

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék**

Biogáz buszok elterjedésének hatása a megújuló tüzelőanyag-felhasználásra

TDK dolgozat

Dolgozat szerzője: Tóth Tamás, közlekedésmérnöki szak (BSc)
Konzulens: Dr. Török Ádám tudományos munkatárs

Budapest, 2013.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	5
2. Közlekedéspolitika és a fenntartható fejlődés, az alternatív hajtások jelentősége	8
2.1. Történeti áttekintés	8
2.2. Alternatív hajtások	11
2.2.1. Hibrid hajtás	12
2.2.2. Elektromos hajtás	14
2.2.3. Hidrogénhajtás	15
2.2.4. Gázhajtás	16
2.3. Biotüzelőanyagok bemutatása	18
2.3.1. Csoportosítás	18
2.3.2. Bioetanol és biodízel	19
2.3.3. Biogáz felhasználása a közlekedésben	21
2.3.4. Tüzelőanyagok összehasonlítása	23
3. Matematikai modell felépítése	24
3.1. A probléma leírása	24
3.1.1. Energiamennyiségek számítása	27
3.2. Modellegyenletek	30
4. Modelleredmények értékelése	32
4.1. Városi autóbuszok cseréje	33
4.1.1. Optimista (növekedő) változat	33
4.1.2. Pesszimista (csökkenő) változat	36
4.2. Távolsági autóbuszok cseréje	38
4.2.1. Optimista (növekedő) változat	38
4.2.2. Pesszimista (csökkenő) változat	40
4.3. Hulladékból előállított biogáz felhasználása	42
5. Összefoglalás	43
Felhasznált irodalom	45

Ábrajegyzék

1. ábra: A hazai közlekedés károsanyag-kibocsátása ágazati megosztásban	6
2. ábra: Üvegházhatású gázok kibocsátása a szállításból és közlekedésből (1990-2010)	9
3. ábra: Soros hibrid rendszer	13
4. ábra: Párhuzamos hibrid rendszer:	13
5. ábra: Kombinált hibrid rendszer	14
6. ábra: Közlekedésben felhasznált energiamennyiségek várható alakulása globálisan, 2020-ban	25
7. ábra: Közlekedésben felhasznált energiamennyiségek várható alakulása globálisan, 2050-ben	26
8. ábra: A hazai közlekedés által felhasznált tüzelőanyag- és energiamennyiség	27
9. ábra: Becsült tüzelőanyag-felhasználás 2020-ig	29
10. ábra: A hazai autóbusz állomány nagyságának alakulása az elmúlt években.....	33
11. ábra: A változó energiamennyiségek és a megújuló hányad alakulása városi buszok lecserélése esetén – optimista változat	35
12. ábra: A változó energiamennyiségek és a megújuló hányad alakulása városi buszok lecserélése esetén – pesszimista változat.....	38
13. ábra: A változó energiamennyiségek és a megújuló hányad alakulása távolsági buszok lecserélése esetén – optimista változat	40
14. ábra: A változó energiamennyiségek és a megújuló hányad alakulása távolsági buszok lecserélése esetén – pesszimista változat.....	42

Táblajegyzék

1. táblázat: Európában a nehéz teherautókra és buszokra érvényes emissziós előírások	12
2. táblázat: Különböző dízel, CNG és biogáz buszflották emissziójának összehasonlítása	22
3. táblázat: Tüzelőanyagok fontosabb tulajdonságai.....	23
4. táblázat: A hazai közlekedés által felhasznált tüzelőanyag- és energiamennyiség	27
5. táblázat: Becsült tüzelőanyag- és energiafelhasználás 2020-ban.....	29
6. táblázat: Városi üzemmel kapcsolatosan végzett számítások – optimista változat	34
7. táblázat: Városi üzemmel kapcsolatosan végzett számítások – pesszimista változat	37
8. táblázat: Távolsági üzemmel kapcsolatosan végzett számítások – optimista változat.....	39
9. táblázat: Távolsági üzemmel kapcsolatosan végzett számítások – pesszimista változat	41
10. táblázat: Összefoglaló táblázat a lecserélendő buszok számára és a szükséges biometánra vonatkozóan.....	44

1. Bevezetés

A mobilitás az ember alapvető igénye, a közlekedés hozzátartozik a mindennapjainkhoz, általa válik lehetővé a területi differenciálódás, a termelés és a fogyasztás, illetve a lakó- és munkahelyek elkülönülése. A közlekedési mobilitás alakulása a gazdasági és műszaki adottságok, illetve a kulturális fejlődés erős befolyása alatt áll, és az elmúlt században lezajlott változásoknak köszönhetően a magas fokú mobilitási igény több szempontból is az egyik legfőbb problémává vált. (*Jászberényi 2008*)

Korunk legtöbbet tárgyalt kérdéskörei közé tartozik a fenntartható fejlődés és a környezetszennyezés. A fenntartható fejlődés lényege, hogy a műszaki fejlesztés ütemét, a növekvő fogyasztási igények kielégítését, illetve a Föld nyersanyagkészletének kitermelését, és az erőforrások felhasználását oly módon kell egyensúlyban tartani, hogy a következő generációk életkörülményei és lehetőségei ne legyenek rosszabbak a jelenleginél. (*Zádor, Török 2010*)

Környezetünk minőségét jelentősen befolyásolja a közlekedés, az alágazatok között pedig a közútnak van a legnagyobb szerepe a környezetszennyezésben (lásd 1. ábra). A jellemzően fosszilis tüzelőanyaggal működő belsőégésű motorok működése során nagy mennyiségű, a környezetet és az üvegházhatást károsan befolyásoló légnemű és szilárd anyag (pl. CO₂, CO, NO_x, illékony szénhidrogén vegyületek, szilárd részecskék, por) kerül kibocsátásra. A lokális hatású szennyezők alapvetően a városi és agglomerációs térségekben okozzák a legnagyobb problémát, ahol koncentráltan fordulnak elő. Ezek közé tartoznak azok az anyagok, melyek az emberi egészségre közvetlenül ártalmasak, például a finom szemcsék (PM₁₀) és a szénhidrogének (HC vagy VOC), melyek rákkeltő hatásúak, a szénmonoxid, amely mérgező, károsítja a szív- és keringési rendszer, valamint az idegrendszer működését, és a nitrogén-oxidok, melyek pedig a tüdőt roncsolják, illetve hozzájárulnak az alsó légköri ózon kialakulásához, így pedig a fotokémiai szmog létrejöttéhez. A szennyezők egy része a légkörben terjed, majd leülepedik, kárt okozva ezzel a régióban. A legfőbb regionális hatás az alsólégköri ózon és a savas eső keletkezése, lecsapódása. A globális terhelést elsősorban az üvegházhatású gázok (ÜHG) jelentik. Ezek közül a legjelentősebb a szén-dioxid (CO₂), melynek közlekedési részaránya, a kibocsátás mennyiségét és a fajlagos üvegházi

hozzájárulását is tekintve folyamatosan növekszik, illetve a közlekedési relevanciával bíró gázok közül ide tartozik még a metán (CH₄), és a dinitrogén-oxid (N₂O) is. A szakirodalom (Yan, Crookes 2009) (Az Európai Parlament és a Tanács 2009/28/EK irányelve) szerint mindhárom komponens rendelkezik egy ún. globális felmelegedési potenciállal, melynek értéke a CO₂ esetében 1, a CH₄ esetében 23, míg az N₂O esetében 296.



1. ábra: A hazai közlekedés károsanyag-kibocsátása ágazati megosztásban

Forrás: Közlekedéstudományi Intézet

A közlekedés terhelő hatásait vizsgálva megemlítenéd még a zajterhelés. A zaj terhelése hangnyomás formájában jelentkezik, és a logaritmikus skálán mérhető dB-ben fejezhető ki. Jellegzetesen városi hatótényező, az állandó, magas terhelés rontja a koncentrációs képességet, illetve további egészségügyi problémákat okoz stressz, magas vérnyomás és szívpanaszok formájában.

A motorizáció gyors növekedésével a közlekedés káros következményeinek csökkentése kiemelten fontos feladattá vált, amellyel mindenképpen foglalkozni kell. A probléma több oldalról megközelíthető, különböző ökológiai, társadalmi és gazdasági célokat összefogó stratégiák lehetnek:

- A járműgyártás, infrastruktúra-építés/-működtetés környezeti mutatóinak javítása.

- A járműállomány környezeti mutatóinak javítása.
- A meglévő közlekedési rendszerek környezeti mutatóinak javítása, hatékonyabb kihasználása.
- A közlekedési rendszerek környezeti hatékonyságának javítása a struktúrák, vagyis a közlekedési munkamegosztás változtatásával.
- A közlekedési volumen mérséklése, vagyis az utazások/szállítások számának és távolságának csökkentése. *(Kövesné et al. 2001)*

Jelenleg az egyik legnagyobb megoldandó probléma, hogy a közlekedés társadalmi költségei elsősorban nem az okozót terhelik, így az igénybevevőnek nem egyéni érdeke, hogy a környezeti szempontból hatékonyabb módját válassza az utazásnak, szállításnak (pl. közösségi közlekedés, vasút). Természetesen ezeknek a közlekedési módoknak is vannak negatív hatásai, azonban egy személyre (vagy egységnyi árumennyiségre) vetítve jóval kisebb energiafogyasztással, területhasználattal és környezetterhelési mutatókkal rendelkeznek, mint például a személygépjármű-közlekedés.

Dolgozatom célja, hogy a jelenleg hatályos közlekedéspolitikai célkitűzések ismertetése után bemutassam, hogy az alternatív hajtások milyen előnyökkel járnak, ezen belül is kiemelve azt, hogy a biogáz üzemű CNG buszok milyen módon segíthetik elő a fenntartható közforgalmú közösségi közlekedést. Ezt követően egy matematikai modellen keresztül vizsgálom meg, hogy ma Magyarországon mennyi dízelüzemű autóbusz lecserélése lenne szükséges biometán meghajtására a kitűzött célok teljesítéséhez, és hogy ezzel mennyit nyerhetünk a szén-dioxid kibocsátáson. A gépjárműparkban megjelenő biometán tüzelőanyaggal hajtott autóbuszok működtetéséhez szükséges biometán mennyiségét is megvizsgálom. A vizsgálatokat követően a dolgozatomat konklúzióval, és a továbbfejlesztési lehetőségek ismertetésével zárom.

2. Közlekedéspolitika és a fenntartható fejlődés, az alternatív hajtások jelentősége

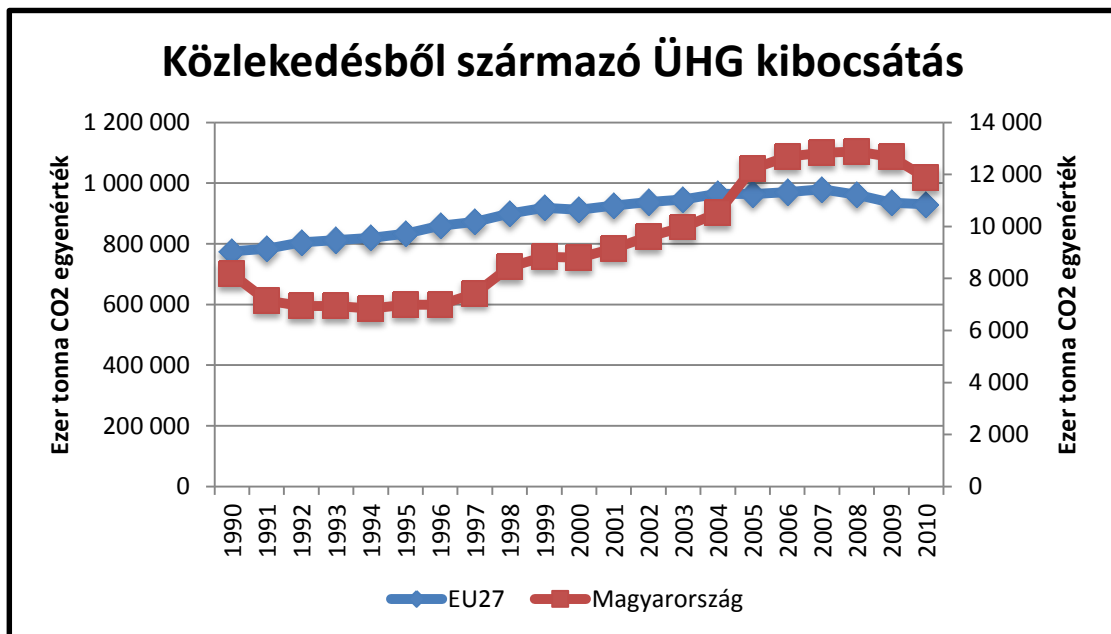
Az ismertetett problémák súlyosságát felismerve, a 90-es évektől kezdve a fenntartható fejlődés és a környezet kímélésének szempontjai, illetve ezzel összhangban a biotüzelőanyagok ügye, egyre hangsúlyosabb szerepet kaptak a közlekedésfejlesztési, közlekedéspolitikai döntésekben.

