

Bodnár István

A fagáz, mint alternatív üzemanyag, környezetterhelési mutatóinak összehasonlítása az autógáz, és a benzin üzemű járművek életciklus-elemzéssel kapott értékeivel

István Bodnár:

The comparison between the environmental performance index of the wood-gas as an alternative fuel and the life cycle assessment rate of the lpg, and gasoline-powered vehicles

Summary

This paper presents the Life Cycle Assessment of the wood gas powered car. I have compared the results with the data of the gas powered cars. The wood gas powered cars will be presented from their invention up to this day. I will describe in detail the chemical composition of different types of trees, the heating value and the reaction equations of gasification. I have made a cost analysis and I have concluded that if wood gas is used as petrol, the costs can be reduced significantly.

Keywords: wood gas powerd car, life cycle assessment

ÖSSZEFOGLALÓ

A fagáz, mint alternatív üzemanyag jelenleg gazdaságos és környezetbarát megoldást jelent a jelen és a jövő üzemanyag-probléma-máinak a megoldására. A biomassza ugyan megújuló, de véges kapacitású nyersanyag, ezért alkalmazása csak korlátozott keretek között valósítható meg. A fagáz üzemanyag használata első sorban a mezőgazdaságban vehet nagy lendületet, mert ott nagy mennyiségben rendelkezésre áll az üzemanyagul szolgáló biomassza, főleg a növénytermesztés melléktermékei és hulladékaik jöhetnek számításba. A technológia továbbfejlesztése és a járművekhez való illesztése további kutatást igényel.

Kulcsszavak: fagáz, autógáz, gázvizsgálat

BEVEZETÉS

A gázosítási technológia lehetővé teszi, hogy a szilárd biomasszát és tüzelőanyagot gáz halmazállapotú energiahordozóvá alakítsuk át.

A gázosítás során keletkező szén-monoxidban és hidrogénben gazdag gázelegyet szintézisgáznak nevezünk. A gáz elégetésével ipari és lakossági hőenergia nyerhető ki, ezen kívül mechanikai- és villamos energiát is elő lehet állítani különböző motorok és forgó villamos gépek alkalmazásával. A szintézisgáz kémiai szintézisekben történő alkalmazás kiemelten megemlítenendő, hiszen a metanol ipari előállításának egyik alapanyaga. Éghető gázok fából (fagáz) és szénből (széngáz) történő előállítása az 1790-es évekre tehető. Ezeket a mesterséges gázokat első sorban a közvilágítás, valamint a nemesség és a jómódú polgárok háztartási energiaigények kielégítésére használták. Emellett az iparban és a mezőgazdaságban is alkalmazták gépek üzemeltetésére.

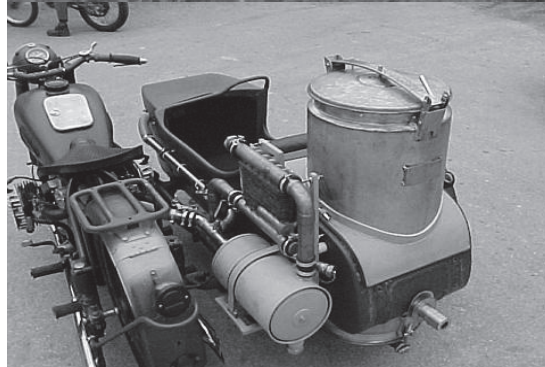
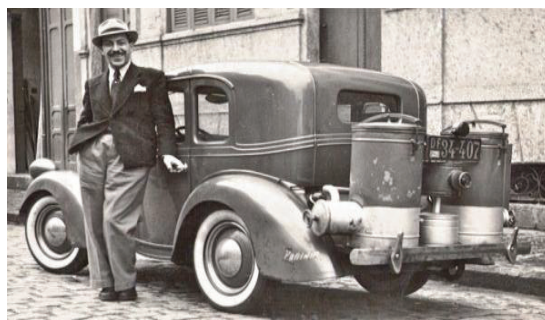
A Pennsylvániai olajmezők 1859-ben történő felfedezése hosszú évekre véget vetett a mesterségesen előállított gázok alkalmazásának. A kőolajszármazékok olcsóbbak és nagyobb energiatartalmuk miatt gyorsan elterjedtek az egész világon. Az így már feleslegessé vált gázgyárakat lebontották és elfeledték [1,2].

FAGÁZZAL MŰKÖDŐ AUTÓK TÖRTÉNETE

Az első fagázzal működő autót 1901-ben Thomas Hugh Parker tervezte és építette meg, azonban elterjedésére mintegy harminc évet kellett várni. Az 1930-as években a hadipar rohamos fejlődése és a második világháború okozta nyersanyaghiány, alternatív technológiák alkalmazását tették szükségessé az üzemanyagiparban is. A II. világháború alatt a Szovjetunió nem szállított kőolajat a németek által megszállt európai országokba.

