagáz kémiai összetétele és energetikai tulajdonságai

Az elemzéseink során jellegzetes hazai fafajták gázosítási tulajdonságait vizsgáltuk. Az átlagos kémiai összetételeket az **1.** és a **2. táblázatok** tartalmazzák tömegszázalékban megadva. A nedvességtartalom minden fafajta esetében egységesen 20%.

1. táblázat. Fafajták átlagos karbon, hidrogén, oxigén és nitrogén tartalma

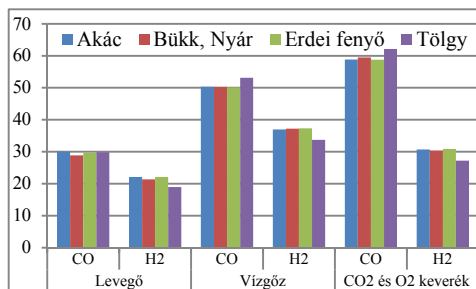
Fajta	C	H	O	N
Akác	49,5	5,9	43,3	0,4
Bükk, Nyár	51,6	6,3	41,5	0,0
Erdei fenyő	50,1	6,1	43,4	0,2
Tölgy	53,7	5,4	40,3	0,0

2. táblázat. Fafajták átlagos kén és hamu tartalma, valamint fűtőértéke

Fajta	S	Hamu	H _f MJ/kg
Akác	0,0	0,9	17,7
Bükk, Nyár	0,0	0,6	20,3
Erdei fenyő	0,0	0,2	19,5
Tölgy	0,0	0,6	21,2

3.1. Kémiai összetétel

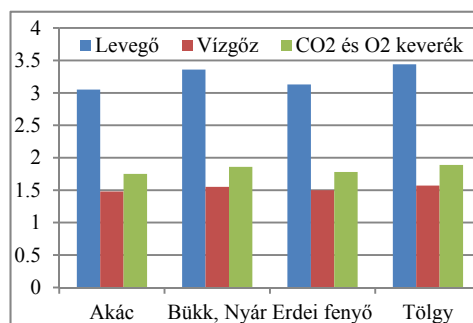
Szintézisgázokat már az 1790-es években is előállítottak fából (fagáz) és szénből (széngáz). A szintézisgáz éghető hidrogént és szénmonoxidot, valamint energetikailag inert szén-dioxidot, nitrogént, és egyéb komponenseket is tartalmaz [3]. Energia-termelés szempontból az éghető összetevők a legfontosabbak, amik növelik a gáz energia-tartalmát, ezért gázosítás során a cél ezen összetevők mennyiségének növelése. E törekvés a gázosító közeg cseréjével megvalósítható. Levegő helyett alkalmazhatunk bármilyen gázt, ami a szükséges oxigén-mennyiség mellett valamilyen formában tartalmaz hidrogént, vagy karbont. Ilyen közeg a vízgőz, valamint a szén-dioxid és oxigén keverékét. Vizsgálatunkat mindhárom közegre elvégeztük. A fagáz szén-monoxid és hidrogéntartalmát térfogatszázalékban szemlélteti az **1. ábra**. Megfigyelhető, hogy a vízgőz, valamint a szén-dioxid és oxigén keverék típusú gázosító közegek alkalmazásával, egyaránt növelhető a fagáz szén-monoxid és hidrogéntartalma. Értelem szerűen a vízgőz alkalmazása a hidrogén, a szén-dioxid és oxigén gázkeverék a fagáz szén-monoxid tartalmának növelésre fejt ki nagyobb hatást.



1. ábra. A fagáz szén-monoxid és hidrogéntartalma különböző gázosító közegek esetén térfogatszázalékban

A kémiai összetétel mellett az előállított fagáz fajlagos mennyisége is lényeges szempont (**2. ábra**). Levegő segédgáz al-

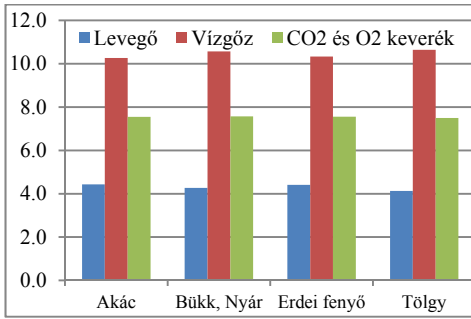
kalmazásával lehet a legnagyobb mennyiségű fagázt előállítani. Ez esetben megjelennek a ballaszt gázok, mint például a levegőben lévő nitrogén, ami ezáltal jelentősen csökkenti a fagáz energiasűrűségét, mert a gázban lévő energiamennyiség nagyobb térfogatban oszlik el, így a hasznosítása során nagyobb térfogatú motorra, vagy nagyobb sűrítési arányra lesz szükség. Mindez kiküszöbölhető, ha lecseréljük a levegőt. Vízgőz, valamint szén-dioxid és oxigén segédgáz-keverék esetén a fagáz mennyisége közel a felére csökken, ennek megfelelően az energiasűrűsége megnő. A különböző fajták gázosítása során kapott értékek között, szignifikáns különbséget nem tapasztalunk.