2.1. Történeti áttekintés

A nemzetközi klímapolitika természetesen a közlekedésre is hatással van, ezért mindenképpen fontos megemlíteni, hogy 1992-ben Rio de Janeiróban került aláírásra az ENSZ éghajlat-változási keretegyezménye, amelynek aláírói elismerték, hogy az üvegházhatású gázok (továbbiakban: ÜHG) a Föld ökoszisztémáját megbontják, és célul tűzték ki, hogy ezen gázok légköri koncentrációját stabilizálják. Ennek a keretegyezménynek a kiegészítő jegyzőkönyve a Kiotói Jegyzőkönyv, amelyet 1997. december 11-én fogadtak el, majd kezdetét vette az aláírási folyamat. A fejlett országok vállalták, hogy a 2008-2012 közötti időszakra, az 1990-es bázisévhez képest legalább 5%-kal csökkentik az ÜHG kibocsátást. Ezen belül az egyes országok vállalásai eltérő mértékűek voltak, például Magyarország 6%-os, az EU15-ök pedig 8%-os csökkentést vállaltak. *(Kiotói Jegyzőkönyv az éghajlatváltozásról) (ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezmény)*

A fenntartható fejlődés fogalma azóta kiterjedt, és a gazdaság különböző szektorainak fejlesztési stratégiái is integrálták magukba ezt az alapelveket. A közlekedési szakemberek felismerték, hogy a gépjárműközpontú, fosszilis tüzelőanyagokra alapozott (kőolajtól nagymértékben függő) út hosszú távon nem járható. *(Jászberényi, Pálfalvi 2006)* Ezzel összhangban jelent meg az Európai Unió közös közlekedéspolitikája a 2001-2010 időszakra. A Fehér Könyv szerint a közlekedésből származó CO₂ kibocsátás 1990. és 2010. között mintegy duplájára, 1113 millió tonnára nőtt. Ennek fő okozója a közúti alágazat, mely a közlekedésből származó CO₂ kibocsátás 84%-áért felelős. A dokumentum egyébként feleleveníti a 2000. novemberében kiadott „Út az energiaellátás biztonságára irányuló stratégia felé”

c. Zöld Könyvet is, amely megállapítja, hogy 1998-ban a szén-dioxid emisszió 28%-a eredt a közlekedési szektor energiafelhasználásából. (Az Európai Közösségek Bizottsága 2001)



2. ábra: Üvegházhatású gázok kibocsátása a szállításból és közlekedésből (1990-2010)

Forrás: KSH

2003-ban került kiadásra az Európai Parlament és a Tanács 2003/30/EK irányelve a közlekedési ágazatban a bioüzemanyagok¹ és más megújuló üzemanyagok használatának előremozdításáról.

Bioüzemanyagok: *a biomasszából előállított folyékony, vagy gáz halmazállapotú, a közlekedésben használt üzemanyagok.*

Biomassza: *a mezőgazdaságból (beleértve a növényi és állati anyagokat is), az erdőgazdaságból és az ezekkel kapcsolatos iparágakból származó termékek, hulladékok és maradványok biológiailag lebontható része, valamint az ipari és kommunális hulladék biológiailag lebontható része.* (Az Európai Parlament és a Tanács 2003/30/EK irányelve)

Kimondták, hogy a biotüzelőanyagok fokozott használata a közlekedési ágazatban részét képezi a Kiotói Jegyzőkönyv betartásához szükséges

¹ A köznyelvben az üzemanyag és a tüzelőanyag kifejezések gyakran hibásan jelennek meg. Üzemanyagnak nevezzük mindazokat az anyagokat, melyekre az üzemhez szükség van, ebbe a tüzelőanyagokon túl beletartoznak például a kenőanyagok, illetve a hűtőfolyadékok is. Ezzel szemben a tüzelőanyag szűkebb területet jelöl: a motor a működése során a tüzelőanyagok (pl. benzin, gázolaj) elégetéséből nyert hőenergiát alakítja mechanikai munkává.

intézkedéscsomagnak. A biotüzelőanyagokkal, és az egyéb alternatív, de fosszilis tüzelőanyagokkal (cseppfolyós PB gáz, vagyis LPG, illetve sűrített földgáz, vagyis CNG) kedvezően alakítható az importenergia-függőség és az energiaellátás biztonsága közép- és hosszútávon. A dokumentum megemlíttette, hogy a 2000-ben kiadott „Út az energiaellátás biztonságára irányuló stratégia felé” c. Zöld Könyv 2020-ig 20%-os megújuló tüzelőanyag-részarányt irányoz elő a közúti szállítási ágazatban.

A kitűzött, hosszú távú eredmények elérése érdekében rövidtávon is meghatározott célokat: 2005. december 31-ig energiaalapon számítva 2%-os, míg 2010. december 31-ig energiaalapon számítva 5,75%-os részarányt írt elő a bio- és más megújuló tüzelőanyagok számára a forgalomba hozott benzinben és gázolajban.

Továbbá, a tagállamok figyelemmel kísérik az 5% feletti dízelkeverékek hatását az át nem alakított járművekben, és adott esetben intézkednek a vonatkozó közösségi jogszabályokban szereplő kibocsátási előírások betartásának biztosításáról. A dokumentum a hagyományos tüzelőanyagokba legfeljebb 5%-nyi bioetanol, illetve biodízel bekeverését tette lehetővé anélkül, hogy külön jelzéssel kéne ellátni a tüzelőanyagot. *(Az Európai Parlament és a Tanács 2003/30/EK irányelve)*

A későbbi tanulmányok során *(Az Európai Közösségek Bizottsága, 2007)* *(Commission of the European Communities 2007)* felülvizsgálták a korábbi célkitűzéseket, illetve újakat határoztak meg. Ezek közül a legfontosabb szerint 2020-ig 10%-os részarányt kell elérnie a biotüzelőanyagoknak a közlekedésben.

A 2005-re előírt 2%-os részarányt nem sikerült elérni, a tagállamok mindössze 1%-ig jutottak. E fölött csupán Franciaország, Németország és Svédország tudott teljesíteni. A probléma forrásaként a szakértők három fő okot neveztek meg. Egyrészt, a legtöbb tagállamban nem állt rendelkezésre megfelelő támogatási rendszer. Másodszor, az üzemanyag-ellátók vonakodtak a bioetanol használatától, mivel már így is benzinfellegük volt, és a bioetanol bekeverése csak rontott volna a helyzeten. Végül, az EU ide vonatkozó szabályozási kerete fejletlen volt, különösen a célkitűzések cselekvésben való megnyilvánulásának tagállami kényszere vonatkozásában. 2007-ben a tagállamoknak 2010-re szóló vállalásokat kellett tenniük, ez jellemzően a korábban már előírt 5,75 e/e % (vagyis energialapon számított %) volt. *(Az Európai Közösségek Bizottsága 2007)*

A 2009/28/EK direktíva életbe lépésével hatályon kívülre került a korábbi 2003/30/EK irányelv. Az új dokumentum már a korábban megállapított 10%-ot tűzte ki célul a közlekedési szektor számára 2020-ra, tágabb értelemben pedig 20%-os megújuló részarányt az egész energiaszektor számára. Utóbbi esetében a 20% egy átlagos érték, amely nem kötelezően teljesítendő minden tagállam számára, ezzel szemben a közlekedés számára előírt 10% minden ország által teljesítendő, hogy a tüzelőanyagok műszaki előírásainak és hozzáférhetőségének egysége biztosítva legyen. Különösen fontos az energiahatékonyság növelése, mivel enélkül a cél nehezen lesz megvalósítható, ha az ágazat általános energiaigénye tovább nő. Fontos kiemelni, hogy a megújuló energiaforrások esetünkben nem csak a biotüzelőanyagokat jelentik!

Az irányelv előírja, hogy a megfelelő piaci részarány elérése érdekében (a korábbi 5% helyett) már 10 térfogatszázaléknyi (V/V%) biotüzelőanyag keverhető hozzá a kőolaj-származékokhoz anélkül, hogy külön jelzéssel kéne ellátni. Azon felhasznált biotüzelőanyagok hozzájárulását a 10%-os célkitűzéshez, melyek hulladékból, maradékanyagokból, nem élelmezési célú cellulóztartalmú anyagokból és lignocellulóz-tartalmú anyagokból készültek, kétszeresen kell figyelembe venni. (Az *Európai Parlament és a Tanács 2009/28/EK irányelve*)

A következőkben azt mutatom be, hogy az alternatív hajtásrendszerek és tüzelőanyagok milyen formában vannak jelen manapság, és hogyan járulhatnak hozzá a környezetvédelmi célok megvalósításához.

2.2. Alternatív hajtások

2014-től bevezetésre kerül az Euro VI-os norma, amely minden eddiginél nagyobb feladat elé állítja a műszaki szakembereket. Jól szemlélteti ezt az alábbi példa: az 1993-ban bevezetett Euro I-hez képest az Euro V 75%-kal csökkentette a kipufogógázban a nitrogén-oxidok, és 94%-kal a szilárd részecskék mennyiségét. Az Euro VI pedig már az Euro V-höz képest is további 75%-kal csökkenti a nitrogén-oxidok, 50%-kal pedig a részecskék mennyiségét.

Az Európai Unión belül 2014-től kezdve kizárólag olyan újonnan gyártott busz szerezhető be, amely teljesíti az Euro VI-os normákat. Ezek a dízel motorok egyre bonyolultabbak és drágábbak, így mindinkább előtérbe kerülhetnek az alternatív

hajtásmódok, melyek segítségével szintén teljesíthetők az előírt normák. Ezek a hajtások már kisebb-nagyobb mértékben jelen vannak, azonban igazi áttörést még nem értek el. Az egyre szigorodó követelmények, és a zéró emisszió, mint távlati cél felé közelítő elvárásoknak köszönhetően viszont egyre nagyobb teret nyerhetnek a közeljövőben, és a téma átfogó ismeretéhez szükségesnek tartom az ismertetésüket.

Norma	Hatályba lépés	CO g/kWh	HC g/kWh	NOx g/kWh	PM g/kWh	NH3 ppm	Füst m ⁻¹
R49.00	1982	14	3,5	18	-	-	-
EURO 0	1990	11,2	2,4	14,4	-	-	-
EURO I	1993.10.	4,5	1,1	8	0,36	-	-
EURO II	1996.10.	4	1,1	7	0,15	-	-
EURO III	2001.10.	2,1	0,66	5	0,1	-	0,8
EURO IV	2006.10.	1,5	0,46	3,5	0,02	-	0,5
EURO V	2009.10.	1,5	0,46	2	0,02	-	0,5
EEV	nem kötelező	1,5	0,25	2	0,02	-	0,15
EURO VI	2014.01.	1,5	0,13	0,4	0,01	10	-

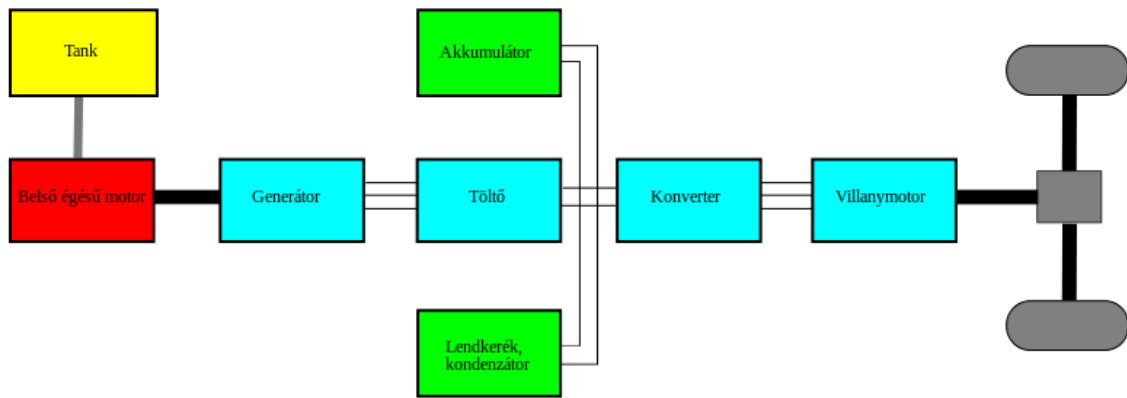
1. táblázat: Európában a nehéz teherautókra és buszokra érvényes emissziós előírások

Forrás: omnibusz.blog.hu

2.2.1. Hibrid hajtás

Bár a hibridek nem feltétlenül biztosítanak teljes mentességet a gázolaj használata alól, mégis jelentős előrelépést jelentenek a hagyományos dízelüzemű buszokhoz képest. A hibrid hajtások lényege, hogy egy belsőégésű, illetve egy villanymotor is megtalálható a gépjárműben. Alapvetően három fő típust különböztetünk meg: a soros, a párhuzamos és a kombinált hibrid hajtást.

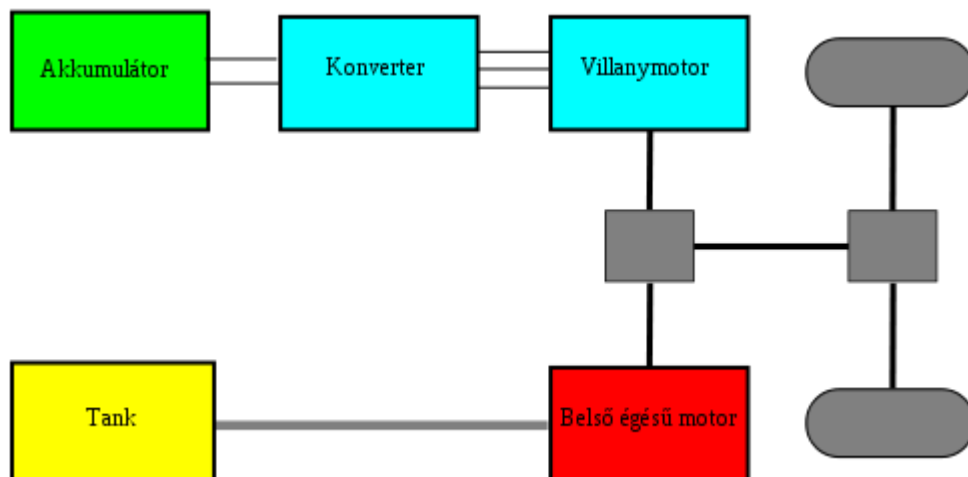
A soros (3. ábra) a legegyszerűbb hibrid hajtás, ebben az esetben kizárólag a villanymotor áll kapcsolatban a kerekekkel, az állandóan optimális üzemben járó belsőégésű motor pedig egy generátort hajt, amely áramot termel a villanymotor, az akkumulátor és az egyéb fogyasztók számára. A villanymotor kaphatja az áramot a generátortól illetve az akkumulátortól is, számítógép szabályozza, hogy az üzem során melyik helyről mennyi áramra van szükség. Fékezéskor a villanymotor generátorként funkcionál, és tölti az akkumulátort. Mivel a hajtás jól teljesít a közösségi közlekedésre jellemző szakaszos üzemben (gyakori megállás-elindulás), ezért előszeretettel alkalmazzák városi buszok esetében. *(Kovács, Török, Bereczky)*



3. ábra: Soros hibrid rendszer

Forrás: <http://users.atw.hu/newways/desktop/car.php>

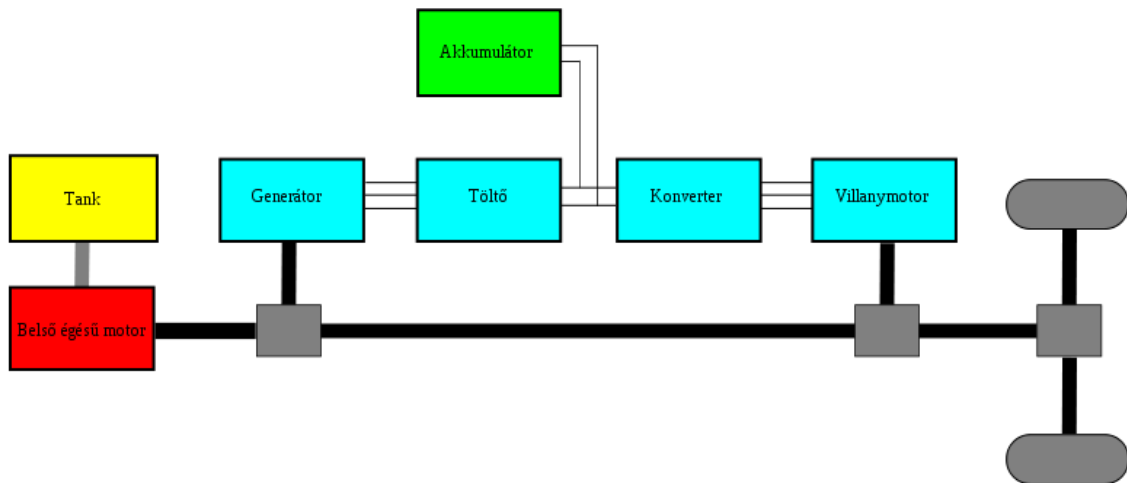
A párhuzamos hibrideknél (4. ábra) a kerekeket a villanymotoron kívül a belsőégésű motor is hajtja. Igénytől függően lehetőség van arra is, hogy a járművet csak az egyik, a vezetési helyzetnek éppen megfelelő motor hajtja, de akár együttesen is működhet mindkét motor.