A helyi kismértékű kitermelést a német hadsereg használta fel. A faapríték gázosítása során keletkező szintézisgáz kémiai összetétele és energiatartalma megfelelő volt ahhoz, hogy az akkori belső égésű motorok hajtóanyagául szolgáljon. A technológia a kor kényelmi és műszaki elvárásoknak eleget tett. Megbízhatósága és kedvező gazdasági oldala miatt nagy sikert aratott. Néhány évtizeddel később a gázosítás továbbfejlesztett változatát a hulladékgazdálkodásban is alkalmazni kezdték. Németországban a háború lezárásig megközelítőleg fél millió ilyen jármű volt használatban (1. ábra). Külön szerelóműhelyeket alakítottak ki, hogy a már forgalomban lévő hagyományos autókat át tudják alakítani fagáz üzeművé. Bizonyos autómódelleket gyárilag szerelték fel fagázosító reaktorral, amit akkoriban találóan csak gázgenerátornak neveztek. De nem csak autók, teherautók és buszok, hanem traktorok és motorkerékpárok, valamint még hajók és vonatok is fel voltak szerelve fagázosító reaktorral. A megszállt Dániában a civil járművek és mezőgazdasági gépek 95 %-a fagázzal üzemelt.

Gyakorlatilag az egész világ ismerte és alkalmazta a fagáz üzemű járműveket. Mindazonáltal e járművek és gépek kis hatékonyságuk és kényelmetlenül üzemeltethetőek, amik a folyamatosan növekvő igényeket egy idő után már nem tudták kielégíteni. Karbantartási igényük miatt átlagosan kéthetente át kellett vizsgálni a gázgenerátorokat, és az autókat. Igaz, azokban az időkben az autók maguk is gyakori szervizt igényeltek.



1. ábra. Fagázzal üzemelő járművek a kezdetekkor és a jelenben

Mindemellett jelentős egészségügyi kockázatot hordoztak főként a szén-monoxid veszélyessége miatt, ezért az olajhiány megszűnése után a legtöbb ország visszatért az olajszármazékokra [1]. A II. világháborút követően a fagáz üzemű autók eltűntek az utakról és szinte majdnem a feledés homályába kerültek. Újra megjelenésük az utóbbi két évtizedre tehető, amikor is a kőolaj világpiaci ára jelentősen emelkedett, így a fagáz alkalmazása a kedvező előállítási költségeknek köszönhetően ismételten indokoltta vált. Fejlesztésük jelenleg is tart első sorban a fejlődő országokban. Kínában, Oroszországban és Észak-Koreában mai napig gyártják és közlekednek fagázzal üzemelő teherautók. A következő évtizedekben a fosszilis energiahordozók fogyása miatt ismételten megjelenhetnek a gázgyárok, és elterjedhetnek a korszerű fagáz üzemű járművek.

FAGÁZ ÜZEMŰ AUTÓK MŰKÖDÉSE

A 1930-as években a fagázzal működő autókat az Imbert- féle fagázrendszerrel szerelték fel (2. ábra). Ez az összeállítás vált be a legjobban, mert stabil, biztonságos és hatékony üzemeltést tett lehetővé. A rendszer felépítését tekintve 4 fő egységből áll. A gázosító reaktorból, ami a szilárd biomasszát szintézisgázzá alakítja át. A gázhűtő egységből, ami a reaktort elhagyó mintegy 600 °C hőmérsékletű gázt légköri hőmérsékletűre hűti, ezzel megnövelve a sűrűségét. A gáztisztító berendezés kiszűri a szintézisgázból a kátrányt, leválasztja az 5 µm-nél nagyobb porszemcséket, és csökkenti a kénartalmát. Az utolsó egység pedig maga a motor, ami a gáz fűtőértékét égetés útján mechanikai energiává alakítja. A gáztisztító berendezés után, leágazásként egy légszivattyú került beépítésre, ami jelentős szerepet játszik a gázosító reaktor indítása során.

Három üzemállapotot tudunk megkülönböztetni. Az első az indítás, amikor a gázosító reaktorban lejátszódó folyamatok még nem álltak be egyensúlyi állapotba, így a keletkező gáz még nem éghető.

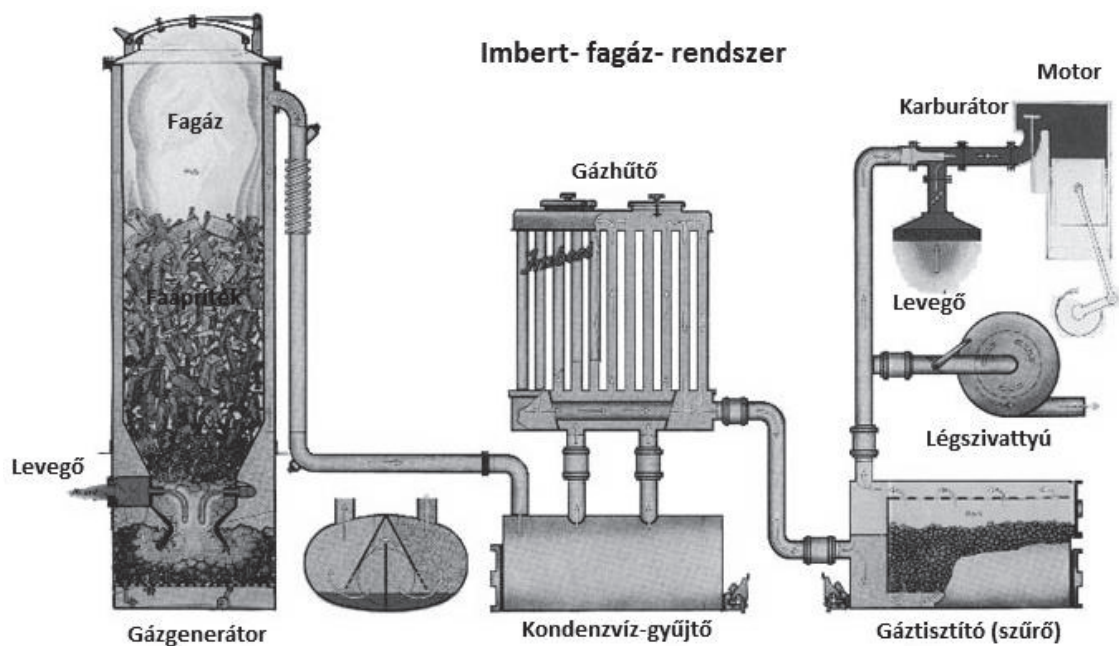
A második a normál üzemviteli állapot, ami a járművel való közlekedést jelenti. A harmadik