2. ábra. Az előállított fagáz fajlagos mennyisége $kg_{gáz}/kg_{fa}$ mértékegységben

3.2. Energetikai tulajdonságok

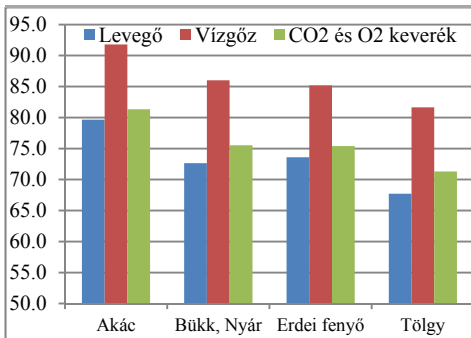
A kémiai összetétel mellett, energetikai szempontból az egyik legmeghatározóbb tulajdonság a fagáz fajlagos energiataralma (**3. ábra**). A gázosító közegek szerepe és hatása jól megfigyelhető a fagáz fajlagos energiataralmának alakulásában. Levegő segédgáz alkalmazásával a fagáz átlagos fűtőértéke $4,31 MJ/Nm^3$ -re adódott, vízgőz gázosító közeggel ez az érték megközelítőleg két és félszeresére növelhető ($10,45 MJ/Nm^3$). Hasonló tendencia tapasztalható a szén-dioxid és oxigén gázkeverék használata során is, amivel átlagosan $7,55 MJ/Nm^3$ fűtőértékű fagázt termelhetünk.



3. ábra. A fagáz fűtőértéke MJ/Nm³ mértékben

A gázosítási technológia hatékonyságát a kémiai, vagy reakció hatásfokkal jellemezhetjük (4. ábra). A reakció hatásfok megmutatja, hogy a szilárd tüzelőanyag energiataralmának mekkora százaléka jelenik meg az előállított fagáz energiataralmában. Számítási módját a (8) jelű képlet mutatja. Ahol η_r a reakcióhatásfok, m_{szg} a szintézisgáz tömegárama, és LHV_{szg} az alsó fűtőértéke, m_f a faapríték tömegárama és LHV_f az alsó fűtőértéke.

$$\eta_r = \frac{m_{szg} \cdot LHV_{szg}}{m_f \cdot LHV_f} \quad (8)$$



4. ábra. Az átalakítás hatékonysága %-ban

Az elemzés eredményei azt mutatják, hogy a legjobb reakciós hatásfok az akácfa gázosítása során érhető el, vízgőz segédgáz alkalmazásával. A legkisebb hatékonysággal a tölgyfából lehet fagázt előállítani. Összességében elmondható, hogy a levegő lecserélésével a hatásfok növelhető.

4. Következtetések

Az utóbbi években egyre nagyobb szerepet kapnak az erőművek hatékonyságának javítására, és az energiahordozóink hatékony kiaknázására irányuló törekvések. A biomassza tüzelésű erőművek alternatívája a gázosítási technológia, ami lehetővé teszi, hogy a szilárd biomasszából éghető szintézisgázt állítsunk elő, amely így nagyobb hatékonyságú technikai körfolyamatban hasznosítható. Gázosítás során, az alkalmazott segédgáz jelentősen befolyásolja a keletkező gáztermék energiataralmát. Ha levegő helyett vízgőz, vagy szén-dioxid és oxigén keverékét alkalmazzuk, akkor nem csak a fűtőérték, hanem az átalakítás hatékonysága is növelhető. A hatékonyság növelése egyben hozzájárul a környezettudatos energiatermeléshez- és felhasználáshoz.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Innovációs Gépészeti Tervezés és Technológiák Kiválóságai Központ keretében teljesült.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Bükki, G: *Erőművek*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2004.
- [2] Bodnár, I: *Biomasszából előállított szintézisgáz alternatív üzemanyagként történő alkalmazásának vizsgálata*, Multidiszciplináris Tudományok, A Miskolci Egyetem Közleménye, Miskolc, 4. kötet, 1. szám, 2014. 77-92.
- [3] Red, B. T., Das, A: *Handbook of Biomass Gasifier Engine System*, The Biomass Energy Foundation Press, 1988.
- [4] Wang, Y., Kinoshita, C. M.: *Kinetic model of biomass gasification*, Solar Energy, Vol. 51. No. 1. 1993. 19-25.
- [5] Hanaoka, T., Inoue Uno, S., Ogi, T., Minowa, T: *Effect of wood biomass components on air-steam gasification*, Biomass and Bioenergy, Vol. 28. No. 1. 2005. 69-75.
- [6] Schuster, G., Löffler, G., Weigl, K., Hofbauer, H: *Biomass steam gasification – an extensive parametric modelling study*, Bioresource Technology, Vol. 77. 2001. 71-79.