4. ábra: Párhuzamos hibrid rendszer:

Forrás: <http://users.atw.hu/newways/desktop/car.php>

A kombinált rendszer (5. ábra) egyesíti a soros és a párhuzamos rendszer tulajdonságait. Alapvetően a soros rendszerhez hasonlít, de egy tengelykapcsoló lehetővé teszi, hogy a belsőégésű motor közvetlenül hajtja a kerekeket. Kis fordulatszámon a belsőégésű hőerőgép kis forgatónyomatékot, míg a soros gerjesztésű villanymotor nyugalmi állapotban a legnagyobb forgatónyomatékot adja le, így kiválóan alkalmas arra, hogy induláskor helyettesítse a belsőégésű motort. Mikor azonban az autó már mozgásban van, akkor a gyengébb (kisebb) belsőégésű motor is elegendő lehet.



5. ábra: Kombinált hibrid rendszer

Forrás: <http://users.atw.hu/newways/desktop/car.php>

A nagynevű autóbusz gyártók (pl. Mercedes, Solaris, Volvo stb.) jellemzően mind kifejlesztették már a hibrid típusaikat, és egyre több városban állnak forgalomba. Magyarországon eddig nem terjedtek el, azonban 2014-től Kecskeméten 25 darab Mercedes Citaro soros hibrid busz áll üzembe, melyek segítségével a város egy ún. zéró emissziós zónát tervez kialakítani a belvárosban, így a tömegközlekedési eszközök közül csak a hibrid buszok érinthetik a belvárost, azok is csak elektromos üzemben.

A gyári számítások, és a különböző tesztek mérési eredményei alapján elmondható, hogy átlagosan kb. 10-30% megtakarítás érhető el a fogyasztás terén. A hibrid buszok nagy problémája, hogy jóval drágábbak, mint a hagyományos dízel társaik, és a valós fogyasztás-csökkenés sok esetben elmarad a tervezettől. (http://omnibusz.blog.hu/2010/06/14/kornyezetvedelem_a_busziparban_iii_2_hibrid_buszok_a_gyakorlatban)

2.2.2. Elektromos hajtás

Az elektromos közlekedés kétségkívül nagy jövő előtt áll, de elterjedését egyelőre nagyban akadályozza a technológia magas beszerzési ára. Előnye, hogy maga a jármű a fosszilis tüzelőanyagoktól és az emissziótól teljesen mentes, városi üzemre optimális, kibocsátás csupán az elektromos áram előállítás helyén keletkezik.

Az elektromos járműveket villanymotor hajtja, az energiát pedig – a trolibuszoktól eltérően – nem felsővezetékről nyerik, hanem akkumulátorokban tárolják,

melyek hálózatra csatlakoztatva tölthetők. Régen ólom-savas akkumulátorokat használtak, ma már viszont a nikkelfémhibrid, illetve a lítium-ion technológia a legelterjedtebb. Az egy töltéssel megtehető távolságot (buszok esetében akár 200 km is lehet) az akkumulátorok tulajdonságai nagyban befolyásolják, élettartamuk pedig kb. 5-6 év, így buszok esetében legalább egyszer sor kerül az akkumulátorok cseréjére, amely szintén jelentős költségekkel jár.

Magyarországon elektromos busz nincs forgalomban, viszont tavaly óta több szolgáltató is néhány napon keresztül, próbajelleggel üzemeltette a kínai BYD cég eBUS-12 típusát.

2.2.3. Hidrogénhajtás

Szakértők szerint a hidrogén lesz a jövő energiahordozója, mivel elégetése során csak vízgőz és hő keletkezik. Gyakorlatilag kimeríthetetlen forrás, a világegyetem leggyakoribb eleme. 1 liter folyékony hidrogén 0,24 liter gázolaj energiatartalmával egyenlő, illetve 1 kg hidrogén 2,79 kg gázolajnak felel meg. Tárolása jellemzően két formában történik: cseppfolyós halmazállapotban, illetve sűrített gázként.

A hidrogén járművek hajtására alapvetően két módon hasznosítható: belsőégésű motorokban, illetve tüzelőanyag-cellákban.

- **Tüzelőanyag cella:**

- Előnyei:

- Teljesen tiszta kipufogó gáz.
- Elektromos, soros hibrid hajtásrendszerhez illeszthető.
- Halk.
- Jó a hatásfoka.

- Hátrányai:

- Bonyolult a felépítése, drága.
- Nehéz szabályozni.
- Érzékeny a hőmérsékletváltozásra.
- Nagy tisztaságú (99,999%-os) hidrogént igényel.
- Öregedésével csökken a teljesítménye.

- **Belső égésű motor:**

- Előnyei:

- A tüzelőanyag cellához képest olcsó.
- Olcsón gyártható.
- Kisebb tisztaságú hidrogénnel is üzemképes.
- Hagyományos hajtáshoz illeszthető.

- Hátrányai:

- Nem teljesen tiszta a kipufogógáz, utánkezelést igényel.
- Kicsit a teljesítménye, nyomatéka.
- Zajos, kicsi a hatásfoka.

2003 eleje óta, a CUTE (Clean Urban Transport for Europe) program keretei között több nagyvárosban is teszteltek hidrogénnel hajtott buszokat. A 33 darab tüzelőanyag-cellás Mercedes O530 a program során több mint egymillió kilométert futott 66000 üzemóra alatt. A járművek rendelkezésre állása 92% volt, míg az átlagos fogyasztás 21,3 kg hidrogén/100 km. Előbbi jó értéknek számít, a fogyasztás viszont magas (72,9 l gázolajnak felel meg), ami betudható a villamos energiatárolás hiányának és a nyomatékváltó alkalmazásának. A busz ára 1,25 millió euró volt, ami jóval több, mint egy hagyományos dízelé.

A belső égésű motorral felszerelt MAN Lion's City buszból kétfélét teszteltek: 10 darab turbó- és 4 darab szívómotorral felszerelt változatot, melyeket gázüzemű buszokhoz használt erőforrásokból alakítottak át. A szívó motoros buszok rendelkezésre állása 89%, míg fogyasztásuk 20,93 kg hidrogén (69,5 l gázolaj)/100 km volt.

A folyamatos fejlesztéseknek köszönhetően a hibrid hajtással kiegészített tüzelőanyagcellás buszok fogyasztását (a gyártók szerint) sikerült 10 kg hidrogén/100 km körülire csökkenteniük.

(http://omnibusz.blog.hu/2010/08/11/hidrogennel_hajtott_buszok)

2.2.4. Gázhajtás

A gázüzem az alternatív hajtások legelterjedtebb formája. A motorok általában szikragyújtásúak és Otto-körfolyamat játszódik le bennük, a tüzelőanyag pedig lehet

földgáz, vagyis metán cseppfolyós (LNG) illetve sűrített gáz (CNG) formájában, és lehet folyékony propán-bután gáz (LPG).

Az LPG Magyarországon a 90-es évek közepétől kezdett igazán elterjedni, melynek kiváltó oka a gépjármű-tulajdonosok részéről a költségmegtakarítás volt, azonban környezetvédelmi szempontból is előnyös az autógáz használata. Az LPG és a CNG esetében is elmondható, hogy a hagyományos tüzelőanyagokkal szemben egyszerű szénhidrogén vegyületeket tartalmaznak, a gáz halmazállapotú hajtóanyag pedig tökéletesen elkeverhető a motorba jutó levegővel, ezekből kifolyólag pedig tökéletesebb az égés. A nitrogén-oxid (NO_x) kibocsátás 20-40%-kal, a szénmonoxid (CO) 60-90%-kal, a szénhidrogén (CH) pedig 40-60%-kal kevesebb, mint benzinüzemben. További előny, hogy a tökéletesebb égés következtében nagyon kevés szilárd részecske (PM) keletkezik, és a szén-dioxid (CO_2) kibocsátás is alacsonyabb kb. 15%-kal.

Az autógázok használata során többletvesztés tapasztalható, mivel kisebb az energiasűrűségük, mint a benzinnak, vagy a gázolajnak. Folyékony tüzelőanyag esetén, megadott teljesítmény eléréséhez például 5-20%-kal több gáz szükséges, mint benzin, azonban az autógázok olcsóbbak, mint a hagyományos tüzelőanyagok, így az LPG beszerelése a személyautókba kb. 30000 km után megtérül.

A CNG az elmúlt években vált igazán közkedvelté, az ezredfordulón még körülbelül egymillió autó üzemelt CNG-vel, 2011-re ez a szám 14 millióra emelkedett. Európában az összes CNG járművek 11,1 százaléka autóbusz (157 ezer darab). *(Magyar Gázüzemű Közlekedés Klaszter Egyesület)*

A motor-hajtóanyagként használt CNG minősége megegyezik a háztartásokban is használt földgázzal. A 250 bar nyomásra sűrített gáz a töltőállomásokon kompresszorokkal állítható elő, a tankolás pedig történhet alacsony nyomáson (lassú töltés) és nagy nyomáson is (gyors töltés). A tüzelőanyag nagy előnye, hogy olcsó, tökéletes az égés, és nagyon kedvező a környezeti terhelése. Viszont nem megújuló energiaforrás, mivel fosszilis tüzelőanyagról van szó, illetve hazánkban nem áll rendelkezésre jól kiépített kúthálózat, és az emberek sem szívesen autóznak 2-300 baros gáztartályokon.

Magyarországon 1993-ban az Égáz-Dégáz Rt. kezdte meg a földgáz tüzelőanyagként való felhasználását és elterjesztését a közlekedésben. Az első nagyobb teljesítményű földgáztöltő állomást Szegeden létesítették a Tisza Volán Rt. közreműködésével, mely a 90-es évek közepe óta üzemelteti a gázbuszokat Szeged helyi közösségi közlekedésében. A cég állományában napjainkban 43 CNG busz található meg, a Tisza Volán mellett pedig korábban még a Hajdú Volán is üzemeltetett ilyen járműveket az ún. Metánbusz program keretében, azonban mára a töltőállomás és a járművek is üzemén kívül kerültek. (Zádor, Török 2010)

2.3. Biotüzelőanyagok bemutatása

2.3.1. Csoportosítás

Az előállítás szempontjából megkülönböztetünk első, második illetve harmadik generációs biotüzelőanyagokat.

Az első generációs tüzelőanyagok jellemzően emberi fogyasztásra alkalmas növényekből, például gabonából készülnek. Hagyományosan ide sorolják a cukor- és keményítőtartalmú anyagokra alapozott bioetanol, illetve a szántóföldi növényekből és állati eredetű melléktermékekből készült biodizelt. Ezzel kapcsolatban gyakran felmerülnek különböző (vitatható) aggályok, melyek szerint:

- A gépjárművekbe töltjük az élelmiszert, ezért éhínséget okoznak.
- Területet foglalnak el az élelmiszer-előállítástól, valamint okai az esőerdők kiirtásának.
- Energetikai hatékonyságuk gyenge, több energia kell az előállításukhoz, mint amennyi nyerhető a felhasználásukkal.
- Környezet- és természetvédelmi hatásuk negatív, az intenzív termesztésnek és a speciális fajtáknak köszönhetően.
- Kevés munkahelyet teremtenek az automatizált technológiák miatt. (Bai 2011)

A második generációs biotüzelőanyagok esetében a kiinduló alapanyag nem élelmiszernövény, így például az első generációs technológiáknál felmerült, élelmezési problémákat boncolgató vita feloldódhat. Ezek előállításához a korábban is felsorolt

hulladékokat, lignocellulóz alapú biomasszát, nem étkezésre szánt növényi biomasszát (pl. fűvet, fákat) alkalmaznak.