pedig a leállítási állapot, amikor a reaktort alapállapotba hozzuk, a járművet parkoltatjuk. A reaktor indítása hagyományos égetéssel kezdődik. Első lépésként egy vegyes tüzelésű kazánhoz hasonlóan megrakjuk a tüzet és feltöltjük a reaktort az üzemanyagul szolgáló tűzifával, vagy biomasszával. Ezt követően bekapcsoljuk a légszivattyút, ami az ekkor még éghetetlen gázt a környezetbe engedi. A légszivattyút elhagyó gázt folyamatosan szikráztatással, vagy nyílt lánggal vizsgáljuk. Amint a gáz begyullad, a reaktor beállt a termodinamikai egyensúlyba és megvalósult a gázosítás. Ez mintegy 7-15 percet vesz igénybe a reaktor méretétől függően. Mivel a felszabaduló gáz éghető, a légszivattyút kikapcsoljuk és indítjuk a motort. Ekkor átléptünk a normál üzemviteli állapotba. A gázképződés sebességét célszerű úgy meghatározni, hogy az elegendő legyen a motor alapjárat fordulatszámának tartására. A motor fordulatszámának növelése egyszerűen gázadással történik. Ekkor a motor szívócsonkjánál depresszió alakul ki, aminek következtében a reaktor gázkivezető csonkja és a motor szívócsonkja között nyomáskülönbség alakul ki. E nyomáskülönbség hatására megnő a reaktor huzata, így több fagáz szabadul fel, ami kiegyenlíti a nyomáskülönbséget. Mivel több levegő került a reaktorba, ezért az égés tökéletesebbé vált, így a szén-monoxid és a széndioxid aránya lecsökken, ami eredményeként a fagáz fajlagos fűtőértéke lecsökken. A megnövekedett gáztermelés összességében nagyobb energiamennyiséget jelent, így képes a motort nagyobb teljesítmény leadására készíteni.

A leállítási folyamat egyszerű, a motor leállítását követően a gázosító reaktor ajtaját kinyitva a gázosítás leáll, és a maradék üzemanyag egyszerűen leég, mint a hagyományos kazánban.

A FAGÁZ ENERGETIKAI TULAJDONSÁGAI

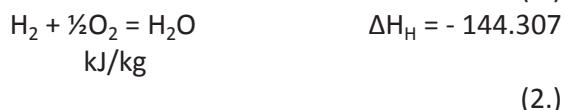
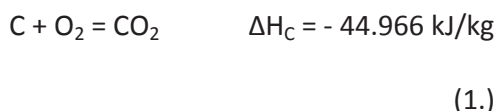
A fát, mint a természetben leggyakrabban előforduló energiahordozót, az emberiség létezése óta használja. A világ favagyona megközelítőleg 300 milliárd köbméterre tehető. Ebből évente átlagosan 3÷4 milliárd m³ kerül



2. ábra. Imber- féle fagázrendszer felépítése

kitermelésre, aminek a fele ipari, a másik fele pedig kémiai (rostanyag) és energetikai (tüzelőanyag) hasznosításra kerül [3]. A zöld növényzet fotoszintézis útján építi szervezetét, amely végterméke a C-H, C-O és O-H oxidálható kötések. A fa elégetése levegő (oxigén) jelenlétében történik. Az égés során CO_2 és H_2O keletkezik (1. és 2. képlet). Oxigén hiány esetén CO keletkezésével is számolnunk kell (3. képlet) [4].

Lejátszódó reakciók:



Ahol: C: karbon; CO: szén-monoxid; CO_2 : szén-dioxid; H_2 : hidrogén; O_2 : oxigén; H_2O : víz; ΔH : reakcióhő (negatív: exoterm reakció, pozitív: endoterm reakció);

A szilárd biomassa elemi összetevői a karbon, a hidrogén és az oxigén, mindezek mellett

egyéb összetevők, mint például nyomelemek és fémek valamint nitrogén és kén is jelen lehet. A fa üzemanyagként történő hasznosítása során a kén- és a nitrogéntartalomtól származó oxidok a járművek kibocsátásánál bírnak jelentőséggel. Mivel jelenlétük jellemzően kisebb arányú, mint a fosszilis üzemanyagok esetén, ezért környezeti kímélőbbek. A különböző típusú fafajták kémiai összetétele megközelítőleg állandónak mondható a szénfajták összetételéhez viszonyítva, de fizikai tulajdonságuk lényegesen eltérő lehet.

A kémiai összetétel mellett az energiatartalom a legmeghatározóbb tényező. Az energiatartalom megfogalmazására többfajta standard definíciót használnak a szakirodalmak, amelyek között nagymértékű különbség tapasztalható. A leggyakrabban alkalmazott definíció a HHV (Higher Heating Value), vagy felső fűtőérték, amelyet adiabatikus kaloriméterben laboratóriumi méréssel határoznak meg. Legnagyobb hibája, hogy magába foglalja a vízgőz kondenzációs hőjét is, ami nehezen nyerhető vissza.

Reálisabb képet kapunk, ha az LHV (Lower Heating Value), alsó fűtőérték alapján számolunk. A két fűtőérték között egy empirikus összefüggés ad jó közelítést [1].

$$LHV = \frac{HHV}{(1 + M + A)} \quad (4.)$$

Ahol: M: a nedvességfrakció tömegszázalékban;
A: a hamutartalom tömegszázalékban;

Az elemzéseim során hét fajtát vizsgáltam.

Ezek között találhatóak klasszikus kemény- és puhafák, a Magyarországon leggyakoribb fajták az akác, valamint két kifejezetten energetikai céllal termesztett fajták, az energiafűz és a kínai császárfa. Az 1. táblázatban feltüntettem a vizsgált fajták kémiai összetételét és energiatartalmát.

Fajta	Kémiai összetétel [tömegszázalék/száraz bázis]						HHV [kJ/kg]
	C	H	N	S	O	Hamu	
Erdeifenyő	50,1	6,1	0,2	0,0	43,4	0,2	19,5
Bükkfa	51,6	6,3	0,0	0,0	41,5	0,6	20,3
Nyárfa	51,6	6,3	0,0	0,0	41,5	0,6	20,3
Tölgyfa	53,7	5,4	0,0	0,0	40,3	0,6	21,2
Akác	49,5	5,9	0,4	0,0	43,3	0,9	17,7
Energiafűz	50,9	5,6	0,2	0,0	41,8	1,5	19,2
Kínai császárfa	49,9	5,5	0,1	0,0	43,9	0,6	18,8

1. táblázat. Fajták kémiai összetétele és fűtőértéke

FAGÁZOSÍTÁS ELMÉLETI VIZSGÁLATA

A vizsgálataim során egy egyszerűsített lineáris termo-kinetikai modellt alkalmaztam egy kg feladott biomassa gázosítására vonatkozóan. A számítási folyamat során normál légköri nyomáson üzemelő alsó kiáramlású gázosítóreaktorra vonatkozóan írtam fel és oldottam meg a modell egyenleteket.

FAGÁZ ENERGETIKAI TULAJDONSÁGAI

A számítási folyamat során legelsőként a kémiai összetétel és az oxidációs faktor függvényében meghatároztam, hogy mennyi a folyamat fajlagos levegőigénye (2. táblázat). A modellegyenletek megoldásával a levegőigény a moláris oxigénigényből, valamint a levegő oxigéntartalmának felhasználásával számolható ki. A legnagyobb levegőigény tölgyfánál (2,17 kg/kg fa), a legkisebb az akácnál és a kínai császárfánál (1,71 kg/kg fa) jelentkezik.

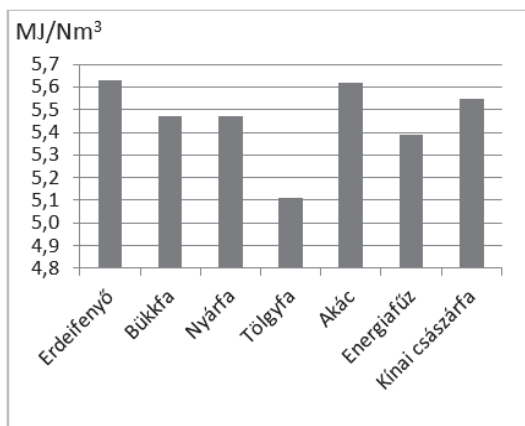
Átlagosan 1,88 kg levegő igénnyel kell számolnunk egy kg fa gázosítása során. A második mérőszám az előállított szint

sége, ami megegyezik a levegőigény és a biomassa hamutartalmával kompenzált részének összegével. Tömeg és térfogat alapon is meghatározhatjuk. A két érték között a sűrűség teremt kapcsolatot. Átlagosan 3,05 Nm³ gázt tudunk előállítani egy kg biomasszából. A harmadik energetikai mérőszám-csoport az előállított szintézisgáz fajlagos energiatartalma (fűtőértéke). Meghatározása három alapon történik. Egyrészt a feladott fa tömegére, másrészt a keletkező gáz tömegére, harmadrészt pedig a keletkező gáz térfogatára vonatkoztatva (3. ábra). A szintézisgáz energiatartalma a kémiai összetétel ismeretében számítható, azok arányának és fajlagos energiatartalmának felhasználásával. A legnagyobb energiatartalmú gáz az erdei fenyőből (5,63 MJ/Nm³) állítható el, amittől alig tér el az akácfa gáz. A kemény fák gázosítása során jellemzően kisebb, a puha fák esetében pedig nagyobb energiatartalmú gázt kapunk. A gázhozam ellenkező tendenciát mutat.

Fajta	Levegőigény	Fagáz mennyisége		Fagáz energiatartalma		
	$\frac{kg}{kg\ fa}$	$\frac{kg}{kg\ fa}$	$\frac{Nm^3}{kg\ fa}$	$\frac{MJ}{kg\ fa}$	$\frac{MJ}{kg\ gáz}$	$\frac{MJ}{Nm^3}$
Erdeifenyő	1,75	2,75	2,98	16,77	6,10	5,63
Bükkfa	1,96	2,95	3,16	17,29	5,86	5,47
Nyárfa	1,96	2,95	3,16	17,29	5,86	5,47
Tölgyfa	2,17	3,17	3,25	16,60	5,24	5,11
Akác	1,71	2,70	2,92	16,42	6,08	5,62
Energiafűz	1,89	2,87	3,02	16,32	5,68	5,39
Kínai császárfa	1,71	2,71	2,88	16,01	5,92	5,55

2. táblázat. A gázosítási folyamat levegőigénye a fagáz fajlagos mennyisége és fűtőértéke

A biomasszából előállított szintézisgáz átlagos energiataralma 5,46 MJ/Nm³.