A harmadik generációs biotüzelőanyagok előállításához mikrobákat és mikroalgákat használnak fel. Ez a technológia még nem áll rendelkezésre ipari körülmények között, egyelőre a kutatók csak kísérleti szinten foglalkoznak a témával, mely azonban hosszú távon pozitív reményekkel kecsegtet. *(Varga-Erdei 2011)* *(Somogyi 2011)*

Jelenleg az első generációs technológiákkal előállított biotüzelőanyagok teszik ki a felhasznált mennyiség nagyobb részét, azonban a második és harmadik generációs technológiák az elkövetkezendő években várhatóan átveszik a vezető szerepet. Az Európai Unió is felismerte az emberi fogyasztásra nem alkalmas növényekre alapozott technológiák jelentőségét, és ezek elterjedését elősegítendő, 2012-ben az Európai Bizottság egy javaslatot tett közzé, melynek célja globális szinten korlátozni a biotüzelőanyag termelésre átállított földek arányát, és jobban kihasználni ezen tüzelőanyagok felhasználásából adódó éghajlati előnyöket az EU-ban. Ennek érdekében a megújuló energiaforrások 10%-os részarányából az első generációs biotüzelőanyagok mindössze 5%-os részarányt képviselhetnek, ami gyakorlatilag a jelenlegi állapot megőrzését jelenti. A javaslattal a második generációs technológiák elterjedését, és a minél jobb tüzelőanyagok fejlesztését kívánják ösztönözni. *(Európai Bizottság 2012)*

2.3.2. Bioetanol és biodízel

Ha a biotüzelőanyagok szóba kerülnek, akkor az emberek általában a bioetanolra és a biodízeltre gondolnak.

Az etanolt már a belsőégésű motorok megszületésekor is a lehetséges hajtóanyagok között tartották számon, azonban a kőolajalapú nyersanyagok alacsony áruk és nagy mennyiségük miatt hamar kiszorították a piacról, etanoltól motorok hajtására nagyobb mennyiséget csak a II. világháború előtt és alatt használtak. Maga az etanol egy szerves vegyület, az etil-alkohol, képlete: C_2H_5OH . Bioetanolnak akkor nevezhető, ha növényi eredetű alapanyagokból állítjuk elő. Legegyszerűbben cukortartalmú anyagok erjesztésével készíthető, például búzából, kukoricából, cukorrépából, cukornádból, de a biohulladék is hasznosítható ily módon, például

kukoricaszár, csutka vagy krumplihéj felhasználásával. Alkalmazása alapvetően a benzinüzemű Otto-motorokban elterjedt, de lehetőség van a dízelüzemű járművekben is felhasználni. Alkalmazható tisztán, vagy a kőolajszármazékokhoz hozzákeverve. Előbbi esetben a belsőégésű motorokat mindenképpen át kell alakítani, mivel a hagyományos motorokat károsítja a tiszta etanollal (E85, vagyis 85% etanolt és 15% benzint tartalmazó keverékkel) történő üzemelés. Utóbbi esetben ez nem feltétlenül szükséges, kis mennyiségben hozzákeverve a benzinhoz a járművek problémamentesen üzemelhetnek. *(Emőd, Füle, Tánczos, Zöldy 2005)*

A növényi olajokból átészterezéssel nyerhetünk a gázolajhoz hasonló tüzelőanyagot. Európában, az éghajlati adottságokból fakadóan a napraforgó illetve legnagyobb mértékben a repce termesztése és feldolgozása folyik. Az ezekből nyert repce (vagy napraforgó) olaj-metilészter (RME) pedig nem más, mint a biodízel. Az RME legfőbb előnyei a nyers növényi olajhoz képest a nagyobb cetánszám és a kisebb viszkozitás, melyek már megfelelnek a gázolajra vonatkozó szabványok előírásainak. A biodízel nem csak növényi olajokból, hanem állati eredetű zsiradékokból és használt étkezési célú sütőolajból is előállítható (FAME – zsírsav-metilészter). A bioetanolhoz hasonlóan a biodízel is alkalmazható tisztán (a motorok átalakításával), illetve gázolajhoz keverve is. *(Zöldy 2007)*

Az Európai Unió egységes, harmonizált szabályai szerint az üzemanyagok az Unió belső piacán akkor forgalmazhatók, ha megfelelnek az üzemanyagok minőségére vonatkozó 98/70/EK irányelvben meghatározott specifikációknak. Ilyen paraméterek például az oktánszám, a göznyomás, a cetánszám, az aromás szénhidrogén-tartalom, vagy az alkohol-, éter-, és kéntartalom. Ez egyben azt is jelenti, hogy az EU-ban sehol sem akadályozható azon termékek forgalma, melyek megfelelnek az előírtaknak. Hazánkban a MOL 2007 óta forgalmazza az ún. E5-ös benzint, 2008 óta pedig a B5-ös gázolajat, melyek (a jelzésüknek megfelelően) legfeljebb 5%-nyi bioetanolt és biodízelt tartalmaznak. *(<http://www.mol.hu/repository/298613.pdf>)*

A biotüzelőanyagok környezeti hasznának vizsgálatakor fontos szempont, hogy milyen alapanyagból állították elő, hiszen bioetanol és bioetanol között is lehet különbség. A vizsgálathoz gyakran alkalmazzák az életciklus-elemzést, amely a felhasználás során keletkezett (Tank-to-Wheel) kibocsátás figyelembe veszi az előállítás és a szállítás keletkezett (Well-to-Tank) emissziót is. Kínában végzett számítások

szerint például a gabonából és kukoricából készült bioetanol CO₂ ekvivalens kibocsátása 6 és 21%-kal nagyobb a hagyományos dízelhez képest, míg a maniókából és cukornádból előállított bioetanol 16 és 44%-kal kedvezőbb értéket mutat. A repceből és szójából előállított biodízel alkalmazása igen kedvező eredményekre vezetett: 72 és 66%-kal kisebb ÜHG kibocsátást mutatott. (Yan, Crookes 2009)

2.3.3. Biogáz felhasználása a közlekedésben

A bioetanolon és a biodízelen kívül léteznek még más, kevésbé elterjedt biotüzelőanyagok is a közlekedésben. Ezek közül a biogázt mutatom be részletesebben.

A biogáz olyan gáznemű tüzelőanyag, melyet biomasszából és/vagy hulladékok lebomló részéből állítanak elő. Két fő összetevője: a metán (CH₄) és a szén-dioxid (CO₂). A metán a földgáz fő alkotórésze, melyet a CNG motorokban is hasznosítanak, a CO₂ viszont kedvezőtlen hatással van a tüzelőanyag égési tulajdonságaira, mivel nem éghető vegyületről van szó, amely lassítja az égési folyamatot, sőt egy bizonyos részarány felett teljesen meggátolja. Éppen ezért a nyers biogáz használata belsőégésű motorokban nem jellemző, viszont nagymértékű tisztítási folyamat során nyerhető belőle a biometán, illetve melléktermékként keletkezik a szén-dioxiddal telített hulladékgáz. Biometánnak azokat a biogázokat nevezzük, melyek legalább 97%-ban tartalmaznak metánt, gyakorlatilag a földgázzal egyenértékűnek tekinthetők, ezért anélkül juttathatók a CNG motorokba, hogy annak bármilyen részét módosítani kellene, valamint betáplálható a földgázhálózatba is. CNG üzemre kiépített töltőhálózat megléte esetén a szállítás is problémamentesen biztosítható, míg azokban az országokban, ahol az infrastruktúra nem áll rendelkezésre, ott közúton, sűrített vagy folyékony állapotban, palackokban szállítható. (Technische Universität Wien 2012) (Domanovszky 2011) (Kovács, Török, Bereczky)

Magyarországon egy 2012-es tanulmány (Strauch, Krassowski, 2012) szerint 56 biogáz-üzem működik. Ebből 8 a szeméttelpeken, 14 a szennyvíztelepeken keletkező biogázt hasznosítja, a többi pedig biohulladékból és egyéb mezőgazdasági alapanyagokból dolgozik. A hazai biogáz potenciál elméleti teljesítménye akár a 750MW-ot is elérheti, amelyből több mint kétmilliárd normálköbméter biometán is előállítható évente.

(http://www.energiacentrum.com/news/biometan_mint_kivalo_biouzemanyag.html)

Ma még alapvetően áramtermelésre és fűtésre használják a biometánt, közlekedési alkalmazása nem jellemző, kereslet nem is igen van rá. Bevezetésére a tömegközlekedés lehet leginkább alkalmas, ahol a CNG buszok futhatnak biogázzal, így egy nagyobb flotta is könnyedén, egyszerre állhat át a biogáz használatára. Ez a tüzelőanyag gyakorlatilag ötvözi a sűrített földgáznak a helyi károsanyag emisszióra gyakorolt kedvező hatását a CO₂ kibocsátás csökkentésével. Ezt jól szemlélteti egy írországi kutatás (Ryan, Caulfield, 2010), mely során modellezték a különböző összetételű buszflotta éves kibocsátását. Négy alapfelállást vizsgáltak meg, az első esetben a 81 darabos járműpark vegyesen EURO II-III-IV környezetvédelmi besorolású buszokból állt, a második esetben már csak EURO V-ös buszokat vizsgáltak. A harmadik modellben kizárólag CNG buszokat vizsgáltak, végül pedig a bio-CNG flotta paramétereit nézték meg. A kutatás eredményeit a 2. táblázat tartalmazza.

Szennyező	Euro II-III-IV	Változás az 1. esethez képest [%]	Euro V	Változás az 1. esethez képest [%]	CNG	Változás az 1. esethez képest [%]	Biogáz	Változás az 1. esethez képest [%]
CO ₂	7861	100	7689	-2	7022	-11	2809	-64
N ₂ O	0,044	100	0,181	+311	0	-100	0	-100
CO	19,45	100	2,23	-89	5,59	-71	5,59	-71
VOC	3,45	100	0,24	-93	5,59	+62	5,59	+62
SO ₂	0,249	100	0,244	-2	0	-100	0	-100
NO _x	82,02	100	28,65	-65	13,97	-83	13,97	-83
NO ₂	10,37	100	2,87	-72	0	-100	0	-100
PM _{2,5}	1,667	100	0,671	-60	0,221	-87	0,221	-87
PM ₁₀	1,879	100	0,883	-53	0,432	-77	0,432	-77

2. táblázat: Különböző dízel, CNG és biogáz buszflották emissziójának összehasonlítása

Forrás: (Ryan, Caulfield 2010)

Látható, hogy a modellnél a hagyományos CNG és a bio-CNG között csak a CO₂ kibocsátásban van különbség, a számítások eredményei pedig mutatják a technológia előnyét a dízelhez képest: kizárólag az illékony szerves vegyületek (VOC) esetében nőtt meg a kibocsátás, az összes többinél jelentős csökkenés tapasztalható. A CO₂ kibocsátás a tüzelőanyag-fogyasztás és a tüzelőanyag fajtájának a függvénye. Ez szintén jól látható az adatokból, gázolaj tüzelőanyag esetén az első két esetben a CO₂ emisszió gyakorlatilag megegyezik, a gázüzemű buszoknál azonban már jelentős a változás. Biogáz buszok esetén ez az érték 2809 t/év, amely az első változathoz képest 64%-kal, a CNG-hez képest pedig 60%-kal kevesebb. Ebben rejlik a biogáz nagy előnye.

2.3.4. Tüzelőanyagok összehasonlítása

A bemutatott tüzelőanyagok főbb tulajdonságait a 3. táblázat tartalmazza. A későbbi számításokhoz a fűtőértékek ismerete elengedhetetlen. Látható, hogy a benzinhoz és a gázolajhoz kevert biokomponensek fűtőértékei elmaradnak a fosszilis tüzelőanyagokétól.

Tüzelőanyag	Sűrűség [kg/m ³]	Fűtőérték [MJ/kg]	Fűtőérték [MJ/m ³]	Oktánszám	Cetánszám
Benzin	760	42,7	32500	92	
Gázolaj	840	42,7	35900		50
Bioetanol	790	26,8	21200	>100	
Biodízel	880	37,1	32700		56
Biometán	0,72	50	36	130	

3. táblázat: Tüzelőanyagok fontosabb tulajdonságai

Forrás:

[ftp://ftp.energia.bme.hu/pub/Energetikai_folyamatok_es_berendezesek/BME_Alternat%C3%ADv%20Hajt%C3%B3anyagok_2011%20\[Kompatibilit%C3%A1si%20m%C3%B3d\].pdf](ftp://ftp.energia.bme.hu/pub/Energetikai_folyamatok_es_berendezesek/BME_Alternat%C3%ADv%20Hajt%C3%B3anyagok_2011%20[Kompatibilit%C3%A1si%20m%C3%B3d].pdf)

3. Matematikai modell felépítése

3.1. A probléma leírása

A 2020-as célkitűzések alaposabb vizsgálata során felvetődik a probléma, hogy az előírt 10e/e%-os elérendő megújuló részarány és a jelenleg bekeverhető 10V/V%-os biotüzelőanyag részarány nincs összhangban, mivel a benzinhoz hozzákeverendő bioetanol jelentősen, a gázolajhoz keverendő biodízel pedig minimálisan kisebb fűtőértékkel rendelkezik, mint a hagyományos tüzelőanyagok (lásd 3. táblázat). Ennek köszönhetően a jelenleg megengedhető maximális biotüzelőanyag-komponens hozzákeverés esetén is 10e/e% alatt marad a megújuló tüzelőanyag részaránya. A cél az, hogy meghatározzuk, mekkora energiakülönbséget kell áthidalni egyéb (vagyis nem bioetanol/biodízel) megújuló energiahordozó alkalmazásával, amely esetünkben a biogáz.