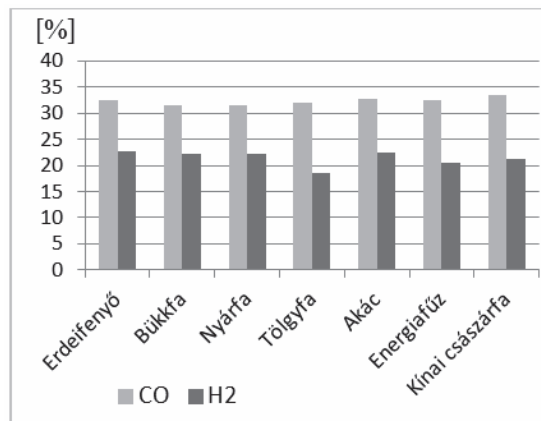


3. ábra. A tisztított fagáz fajlagos fűtőértéke 20°C hőmérsékleten [MJ/Nm³]

FAGÁZ KÉMIAI ÖSSZETÉTELE

A szintézisgáz kémiai összetételét tekintve energetikai szempontból az éghető komponensek mennyisége az érdekes (3. táblázat). Az erdeifenyő és az akác gázosítása során keletkezett szintézisgáz tartalmaz legnagyobb mennyiségben szén-monoxidot és hidrogént. A legkisebb értékeket a tapasztaltam. A szén-monoxid aránya átlagosan 32,3 %, a hidrogén aránya jellemzően 21,4 % (4. ábra). A folyamat lejátszódásához szükséges hőenergia előállítása miatt a szintézisgáz átlagosan 8 %-ban széndioxidot tartalmaz.

Emellett a levegőben jelenlevő nitrogénnel és kis mértékben egyéb összetevőkkel is számolnunk kell.



4. ábra. A tisztított fagáz szén-monoxid és hidrogéntartalma [%]

ENERGIAÁTALAKÍTÁSI HATÉKONYSÁG

Az energetikai átalakítás hatékonyságát alapjában véve három jelzőszám határozza meg (4. táblázat). Az első a hidrogén és a szén-monoxid aránya. Az arányszám a szintézisgázban található hidrogéntartalom és a szén-monoxid-tartalom hányadosa. A két energiahordozó fajlagos fűtőértéke között 200 kJ/Nm³ a különbség a hidrogén javára, ezért minél nagyobb a két elem arányszáma, annál nagyobb energiataralmú gázt tudunk előállítani. Az arányszám növelése a levegő, mint gázosító közeg vízgőzre történő cseréjével valósítható meg. A vízgőzt túlhevített formában kell bevinni a reaktorba, hogy a rendszer termodinamikai egyensúlyban maradjon.

Előállítása a fagáz hűtése során felszabaduló hőenergia felhasználásával a leghatékonyabb [1,2].

Fajta	Kémiai összetétel térfogatszázalékban [Vol.%]				
	CO	CO ₂	H ₂	N ₂	Egyéb
Erdeifenyő	32,48	8,07	22,74	36,70	0,01
Bükkfa	31,50	7,83	22,13	38,53	0,01
Nyárfa	31,50	7,83	22,13	38,53	0,01
Tölgyfa	31,92	7,92	18,47	41,68	0,01
Akác	32,76	8,14	22,46	36,63	0,01
Energiafűz	32,46	8,06	20,55	38,92	0,01
Kínai császárfafa	33,43	8,31	21,21	37,04	0,01

Egyéb összetevők lehetnek: hamu és kátrány, CH₄ és nagyobb rendszámú szén-hidrogének; N₂O, NO_x, H₂S, SO_x

3. táblázat. A tisztított és lehűtött fagáz kémiai összetétele [Vol.%]

A legnagyobb H/CO arány az erdeifenyőnél, a bükk- és a nyárfánál (0,70) figyelhető meg. A legkisebb érték a tölgyfánál (0,58) jelentkezik. E kategória esetében is észrevehető, hogy a kemény fák hozzák a kisebb arányt, a puha fák pedig a kedvezőbbet. Az üzemeltetési feladatok miatt az éghető és az energetikailag inert gázok aránya is fontos szerepet játszik. Kiszámítása az éghető komponensek összegének ($\text{CO} + \text{H}_2$) és az energetikailag inert gázok ($\text{CO}_2 + \text{N}_2 + \text{egyéb}$) összegének a hányadosa adja. Minél kisebb ez az arány annál nagyobb térfogatú motorra, vagy annál nagyobb sűrítési arányra lesz szükség.

Ebből következik, hogy a cél az éghető/inert gázok arányának a növelése. Ez megvalósítható, ha levegő helyett tiszta oxigént, vagy a kettő keverékét alkalmazzuk.

Járműveknél ez nehezen kivitelezhető és drága megoldás, ezért csak ritkán élnek vele. A harmadik, és egyben a legfontosabb energetikai mérőszám az energiakonverziós arány, vagy hatásfok.

Ez az érték megmutatja, hogy a szilárd tüzelőanyaghoz viszonyítva mekkora az előállított szintézisgáz energiatartalmának aránya. Számítása egyszerű, a szintézisgáz és a szilárd tüzelőanyag energiatartalmának a hányadosa. Az energiakonverziós hatásfokot az 5. ábra szemlélteti. A legnagyobb hatásfok az akácfa gázosításánál figyelhető meg, mintegy 92,77 %. A legrosszabb energiakonverziós hatásfokot az energiafűz gázosítása során érték el (85,00 %).

Végezetül a fagáz sűrűségét említeném meg, ami átlagosan $0,94 \text{ kg/Nm}^3$.

Fafajta	H/CO arány	Éghető/inert arány		Energiakonverziós arány és hatásfok [%]		Sűrűség [kg/Nm^3]
Erdeifenyő	0,70	0,55	1,23	0,86	86,00	0,9228
Bükkfa	0,70	0,54	1,16	0,85	85,17	0,9335
Nyárfa	0,70	0,54	1,16	0,85	85,17	0,9335
Tölgyfa	0,58	0,50	1,02	0,78	78,30	0,9754
Akác	0,69	0,55	1,23	0,93	92,77	0,9247
Energiafűz	0,64	0,55	1,13	0,85	85,00	0,9488
Kínai császárfa	0,63	0,55	1,20	0,85	85,16	0,9388

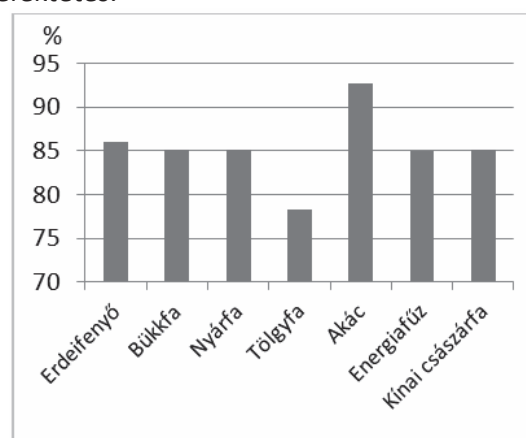
4. táblázat. Az energiaátalakítás hatékonyságát jellemző mérőszámok és a sűrűség

FOSSZILIS ÜZEMANYAGOK KIVÁLTÁSA FAGÁZZAL

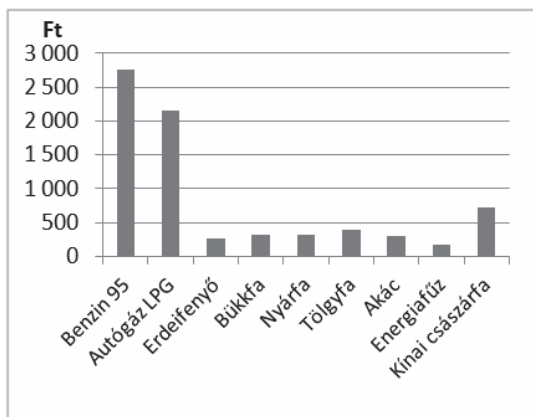
A számítás során egy átlagos futásteljesítményű (140.000 km) 8 éves, 1.400 cm^3 hengerűrtartalmú és 90 lóerős autót vettem alapul, városi forgalmi körülmények között. A megtett távolság 100 km. Az átalakítási költség autógáz esetén 250 eFt, gázosításnál 800 eFt [5]. Az átalakítás költsége mellett célszerű megnézni, hogy mekkora üzemanyagköltség-megtakarítást lehet elérni az alternatív fagázzal (5. táblázat), mert e két tényező hányadosaként számolható ki a megtérülés. A közönséges erdei fenyő üzemanyagként történő alkalmazásával akár 90 százalékos költségmegtakarítást is el lehet érni a benzinhoz képest (7. ábra). Még az akácfával is 88,96 %-os megtakarítás érhető el. A megté-

rülés autógáz esetén 40.000 km, fagáznál átlagosan 33.000 km-re adódott.

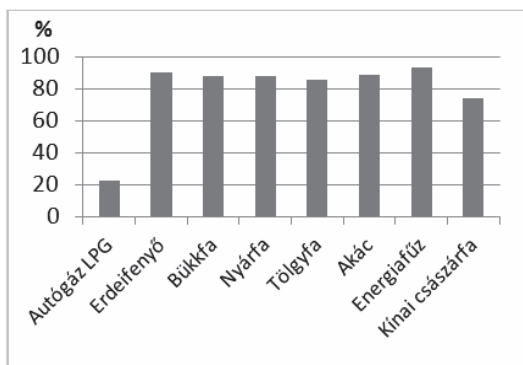
Mindezekből következik, hogy az átalakítás gazdasági szempontból indokolt, megtérülő befektetés.



5. ábra. Energiakonverziós hatásfok [%]



6. ábra. Üzemanyagköltség 100 km-en [Ft]



7. ábra. Üzemanyagköltség- megtakarítás mértéke [%]

FOSSZILIS ÉS ALTERNATÍV ÜZEMANYAGOK ÉLETCIKLUS-ELEMZÉSE

Az életciklus-elemzést (Life Cycle Assessment, LCA) világszerte több évtizede sikerrel alkalmazzák döntéstámogató módszerként. Magyarországon az utóbbi években ismerték el fontosságát. Elsősorban az energiaiparban és a gyártóiparban alkalmazzák termékek, technológiák és szolgáltatások értékelésére, de egyre nagyobb szerepet kap az üzemanyag- és a járműiparban is.