A számítások során, a részarány meghatározásakor a közúti és vasúti energiafelhasználáshoz kell viszonyítani a felhasznált megújuló tüzelőanyagokból származó energiát. (Paár, Telekesi 2012)

Amennyiben elfogadjuk, hogy a villamos-energia megújuló részaránya 2020-ig eléri a 10%-ot (A Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési terve 2010-2020 c. dokumentum egyébként 10,9%-ot feltételez), akkor a 10%-os megújuló hányad elérése a tüzelőanyagok esetében már biztosítja a kitűzött cél megvalósulását. Nem jelent nagy pontatlanságot, ha kizárólag a motorbenzin és a gázolaj felhasználásából indulunk ki, ugyanis az egyéb alternatív hajtóanyagok jelenleg nagyon kicsi, gyakorlatilag elhanyagolható részarányt (1-2% között) képviselnek. Ez nem csak Magyarország esetében igaz, a Nemzetközi Energiaügynökség ábráin is jól láthatóak a 2020-ra várt arányok. Számításaik szerint 2050-re már látványosan módosulhat a helyzet, ám az olaj - bár felhasználása a közlekedésben csökken - továbbra is domináns marad. Az olajfelhasználás 2020-2025 környékén éri el a csúcspontot globális szinten. (<http://www.iea.org/etp/explore/>)



6. ábra: Közlekedésben felhasznált energiamennyiségek várható alakulása globálisan, 2020-ban

Forrás: <http://www.iea.org/etp/explore/>



7. ábra: Közlekedésben felhasznált energiamennyiségek várható alakulása globálisan, 2050-ben

Forrás: <http://www.iea.org/etp/explore/>

3.1.1. Energiamennyiségek számítása

Az éves tüzelőanyag-fogyasztásra vonatkozó adatok elérhetők a NAV honlapján. A fogyasztási adatokból és a tüzelőanyagok fűtőértékéből könnyen számítható a felhasznált energiamennyiség a következő módon:

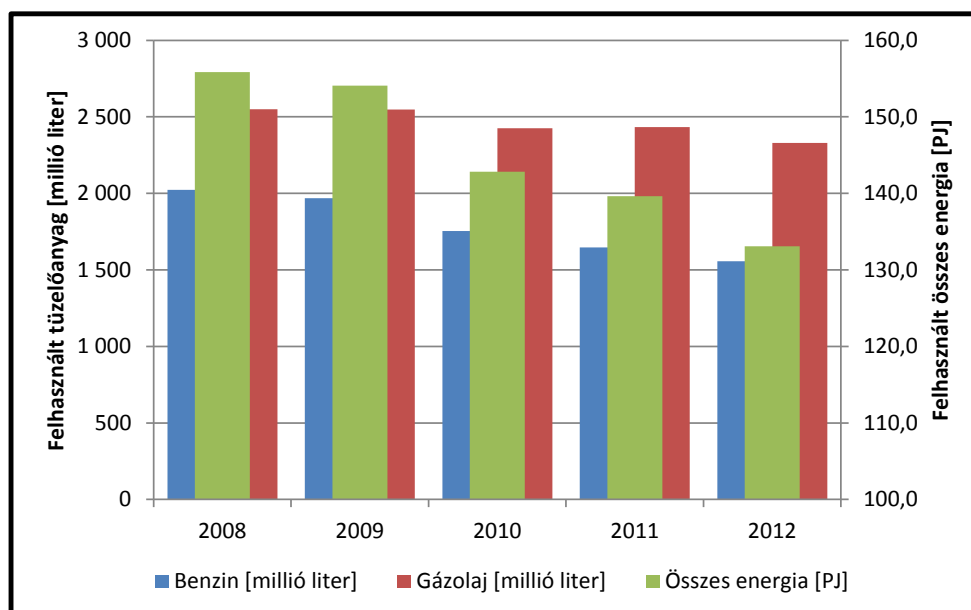
$$(1) \quad \frac{V_{\text{tüzelőanyag}}[\text{millió l}] * \text{fűtőérték} \left[\frac{\text{MJ}}{\text{l}} \right]}{1000} = \text{Energia [PJ]}$$

Hazánkban 2008 óta kevernek 4,4V/V%-ban biokomponenseket a tüzelőanyagokhoz, azóta a következőképpen alakultak a felhasznált mennyiségek:

Év	Benzin [millió liter]	Ebből etanol (4,4V/V%) [millió liter]	Benzinből nyert energia [PJ]	Gázolaj [millió liter]	Ebből biodízel (4,4V/V%) [millió liter]	Gázolajból nyert energia [PJ]	Összes energia [PJ]
2008	2 085	91,7	66,7	3 472	152,8	124,2	190,9
2009	2 026	89,1	64,8	3 458	152,2	123,7	188,5
2010	1 790	78,8	57,3	3 274	144,1	117,1	174,4
2011	1 692	74,4	54,1	3 293	144,9	117,8	171,9
2012	1 584	69,7	50,7	3 121	137,3	111,6	162,3

4. táblázat: A hazai közlekedés által felhasznált tüzelőanyag- és energiamennyiség

Forrás: Saját szerkesztés



8. ábra: A hazai közlekedés által felhasznált tüzelőanyag- és energiamennyiség

Forrás: Saját szerkesztés

A táblázatból és a diagramból látható, hogy az elmúlt években a felhasznált tüzelőanyag-mennyiség jelentősen csökkent, amelyet főként a benzinfogyasztás visszaesése okozott. A gázolaj mennyisége kisebb mértékben változott.

A legutóbbi évben 69,7 és 137,3 millió liter etanolt és biodízelt keverték hozzá a tüzelőanyagokhoz, az ezekből nyert energia (1) alapján összesen 6 PJ, ami körülbelül 3,7e/e%-os részarányt jelent. A 2012-es évet alapul véve, és a maximálisan megengedhető 10V/V%-os hozzákeveréssel számolva az említett értékek a következőképpen alakulnának:

$$\begin{aligned} \text{etanol: } & \frac{158,4 [\text{millió l}] * 21,2 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{l}} \right]}{1000} = 3,4 \text{ PJ} \\ \text{biodízel: } & \frac{312,1 [\text{millió l}] * 32,7 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{l}} \right]}{1000} = 10,2 \text{ PJ} \end{aligned}$$

Ez tehát összesen **13,6 PJ** megújuló energiát jelentene, amely mindössze **8,4e/e%** részarányt biztosítana, így a 10e/e%-os célkitűzéshez (ami 2012-ben 16,23 PJ) még hiányozna további **2,63 PJ**. (A korábbi 20e/e%-os elképzeléshez igazodva viszont 18,86 PJ-ra lenne szükség más forrásból.) Egy megoldási lehetőséget jelenthet, ha ezt az energiamennyiséget biometán használatával küszöböljük ki. A fűtőérték segítségével pedig ismét könnyen meghatározhatjuk, hogy kilogramm gázt is jelent ez.

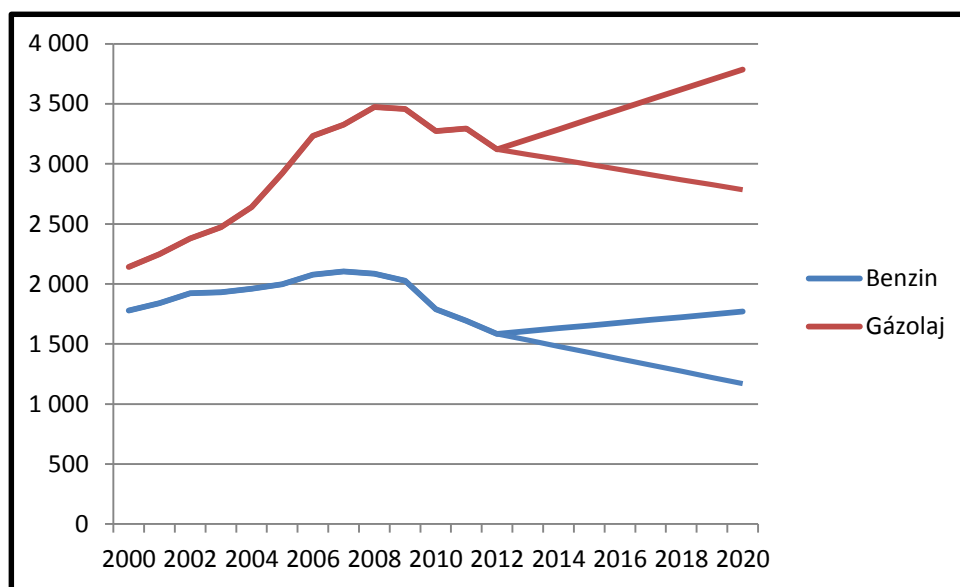
$$(2) \quad \frac{\text{Energia [PJ]} * 1000}{\text{Fűtőérték} \left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right]} = m_{\text{biometán}} [\text{millió kg}]$$

Behelyettesítés után megkapjuk, hogy $\frac{2,63[\text{PJ}] * 1000}{50 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right]} = 52,6 \text{ millió kg}$ biometán lenne szükséges a fennmaradó energiamennyiség fedezésére, ennek térfogata a sűrítés mértékétől függően változhat.

Fontos megvizsgálni, hogy 2020-ban hogyan alakulhatnak az előzőleg kiszámolt értékek, mivel erre az időpontra kell megfelelni a 10e/e%-os elvárásnak. A 2020-as tüzelőanyag-felhasználási értékeket a múltbéli (2000-2012) adatokból becsültem meg. A jövőbeli értékek bizonytalansága miatt a benzin és a gázolaj esetében is meghatároztam egy alsó és egy felső határértéket, melyek segítségével alulról, illetve felülről megbecsülhető a jövőben szükséges gázüzemű autóbusz-állomány mérete.

Az egyik esetben feltételezzük, hogy 2020-ig a közlekedési volumen és a tüzelőanyag-felhasználás növekedésnek indul, azonban a 2007-2008-ig tartó növekedésnél szerényebb mértékben. Ez jelen esetben úgy mutatkozik meg, hogy a korábbi növekedési ütem felével számoltam átlagosan az elkövetkezendő 7 évre.

A másik véglet meghatározásánál ugyanezen a módon jártam el: a válság elhúzódását, az üzemanyagárak további növekedését, ám a közlekedési volumen mérsékeltebb csökkenését feltételezve a 2008-2012 közötti zuhanás meredekségének a felével számoltam tovább 2020-ig.



9. ábra: Becsült tüzelőanyag-felhasználás 2020-ig

Forrás: Saját szerkesztés

Év	Benzin [millió liter]	Ebből etanol (10V/V%) [millió liter]	Benzinből nyert energia [PJ]	Gázolaj [millió liter]	Ebből biodízel (10V/V%) [millió liter]	Gázolajból nyert energia [PJ]	Összes energia [PJ]
2020 növekedés	1 770	177,0	55,5	3 786	378,6	134,7	190,2
2020 csökkenés	1 169	116,9	36,7	2 784	278,4	99,1	135,7

5. táblázat: Becsült tüzelőanyag- és energiafelhasználás 2020-ban

Forrás: Saját szerkesztés

Alkalmazva a korábbi képleteket megkapjuk, hogy a már 10V/V% részaránnyal számított etanoból és biodízelnél mennyi energiát nyerhetünk. Ez az optimista (növekedést feltételező) esetben a következő:

$$etanol: \frac{191,5 [\text{millió l}] * 21,2 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{l}} \right]}{1000} = 4,1 \text{ PJ}$$

$$biodízel: \frac{377,4 [\text{millió l}] * 32,7 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{l}} \right]}{1000} = 12,3 \text{ PJ}$$

Ez összesen **16,4 PJ** megújuló energia, ami 8,4e/e%-ot jelent. Hiányzik további **3,04 PJ** megújuló energia, melyet a már említett módon biometánnal tervezünk fedezni.

Ebből pedig a szükséges mennyiség $\frac{3,04[\text{PJ}] * 1000}{50 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right]} = \mathbf{60,8 \text{ millió kg}}$.

Pesszimista (továbbra is csökkenést feltételező) esetben a bioetanolból 2,5 PJ, a biodízeltől pedig 9,1 PJ nyerhető, ami összesen **11,6 PJ** megújuló energiát jelent. A hiány ez esetben **2 PJ** lesz, melyhez **40 millió kg** biometánra van szükség.

Bár az eddigi számítások során úgy gondolkodtunk, hogy adott mennyiségű hiányzó megújuló energia pótlására biometánt égetünk el, a valóságban arra van lehetőségünk, hogy járműcserét hajtsunk végre. Esetünkben dízelüzemű buszok helyett biogáz buszokat állítunk üzembe, és megvizsgáljuk, hogy a lecsereelt állomány nagysága hogyan befolyásolja a tüzelőanyag-felhasználást. Ehhez állítunk fel modellt, amellyel a bemenő paraméterek megadása után elvégezhető a számítás.

3.2. Modellegyenletek

A modellünk számára a kiinduló adatok a teljes hazai közlekedésre vonatkozó 2020-as tüzelőanyag-felhasználási mennyiségek, melyek az 5. táblázatban található. Mivel dízel buszokat vonunk ki a forgalomból, ezért a felhasznált benzin mennyiségére nincs hatással a buszállomány változásának mértéke, minden esetben 1915 millió liter benzin kerül elfüstölésre. Ebből az értékből számítható, hogy ez a mennyiség mennyi „tisza” benzint és mennyi „tisza” bioetanolt tartalmaz, amelyek a számításaink során szintén végig konstansak maradnak.

$$(3) \quad m_{benzin}[\text{kg}] = V_{benzintüza}[\text{l}] * 0,9 * \rho_{benzin} \left[\frac{\text{kg}}{\text{l}} \right]$$

$$(4) \quad m_{bioetanol}[\text{kg}] = V_{benzintüza}[\text{l}] * 0,1 * \rho_{bioetanol} \left[\frac{\text{kg}}{\text{l}} \right]$$

Nagyon hasonló módon számítható a felhasznált dízel tüzelőanyagból a „tisztá” gázolaj illetve a biodízel mennyisége is.

$$(5) \quad m_{gázolaj}[kg] = V_{dízeltüza}[l] * 0,9 * \rho_{gázolaj}[\frac{kg}{l}]$$

$$(6) \quad m_{biodízel}[kg] = V_{dízeltüza}[l] * 0,1 * \rho_{biodízel}[\frac{kg}{l}]$$

Ezek már nem lesznek konstans mennyiségek, mivel a felhasznált dízel tüzelőanyag mennyisége függ a lecserélt buszok darabszámától, fogyasztásától és éves futásteljesítményétől.

$$(7) \quad V_{dízeltüza}[l] = V_{dízelkezdeti}[l] - \left(n_{csb} * r_d \left[\frac{l}{km} \right] * s_d[km] \right)$$

ahol $V_{dízelkezdeti}$ a 2020-ra becsült gázolaj-felhasználás

n_{csb} a lecserélt buszok darabszáma

r_d a dízelbuszok fajlagos fogyasztása

s_d a dízelbuszok futásteljesítménye

A felhasznált biometán mennyiségét a következő egyenlet segítségével számíthatjuk. Feltételezzük, hogy az üzembe állított biogáz buszok éves futásteljesítménye megegyezik a forgalomból kivont dízelbuszok éves futásteljesítményével.