Az alternatív és a fosszilis üzemanyagok alkalmazása során a közvetlen kibocsátásokra és a teljes életszakaszra vonatkozó életciklus-elemzések lehetőséget adnak arra, hogy megbecsüljük és számszerűsítsük az üzemanyagok környezetre gyakorolt teljes hatását.

Az elemzéssel kapott környezeti hatáskategóriák értékeinek felhasználásával az egyes üzemanyagok környezetvédelmi szempontból összehasonlíthatóvá válnak, és így, kiválasztásra kerülhetnek a legkörnyezetkímélőbbek.

Üzemanyag	Fogyasztás [kg/100 km]	Ár [Ft/kg]	Üzemanyag-költség [Ft/100 km]	Megtakarítás [Ft/100 km]	Költségsökkenés és [%]
Benzin 95	6,50*	425**	2.762,50	-	-
Autógáz LPG	7,80*	275**	2.145,00	617,50	22,35
Erdeifenyő	13,57	20	271,4	2.491,10	90,18
Bükkfa	13,17	25	329,25	2.433,25	88,08
Nyárfa	13,17	25	329,25	2.433,25	88,08
Tölgyfa	13,70	29	397,30	2.365,20	85,62
Akác	13,86	22	304,92	2.457,58	88,96
Energiafűz	13,94	13	181,22	2581,28	93,44
Kínai császárfa	14,21	51	724,71	2037,79	73,77

Megjegyzés: * l/100 km, ** Ft/l,

5. táblázat. A fajlagos üzemanyag fogyasztás, az üzemanyagköltség, valamint az elérhető költség-megtakarítás

Az értékelést az MSZ EN ISO 14040:2006 szabvány alapján, GaBi 6 életciklus-elemző szoftver segítségével végeztem el. Funkcionális egységnek a fajlagos üzemanyag-fogyasztást választottam, így a kapott LCA eredmények egy km-es útra vonatkoznak.

Az életciklus-értékelésre vonatkozó szabványok a hatásértékeléshez a leideni egyetem által kifejlesztett CML- módszert javasolják. A CML-

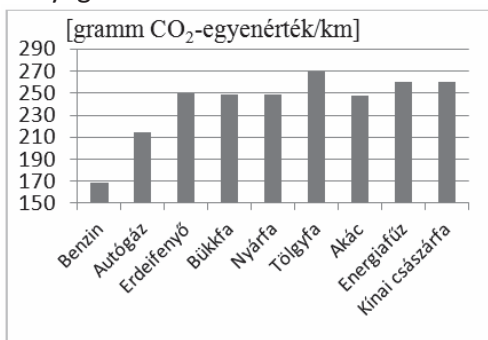
módszer hatásorientált osztályozást jelent, azaz a termékhez kötődő emissziókat és egyéb környezeti hatásokat hatáskategóriákba sorolja. A kategóriák kiválasztása probléma-orientált megközelítéssel történik, amely a károk (az okozati lánc végpontja) helyett a környezeti problémákra (a lánc középső pontja) fókuszál. A legtöbbet használt hatáskategóriák az üvegházhatás, globális klímaváltozás, a talaj és a vizek

savasodás, eutrofizálódása, ózonlebontás, a fotooxidánsok képződése, a humán- és környezeti toxicitás, abiotikus erőforrások kimerülése és földhasználat.

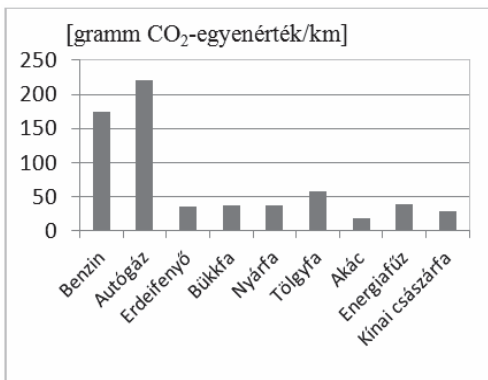
A CML 2001, 2012. novemberi módszer 11 környezeti hatáskategóriája közül a 7 legjellemzőbbet választottam (8-15. ábrák).

Az üvegház hatású gázok közvetlen kibocsátása (8. ábra) a fagáz esetében ugyan nagyobb értéket képvisel, mint a fosszilis üzemanyagok esetében, de, ha figyelembe vesszük, hogy a biomassa megújuló energiaforrás, akkor a teljes életciklus vonatkozó kibocsátások (9. ábra) a harmadára csökkennek az alternatív üzemanyagoknál.

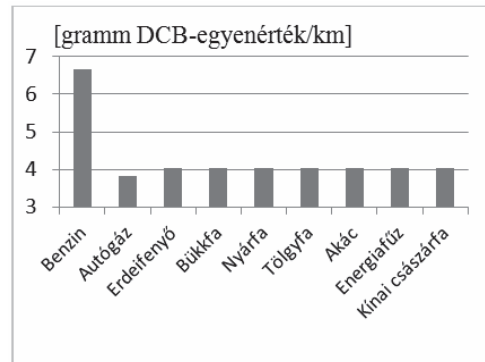
A környezeti hatáskategóriákat vizsgálva megfigyelhető, hogy a megújuló biomasszából előállított fagáz minden kategória esetében kedvezőbb értéket mutat, mint a fosszilis alapú üzemanyagok. Kiemelten az akác, a bükk és a nyárfa teljesített a legjobban, így ezek alkalmazása valódi megoldást jelenthetnek a fosszilis üzemanyagok kiváltásában.



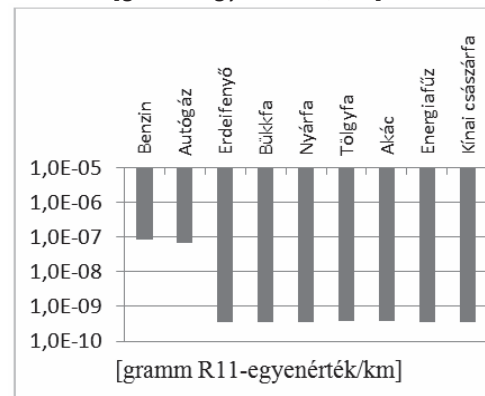
8. ábra. Üvegházhatású gázok közvetlen kibocsátása [g CO₂-egyenérték/km]



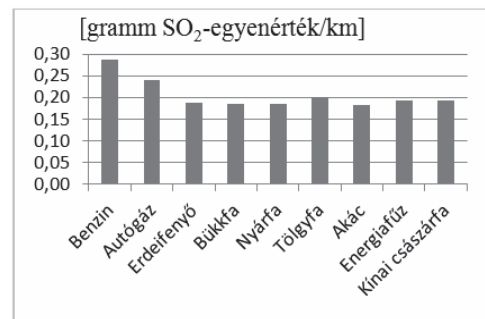
9. ábra. Üvegházhatású gázok kibocsátása [g CO₂-egyenérték/km]



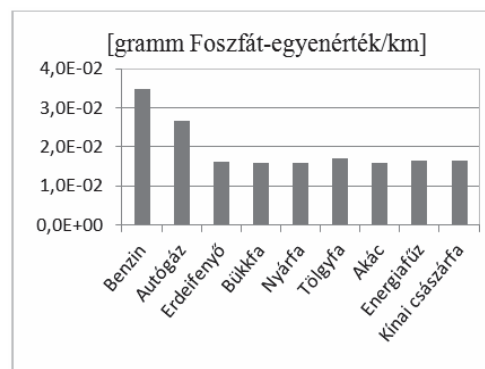
10. ábra. Humán toxicitási potenciál [g DCB-egyenérték/km]



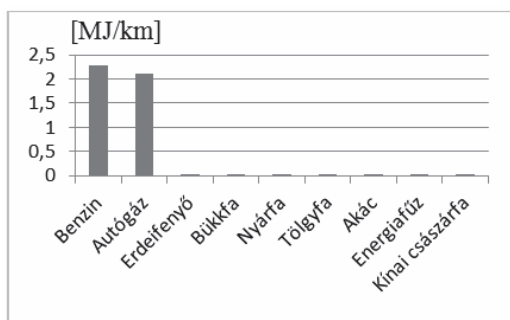
11. ábra. Ózonréteg elvékonyodási potenciál [g R11-egyenérték/km]



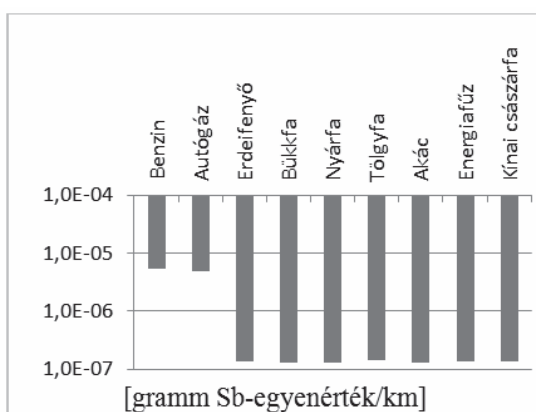
12. ábra. Savasodási potenciál [g SO₂-egyenérték/km]



13. ábra. Eutrofizációs potenciál [g Foszfát-egyenérték/km]



14. ábra. Abiotikus kimerülő fosszilis források [MJ/km]



15. ábra. Abiotikus kimerülő források [g Sb-egyenérték/km]

ÖSSZEFOGLALÁS

A fagáz, mint alternatív üzemanyag jelenleg gazdaságos és környezetbarát megoldást jelent a jelen és a jövő üzemanyag-problémáinak a megoldására. A biomassza ugyan megújuló, de véges kapacitású nyersanyag, ezért alkalmazása csak korlátozott keretek között valósítható meg.

A fagáz üzemanyag használata első sorban a mezőgazdaságban vehet nagy lendületet, mert ott nagy mennyiségben rendelkezésre áll az üzemanyagul szolgáló biomassza, főleg a növénytermesztés melléktermékei és hulladékai jöhetnek számításba.

A technológia továbbfejlesztése és a járművekhez való illesztése további kutatást igényel.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutató munka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Innovációs Gépészeti Tervezés és Technológiák Kiválósági Központ keretében teljesül.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Reed, B., T., Das, A.: *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine System*. The Biomass Energy Foundation Press. 1988.
- [2] 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. pp. 69-75.
- [3] Panninger, A.: *Tüzeléstechnika*. BMGE, Oktatási segédlet, 2009.
- [4] Tillman, D. A.: *Wood as an Energy Resource*. Wood Science and Technology. Vol. 16. No. 4, 1982. p. 286.
- [5] Bodnár, I.: *Termikus hulladékkezelési technológiák gazdasági és gazdaságossági kérdései*. GÉP magazin. LXIV. évf. 5. sz. 2013, pp. 33-36.