$$(8) \quad m_{biometán}[kg] = n_{csb} * r_b \left[\frac{kg}{km} \right] * s_b[km]$$

ahol n_{csb} a lecserélt buszok darabszáma

r_b a biogáz buszok fajlagos fogyasztása

s_b a biogáz buszok futásteljesítménye

Az összes vizsgált tüzelőanyagból (vagyis benzinből, bioetanolból, gázolajból, biodízelből és biometánból) nyert energiákra is szükségünk van a modellhez. Ezt követően már lehetőség nyílik a megújuló részarány kiszámítására is.

$$(9) \quad E_{tüzelőanyag}[MJ] = m_{tüzelőanyag}[kg] * fűtőérték[\frac{MJ}{kg}]$$

$$(10) \quad \text{Megújuló részarány} [\%] = \frac{E_{bioetanol} + E_{biodízel} + E_{biometán}}{\Sigma E} * 100\%$$

4. Modelleredmények értékelése

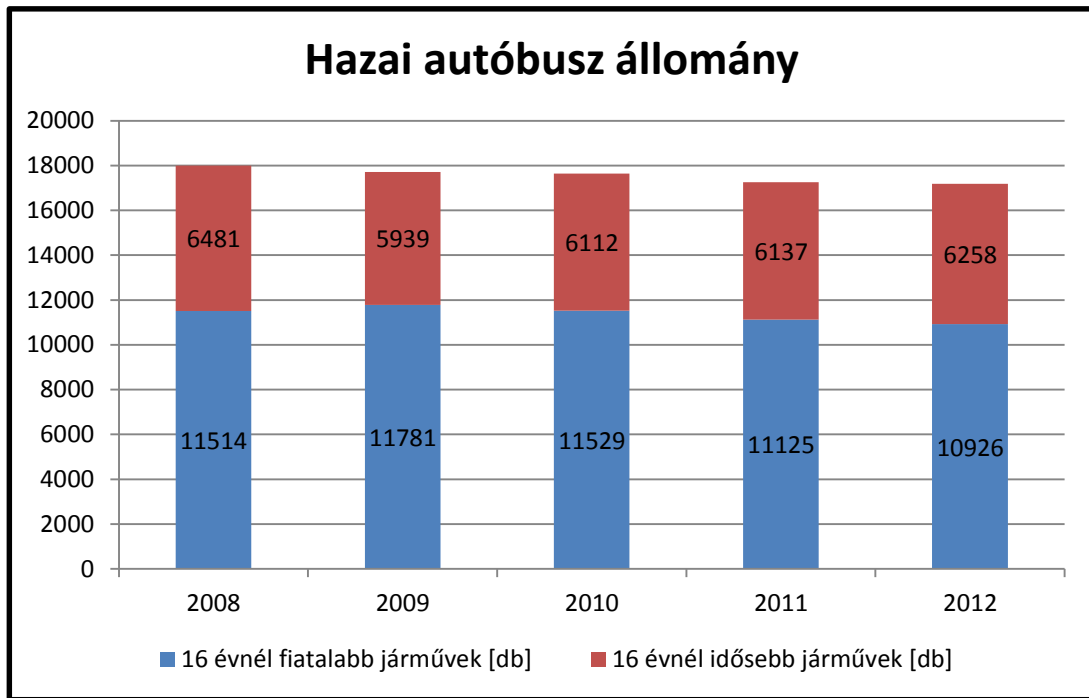
A modell felhasználásához az eddigi fizikai összefüggéseken túl már a közlekedéstudományi ismeretünkre és szemléletünkre is szükség van. Rendelkezésünkre áll egy modell, melynek segítségével, a megadott bemenő paraméterek (tüzelőanyag-felhasználás, fogyasztás és futásteljesítmény értékek) alapján vizsgálhatjuk, hogy mekkora buszállomány lecserélésével érhetjük el a kívánt, 10e/e%-os megújuló tüzelőanyag részarányt.

Nem teljesen egyértelmű, hogy a bemenő adatok közül mekkorának válasszuk a fogyasztást és a futásteljesítményt. Utóbbi esetében feltételeztük, hogy a járműcsere nincs hatással a nagyságára, vagyis, hogy a dízel és a biogáz buszok futásteljesítménye egyenlő. Fontos azonban meghatározni azt, hogy milyen viszonylatokon üzemelő járművek képezzék a vizsgálat tárgyát, ugyanis a **helyi, helyközi** vagy **távolsági** üzem alapvetően befolyásolja a számunkra fontos éves futásteljesítményt és a fajlagos fogyasztást.

A városi buszok a gyakori megállásoknak, illetve gyorsításoknak köszönhetően magasabb fajlagos fogyasztással és alacsonyabb átlagsebességgel, ennek köszönhetően kisebb futásteljesítménnyel működnek, mint a települések közötti forgalmat lebonyolító járművek.

A hazai autóbusz állomány 2008 és 2012 között mintegy 800 db-bal csökkent, tavaly év végén a KSH adatai szerint 17184 autóbuszt regisztráltak Magyarországon, melyek közül több mint 6200 példány 16 évnél idősebb volt.

A cél elsősorban a régi járművek helyettesítése biogáz üzeműekkel, és a jelenlegi állományból kiindulva 2020-ig több ezer autóbusz lecserélése válik esedékessé.



10. ábra: A hazai autóbusz állomány nagyságának alakulása az elmúlt években

Forrás: KSH

4.1. Városi autóbuszok cseréje

4.1.1. Optimista (növekedő) változat

A modell segítségével első körben kizárólag a városi járműállomány cseréjét vizsgálom. A rendelkezésre álló adatok alapján a dízelüzemű fogyasztást 45 l/100 km-re, az átlagos éves futásteljesítményt pedig 65000 km-re becsültem. A Helsinkiben üzemelő CNG buszok átlagos fogyasztása 42 kg/100 km (*Kytö, Rantanen, Nylund 2012*), ezt a modellhez megfelelőnek találtam, mivel az értékhez más külföldi példák számai is elég közel állnak. A számítás eredményeit a 6. táblázat mutatja be.

A legfontosabb adat gyorsan leolvasható: az általunk vizsgált körülmények figyelembevételével **2030 darab** városi autóbusz lecserélése biztosítja a 10%-os megújuló energiahányadot a teljes hazai közlekedés számára. Fontos kérdés azonban, hogy vajon lesz-e több mint 2000, leváltásra érett városi busz 2020-ig, vagy a cél érdekében olyan járművek cseréjére is szükség lesz, melyek még megfelelő színvonalon lennének képesek üzemelni?

Cserélt busz [db]	Összes benzintüze [l]	Összes dízeltüze [l]	Biometán [kg]	Benzin [MJ]	Bioetanol [MJ]	Gázolaj [MJ]	Biodízel [MJ]	Biometán [MJ]	Összes energia [MJ]	Megújuló hányad
0	1 770 000 000	3 786 000 000	-	51 696 036 000	4 174 368 000	122 216 623 200	12 360 532 800	-	190 447 560 000	8,68%
10	1 770 000 000	3 785 707 500	273 000	51 696 036 000	4 174 368 000	122 207 180 949	12 359 577 846	13 650 000	190 450 812 795	8,69%
20	1 770 000 000	3 785 415 000	546 000	51 696 036 000	4 174 368 000	122 197 738 698	12 358 622 892	27 300 000	190 454 065 590	8,70%
30	1 770 000 000	3 785 122 500	819 000	51 696 036 000	4 174 368 000	122 188 296 447	12 357 667 938	40 950 000	190 457 318 385	8,70%
40	1 770 000 000	3 784 830 000	1 092 000	51 696 036 000	4 174 368 000	122 178 854 196	12 356 712 984	54 600 000	190 460 571 180	8,71%
50	1 770 000 000	3 784 537 500	1 365 000	51 696 036 000	4 174 368 000	122 169 411 945	12 355 758 030	68 250 000	190 463 823 975	8,71%
60	1 770 000 000	3 784 245 000	1 638 000	51 696 036 000	4 174 368 000	122 159 969 694	12 354 803 076	81 900 000	190 467 076 770	8,72%
...
2000	1 770 000 000	3 727 500 000	54 600 000	51 696 036 000	4 174 368 000	120 328 173 000	12 169 542 000	2 730 000 000	191 098 119 000	9,98%
2010	1 770 000 000	3 727 207 500	54 873 000	51 696 036 000	4 174 368 000	120 318 730 749	12 168 587 046	2 743 650 000	191 101 371 795	9,99%
2020	1 770 000 000	3 726 915 000	55 146 000	51 696 036 000	4 174 368 000	120 309 288 498	12 167 632 092	2 757 300 000	191 104 624 590	9,99%
2030	1 770 000 000	3 726 622 500	55 419 000	51 696 036 000	4 174 368 000	120 299 846 247	12 166 677 138	2 770 950 000	191 107 877 385	10,00%
2040	1 770 000 000	3 726 330 000	55 692 000	51 696 036 000	4 174 368 000	120 290 403 996	12 165 722 184	2 784 600 000	191 111 130 180	10,01%
2050	1 770 000 000	3 726 037 500	55 965 000	51 696 036 000	4 174 368 000	120 280 961 745	12 164 767 230	2 798 250 000	191 114 382 975	10,01%
2060	1 770 000 000	3 725 745 000	56 238 000	51 696 036 000	4 174 368 000	120 271 519 494	12 163 812 276	2 811 900 000	191 117 635 770	10,02%
...
16940	1 770 000 000	3 290 505 000	462 462 000	51 696 036 000	4 174 368 000	106 221 450 006	10 742 840 724	23 123 100 000	195 957 794 730	19,41%
16950	1 770 000 000	3 290 212 500	462 735 000	51 696 036 000	4 174 368 000	106 212 007 755	10 741 885 770	23 136 750 000	195 961 047 525	19,42%
16960	1 770 000 000	3 289 920 000	463 008 000	51 696 036 000	4 174 368 000	106 202 565 504	10 740 930 816	23 150 400 000	195 964 300 320	19,42%
16970	1 770 000 000	3 289 627 500	463 281 000	51 696 036 000	4 174 368 000	106 193 123 253	10 739 975 862	23 164 050 000	195 967 553 115	19,43%
16980	1 770 000 000	3 289 335 000	463 554 000	51 696 036 000	4 174 368 000	106 183 681 002	10 739 020 908	23 177 700 000	195 970 805 910	19,44%
16990	1 770 000 000	3 289 042 500	463 827 000	51 696 036 000	4 174 368 000	106 174 238 751	10 738 065 954	23 191 350 000	195 974 058 705	19,44%
17000	1 770 000 000	3 288 750 000	464 100 000	51 696 036 000	4 174 368 000	106 164 796 500	10 737 111 000	23 205 000 000	195 977 311 500	19,45%

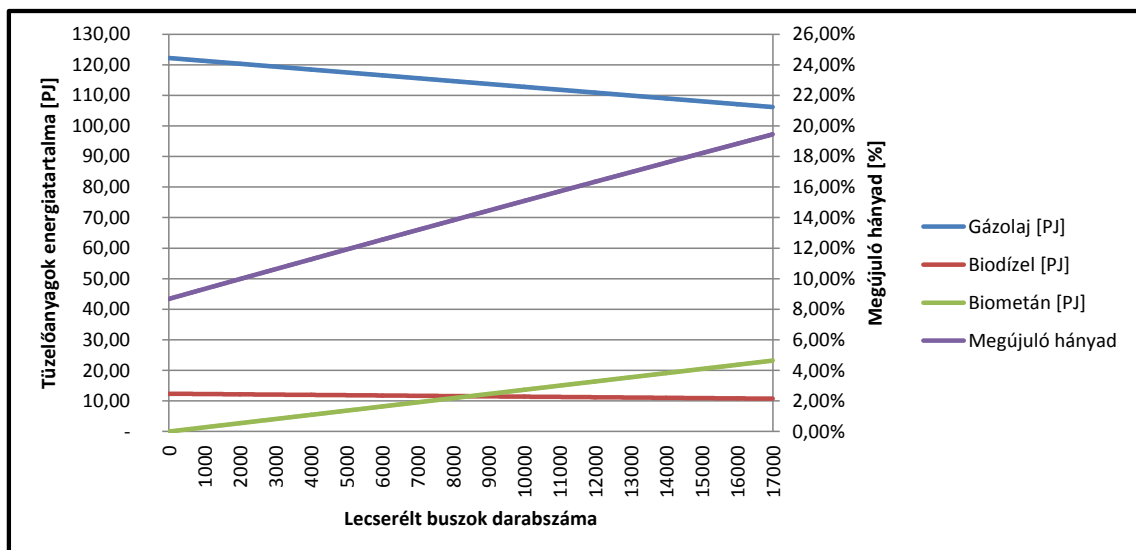
6. táblázat: Városi üzemmel kapcsolatosan végzett számítások – optimista változat

Forrás: Saját szerkesztés

Számításaim szerint, a fővárosban és a megyeszékhelyeken, illetve a nagyobb lélekszámú településeken jelenleg több, mint 1600 darab Ikarus típusú busz közlekedik a 200-as és 400-as szériákból. 2020-ra ezek közül a legfiatalabb példányok is már túllépik a 20 éves kort, jelentős részük pedig a 25 évet is. Ezt, illetve a magaspadlós kialakítást és a kedvezőtlen környezetvédelmi besorolást figyelembe véve talán nem túlzás kijelenteni, hogy addigra nem (de gyakorlatilag már most sem) lesznek képesek megfelelni a kor színvonalának, így cseréjük mindenképpen szükségessé válik az elkövetkezendő hét évben (illetve már most is az lenne).

Bár az Ikarusok fedezni tudják a leváltandó állomány jelentős részét, még további, körülbelül 600 autóbusz kiváltására is szükség lesz. Azonban többé-kevésbé ekkora mennyiségre is lehet „fedezetet” találni: a főváros az utóbbi években tűzoltás gyanánt több ütemben szerzett be használt, alacsonypadlós autóbuszokat, amelyek 2020-ra már nem lesznek fiatalnak mondhatók, de például a 2004 és 2006 között újonnan beszerezett Volvo 7700A járművek közül a legfiatalabbak is 14 évesek lesznek.

Érdeemes a vidéki városokban is körülnézni: viszonylag nagy számban üzemelnek ma már 10-14 éves járművek (pl. Rába Premier 091 és 291, MAN SL223 stb.), melyek az említett időpontra már szintén „nagykorúak” lesznek.



11. ábra: A változó energiamennyiségek és a megújuló hányad alakulása városi buszok lecserélése esetén – optimista változat

Forrás: Saját szerkesztés

Bár Magyarországon a helyi tömegközlekedési szolgáltatók nem rendelkeznek 17 ezres járműállománnyal, a 8. ábra jól szemlélteti, hogy adott körülmények között mekkora dinamikával változnak a különböző mennyiségek.

Összességében elmondható, hogy 2020-ig lesz nagyjából 2000, csereérett városi busz, melyek helyett a biometánnal üzemelő új buszok elméletileg forgalomba állhatnak. Természetesen ehhez rengeteg egyéb feltételnek is teljesülnie kell, elsősorban elő kell teremteni rá a forrást, illetve a biometánhoz a megfelelő termelőkapacitást. A helsinki értékelés (*Kytö, Rantanen, Nylund 2012*) szerint egy dízelbusz ára átlagosan 225 000 euro, a gázbuszé pedig 285 000 euro. Körülbelül 300 forintos árfolyammal számolva utóbbi beszerzési költsége darabonként 80 millió Ft-ra becsülhető, kétezer példánnyal számolva ez már 160 milliárd Ft-ot jelent, ami igen jelentős összeg. Ha azonban a buszcserét 2020-ig adottságnak tekintjük, tehát feltételezzük, hogy mindenképpen beszerzésre kerül 2000 új busz (ami így nem feltétlenül tükrözi a realitásokat), akkor elég a két típus közötti árkülönbözetet vizsgálni, amely ekkora példányszámnál is már 24 milliárd Ft-ot jelent. Ezen felül még számottevő tételként jelentkezik a gázüzemhez szükséges infrastruktúra kiépítésének költsége is.

4.1.2. Pesszimista (csökkenő) változat

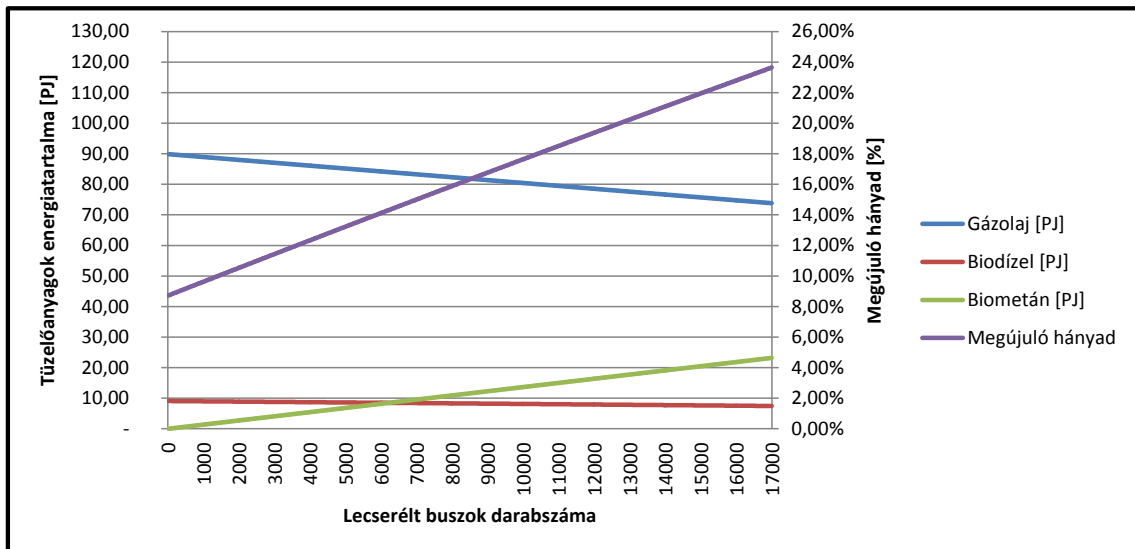
Az alacsonyabb tüzelőanyag-felhasználási értékek miatt jóval kisebb hiány is adódik, amit biometánnal kívánunk fedezni, ezért ebben az esetben a szükséges biogáz üzemű buszok száma is jóval kevesebb, összesen **1410 darab**.

Bár a következőkben megvizsgálom annak a lehetőségét, hogy a nagyobb távolságra közlekedő járművek lecserélése milyen eredményekkel járhat, fontos leszögezni, hogy a gázbuszok jellemzően városi környezetben terjedtek el, a gázüzem nyújtotta környezetvédelmi előnyök (lokális szennyezők terén mutatott jelentős javulás, lásd a 2.2.4. fejezetet) is a városokban jelentkeznek leginkább.

Cserélt busz [db]	Összes benzintüze [l]	Összes dízeltüze [l]	Biometán [kg]	Benzin [MJ]	Bioetanol [MJ]	Gázolaj [MJ]	Biodízel [MJ]	Biometán [MJ]	Összes energia [MJ]	Megújuló hányad
0	1 169 000 000	2 784 000 000	-	34 142 749 200	2 756 969 600	89 870 860 800	9 089 203 200	-	135 859 782 800	8,72%
10	1 169 000 000	2 783 707 500	273 000	34 142 749 200	2 756 969 600	89 861 418 549	9 088 248 246	13 650 000	135 863 035 595	8,73%
20	1 169 000 000	2 783 415 000	546 000	34 142 749 200	2 756 969 600	89 851 976 298	9 087 293 292	27 300 000	135 866 288 390	8,74%
30	1 169 000 000	2 783 122 500	819 000	34 142 749 200	2 756 969 600	89 842 534 047	9 086 338 338	40 950 000	135 869 541 185	8,75%
40	1 169 000 000	2 782 830 000	1 092 000	34 142 749 200	2 756 969 600	89 833 091 796	9 085 383 384	54 600 000	135 872 793 980	8,76%
50	1 169 000 000	2 782 537 500	1 365 000	34 142 749 200	2 756 969 600	89 823 649 545	9 084 428 430	68 250 000	135 876 046 775	8,77%
60	1 169 000 000	2 782 245 000	1 638 000	34 142 749 200	2 756 969 600	89 814 207 294	9 083 473 476	81 900 000	135 879 299 570	8,77%
...
1380	1 169 000 000	2 743 635 000	37 674 000	34 142 749 200	2 756 969 600	88 567 830 162	8 957 419 548	1 883 700 000	136 308 668 510	9,98%
1390	1 169 000 000	2 743 342 500	37 947 000	34 142 749 200	2 756 969 600	88 558 387 911	8 956 464 594	1 897 350 000	136 311 921 305	9,99%
1400	1 169 000 000	2 743 050 000	38 220 000	34 142 749 200	2 756 969 600	88 548 945 660	8 955 509 640	1 911 000 000	136 315 174 100	9,99%
1410	1 169 000 000	2 742 757 500	38 493 000	34 142 749 200	2 756 969 600	88 539 503 409	8 954 554 686	1 924 650 000	136 318 426 895	10,00%
1420	1 169 000 000	2 742 465 000	38 766 000	34 142 749 200	2 756 969 600	88 530 061 158	8 953 599 732	1 938 300 000	136 321 679 690	10,01%
1430	1 169 000 000	2 742 172 500	39 039 000	34 142 749 200	2 756 969 600	88 520 618 907	8 952 644 778	1 951 950 000	136 324 932 485	10,02%
1440	1 169 000 000	2 741 880 000	39 312 000	34 142 749 200	2 756 969 600	88 511 176 656	8 951 689 824	1 965 600 000	136 328 185 280	10,03%
...
16940	1 169 000 000	2 288 505 000	462 462 000	34 142 749 200	2 756 969 600	73 875 687 606	7 471 511 124	23 123 100 000	141 370 017 530	23,59%
16950	1 169 000 000	2 288 212 500	462 735 000	34 142 749 200	2 756 969 600	73 866 245 355	7 470 556 170	23 136 750 000	141 373 270 325	23,60%
16960	1 169 000 000	2 287 920 000	463 008 000	34 142 749 200	2 756 969 600	73 856 803 104	7 469 601 216	23 150 400 000	141 376 523 120	23,61%
16970	1 169 000 000	2 287 627 500	463 281 000	34 142 749 200	2 756 969 600	73 847 360 853	7 468 646 262	23 164 050 000	141 379 775 915	23,62%
16980	1 169 000 000	2 287 335 000	463 554 000	34 142 749 200	2 756 969 600	73 837 918 602	7 467 691 308	23 177 700 000	141 383 028 710	23,63%
16990	1 169 000 000	2 287 042 500	463 827 000	34 142 749 200	2 756 969 600	73 828 476 351	7 466 736 354	23 191 350 000	141 386 281 505	23,63%
17000	1 169 000 000	2 286 750 000	464 100 000	34 142 749 200	2 756 969 600	73 819 034 100	7 465 781 400	23 205 000 000	141 389 534 300	23,64%

7. táblázat: Városi üzemmel kapcsolatosan végzett számítások – pesszimista változat

Forrás: Saját szerkesztés



12. ábra: A változó energiamennyiségek és a megújuló hányad alakulása városi buszok lecserélése esetén – pesszimista változat

Forrás: Saját szerkesztés

4.2. Távolsági autóbuszok cseréje

4.2.1. Optimista (növekedő) változat

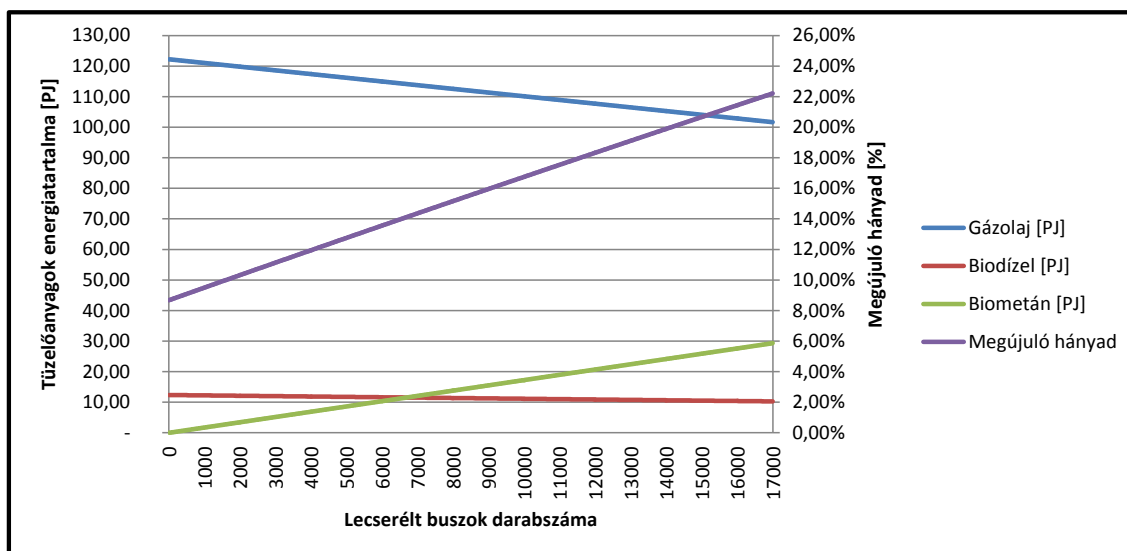
A távolsági autóbuszokkal kapcsolatban kevesebb adat érhető el a fogyasztással és a futásteljesítménnyel kapcsolatban. A modellhez 25 l/100 km-es átlagos fogyasztást és 150 ezer km-es éves futásteljesítményt (Ács 2008) vettem figyelembe. Pontos adatok hiányában a gázfogyasztást a dízellel arányosan csökkentettem 23 kg/100 km-re. Az eredményeket a 7. táblázat tartalmazza.

Látható, hogy a jelentősen nagyobb futásteljesítmény miatt jobb eredmények érhetőek el a távolsági buszok cseréjével: **1600** busszal már biztosítható a 10%-os hányad. Ez mintegy 430 járművel kevesebbet jelent, mint a városi esetben.

Cserélt busz [db]	Összes benzintüze [l]	Összes dízeltüze [l]	Biometán [kg]	Benzin [MJ]	Bioetanol [MJ]	Gázolaj [MJ]	Biodízel [MJ]	Biometán [MJ]	Összes energia [MJ]	Megújuló hányad
0	1 770 000 000	3 786 000 000	-	51 696 036 000	4 174 368 000	122 216 623 200	12 360 532 800	-	190 447 560 000	8,68%
10	1 770 000 000	3 785 625 000	345 000	51 696 036 000	4 174 368 000	122 204 517 750	12 359 308 500	17 250 000	190 451 480 250	8,69%
20	1 770 000 000	3 785 250 000	690 000	51 696 036 000	4 174 368 000	122 192 412 300	12 358 084 200	34 500 000	190 455 400 500	8,70%
30	1 770 000 000	3 784 875 000	1 035 000	51 696 036 000	4 174 368 000	122 180 306 850	12 356 859 900	51 750 000	190 459 320 750	8,71%
40	1 770 000 000	3 784 500 000	1 380 000	51 696 036 000	4 174 368 000	122 168 201 400	12 355 635 600	69 000 000	190 463 241 000	8,72%
50	1 770 000 000	3 784 125 000	1 725 000	51 696 036 000	4 174 368 000	122 156 095 950	12 354 411 300	86 250 000	190 467 161 250	8,72%
60	1 770 000 000	3 783 750 000	2 070 000	51 696 036 000	4 174 368 000	122 143 990 500	12 353 187 000	103 500 000	190 471 081 500	8,73%
...
1570	1 770 000 000	3 727 125 000	54 165 000	51 696 036 000	4 174 368 000	120 316 067 550	12 168 317 700	2 708 250 000	191 063 039 250	9,97%
1580	1 770 000 000	3 726 750 000	54 510 000	51 696 036 000	4 174 368 000	120 303 962 100	12 167 093 400	2 725 500 000	191 066 959 500	9,98%
1590	1 770 000 000	3 726 375 000	54 855 000	51 696 036 000	4 174 368 000	120 291 856 650	12 165 869 100	2 742 750 000	191 070 879 750	9,99%
1600	1 770 000 000	3 726 000 000	55 200 000	51 696 036 000	4 174 368 000	120 279 751 200	12 164 644 800	2 760 000 000	191 074 800 000	10,00%
1610	1 770 000 000	3 725 625 000	55 545 000	51 696 036 000	4 174 368 000	120 267 645 750	12 163 420 500	2 777 250 000	191 078 720 250	10,00%
1620	1 770 000 000	3 725 250 000	55 890 000	51 696 036 000	4 174 368 000	120 255 540 300	12 162 196 200	2 794 500 000	191 082 640 500	10,01%
1630	1 770 000 000	3 724 875 000	56 235 000	51 696 036 000	4 174 368 000	120 243 434 850	12 160 971 900	2 811 750 000	191 086 560 750	10,02%
...
16940	1 770 000 000	3 150 750 000	584 430 000	51 696 036 000	4 174 368 000	101 709 990 900	10 286 568 600	29 221 500 000	197 088 463 500	22,16%
16950	1 770 000 000	3 150 375 000	584 775 000	51 696 036 000	4 174 368 000	101 697 885 450	10 285 344 300	29 238 750 000	197 092 383 750	22,17%
16960	1 770 000 000	3 150 000 000	585 120 000	51 696 036 000	4 174 368 000	101 685 780 000	10 284 120 000	29 256 000 000	197 096 304 000	22,18%
16970	1 770 000 000	3 149 625 000	585 465 000	51 696 036 000	4 174 368 000	101 673 674 550	10 282 895 700	29 273 250 000	197 100 224 250	22,19%
16980	1 770 000 000	3 149 250 000	585 810 000	51 696 036 000	4 174 368 000	101 661 569 100	10 281 671 400	29 290 500 000	197 104 144 500	22,19%
16990	1 770 000 000	3 148 875 000	586 155 000	51 696 036 000	4 174 368 000	101 649 463 650	10 280 447 100	29 307 750 000	197 108 064 750	22,20%
17000	1 770 000 000	3 148 500 000	586 500 000	51 696 036 000	4 174 368 000	101 637 358 200	10 279 222 800	29 325 000 000	197 111 985 000	22,21%

8. táblázat: Távolsági üzemmel kapcsolatosan végzett számítások – optimista változat

Forrás: Saját szerkesztés



13. ábra: A változó energiamennyiségek és a megújuló hányad alakulása távolsági buszok lecserélése esetén – optimista változat

Forrás: Saját szerkesztés

4.2.2. Pesszimista (csökkenő) változat

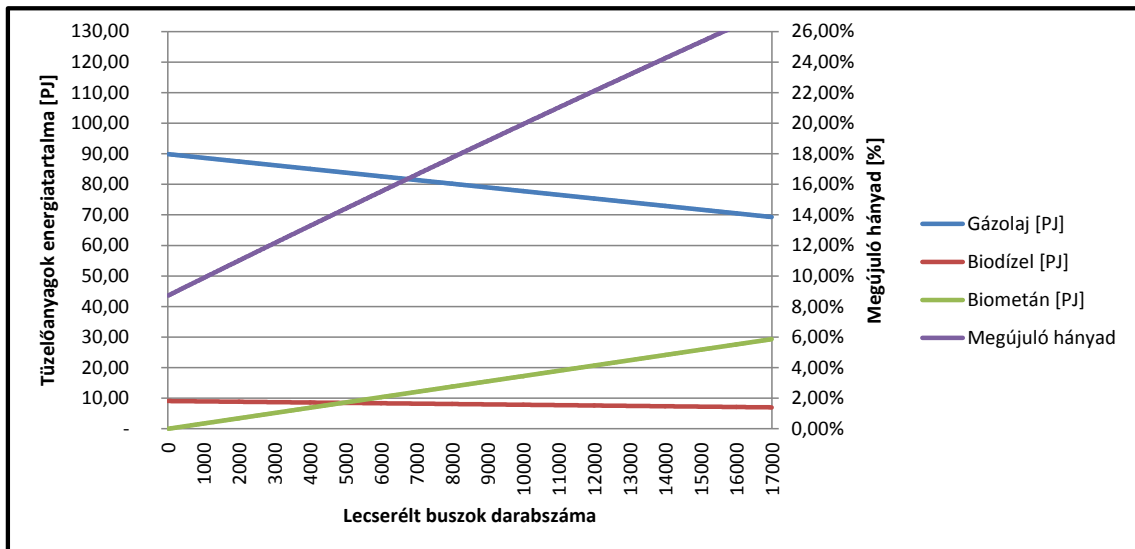
Ebben a változatban van szükség a legkevesebb új buszra. A számításoknál figyelembe vett nagy futásteljesítmény és az kisebb mértékű tüzelőanyag-felhasználás hatására a városi optimista esethez képest majdnem a felére, **1110 darabra** csökkent a szükséges gázbuszok száma.

Bár látható, hogy az energetikai eredmények kedvezőbben alakulnak, ha távolsági buszok cseréjével számolunk, ennek ellenére azt gondolom, hogy egyéb okok miatt (pl. levegőminőség javítása, üzemanyag tankolás, hatótávolság, szerviz-javítás) mégis a városi flotta cseréje tűnik realisabb és ésszerűbb alternatívának.

Cserélt busz [db]	Összes benzintüze [l]	Összes dízeltüze [l]	Biometán [kg]	Benzin [MJ]	Bioetanol [MJ]	Gázolaj [MJ]	Biodízel [MJ]	Biometán [MJ]	Összes energia [MJ]	Megújuló hányad
0	1 169 000 000	2 784 000 000	-	34 142 749 200	2 756 969 600	89 870 860 800	9 089 203 200	-	135 859 782 800	8,72%
10	1 169 000 000	2 783 625 000	345 000	34 142 749 200	2 756 969 600	89 858 755 350	9 087 978 900	17 250 000	135 863 703 050	8,73%
20	1 169 000 000	2 783 250 000	690 000	34 142 749 200	2 756 969 600	89 846 649 900	9 086 754 600	34 500 000	135 867 623 300	8,74%
30	1 169 000 000	2 782 875 000	1 035 000	34 142 749 200	2 756 969 600	89 834 544 450	9 085 530 300	51 750 000	135 871 543 550	8,75%
40	1 169 000 000	2 782 500 000	1 380 000	34 142 749 200	2 756 969 600	89 822 439 000	9 084 306 000	69 000 000	135 875 463 800	8,77%
50	1 169 000 000	2 782 125 000	1 725 000	34 142 749 200	2 756 969 600	89 810 333 550	9 083 081 700	86 250 000	135 879 384 050	8,78%
60	1 169 000 000	2 781 750 000	2 070 000	34 142 749 200	2 756 969 600	89 798 228 100	9 081 857 400	103 500 000	135 883 304 300	8,79%
...
1080	1 169 000 000	2 743 500 000	37 260 000	34 142 749 200	2 756 969 600	88 563 472 200	8 956 978 800	1 863 000 000	136 283 169 800	9,96%
1090	1 169 000 000	2 743 125 000	37 605 000	34 142 749 200	2 756 969 600	88 551 366 750	8 955 754 500	1 880 250 000	136 287 090 050	9,97%
1100	1 169 000 000	2 742 750 000	37 950 000	34 142 749 200	2 756 969 600	88 539 261 300	8 954 530 200	1 897 500 000	136 291 010 300	9,99%
1110	1 169 000 000	2 742 375 000	38 295 000	34 142 749 200	2 756 969 600	88 527 155 850	8 953 305 900	1 914 750 000	136 294 930 550	10,00%
1120	1 169 000 000	2 742 000 000	38 640 000	34 142 749 200	2 756 969 600	88 515 050 400	8 952 081 600	1 932 000 000	136 298 850 800	10,01%
1130	1 169 000 000	2 741 625 000	38 985 000	34 142 749 200	2 756 969 600	88 502 944 950	8 950 857 300	1 949 250 000	136 302 771 050	10,02%
1140	1 169 000 000	2 741 250 000	39 330 000	34 142 749 200	2 756 969 600	88 490 839 500	8 949 633 000	1 966 500 000	136 306 691 300	10,03%
...
16940	1 169 000 000	2 148 750 000	584 430 000	34 142 749 200	2 756 969 600	69 364 228 500	7 015 239 000	29 221 500 000	142 500 686 300	27,36%
16950	1 169 000 000	2 148 375 000	584 775 000	34 142 749 200	2 756 969 600	69 352 123 050	7 014 014 700	29 238 750 000	142 504 606 550	27,37%
16960	1 169 000 000	2 148 000 000	585 120 000	34 142 749 200	2 756 969 600	69 340 017 600	7 012 790 400	29 256 000 000	142 508 526 800	27,38%
16970	1 169 000 000	2 147 625 000	585 465 000	34 142 749 200	2 756 969 600	69 327 912 150	7 011 566 100	29 273 250 000	142 512 447 050	27,40%
16980	1 169 000 000	2 147 250 000	585 810 000	34 142 749 200	2 756 969 600	69 315 806 700	7 010 341 800	29 290 500 000	142 516 367 300	27,41%
16990	1 169 000 000	2 146 875 000	586 155 000	34 142 749 200	2 756 969 600	69 303 701 250	7 009 117 500	29 307 750 000	142 520 287 550	27,42%
17000	1 169 000 000	2 146 500 000	586 500 000	34 142 749 200	2 756 969 600	69 291 595 800	7 007 893 200	29 325 000 000	142 524 207 800	27,43%

9. táblázat: Távolsági üzemmel kapcsolatosan végzett számítások – pesszimista változat

Forrás: Saját szerkesztés



14. ábra: A változó energiameennyiségek és a megújuló hányad alakulása távolsági buszok lecserélése esetén – pesszimista változat

Forrás: Saját szerkesztés

4.3. Hulladékból előállított biogáz felhasználása

A 2009/28/EK direktíva előírja, hogy azon felhasznált biotüzelőanyagok hozzájárulását a 10%-os célkitűzéshez, melyek hulladékból, maradékanyagokból, nem élelmezési célú cellulóztartalmú anyagokból és lignocellulóz-tartalmú anyagokból készültek, **kétszeresen** kell figyelembe venni.

Ez a feltétel teljesül, amennyiben például a 2.3.3. fejezetben is említett szeméttelpeken vagy szennyvíztelepeken képződő biogázból előállított biometánt használjuk fel a tömegközlekedésben. Ezzel a lehetőséggel minden esetben kevesebb, mint a felére csökkenthető az üzembe állítandó biogáz buszok száma!

5. Összefoglalás

Környezetünkre a közlekedés jelentős hatással van. A motorizáció erősödésével az utóbbi években egyre inkább előtérbe került a fenntartható fejlődés és a környezetvédelem ezen a területen is.

Az Európai Unió politikájában a környezettudatossági gondolatok szintén fontos szerepet kapnak, ennek megfelelően 2020-ig a közlekedési szektorban (energiaalapon) 10%-os megújuló energia részarányt irányoz elő minden tagállam, így hazánk számára is. A közlekedés domináns energiaforrásai a kőolajszármazékok, illetve a villamos energia, melyből utóbbi nem képezi a vizsgálat tárgyát, mivel feltételezzük, hogy Magyarország 2020-ig szóló Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési tervében leírtak szerint a kitűzött időpontig teljesül a 10%-os megújuló hányad elérése. A vizsgálatunk így a tüzelőanyagokra korlátozódik, azon belül is a benzinre és a gázolajra, az ezekbe kevert bioetanolra és biodízeltre, illetve a biometánra, mellyel a bekeverés után megmaradó „energiahézagot” kívánjuk kitölteni.

A NAV által közzétett múltbéli tüzelőanyag-felhasználási adatok alapján a dolgozatban 2020-ig előrebecsült értékekkel dolgozunk, vizsgálva egy optimista (növekedést feltételező) és egy pesszimista (további csökkenést feltételező) változatot is. Szabványos 10V/V% megújuló tüzelőanyag bekeverésével energiaalapon körülbelül 8,6%-os részarány érhető el. A probléma megoldására egy jó lehetőség a biogáz hasznosítása, melyből tisztítás útján a földgázzal egyenértékű, és a közlekedésben is felhasználható biometán nyerhető.

A hazai autóbusz-állomány igen tekintélyes része gyakorlatilag azonnali cserére szorul, a több ezer forgalomban lévő 15-20 év fölötti járművek sem utaskényelmi szempontból, sem környezeti szempontból nem felelnek meg a mai kor általános elvárásainak.

A két probléma akár egyetlen lépéssel közös megoldást nyerhetne: az elavult dízelbuszok helyett a világ számos pontján elterjedt, és hazánkban sem ismeretlen CNG buszok problémamentesen felhasználhatják a biometánt, egyszerre növelve ezzel a megújuló tüzelőanyag részarányát, és javítva a járműállomány színvonalát.

A szükséges darabszám meghatározása modell segítségével lehetséges, amely vizsgálja a buszcserével együtt változó tüzelőanyag-felhasználási mennyiségeket, vagyis a gázolaj felhasználás csökkenését és a biometán növekedését.

		Optimista eset		Pesszimista eset	
		Cserélendő buszok száma [db]	Biometán-felhaszn. [millió kg/év]	Cserélendő buszok száma [db]	Biometán-felhaszn. [millió kg/év]
Városi üzem	Biogáz mezőgazdasági alapanyagból	2030	55,4	1410	38,5
	Biogáz hulladékból	970	55,4	670	38,5
Távolsági üzem	Biogáz mezőgazdasági alapanyagból	1600	55,2	1110	38,3
	Biogáz hulladékból	770	55,2	530	38,3

10. táblázat: Összefoglaló táblázat a lecserélendő buszok számára és a szükséges biometánra vonatkozóan

Forrás: Saját szerkesztés

Összességében elmondható, hogy alapvetően városi-elővárosi buszok cseréjében érdemes gondolkodni, még akkor is, ha a távolsági buszok esetében kevesebb jármű leváltásával is elérhetnénk a kitűzött célt. Ennek oka, hogy a gázbuszok környezeti hasznai városi környezetben jobban megmutatkozik, illetve a technológia sajátosságai (tankolás, hatótávolság, szerviz-javítás) miatt nem kedvező a nagyobb távolságra történő közlekedés. A városi esetre számított körülbelül 1400-2000 busz cseréje 2020-ig reálisnak, sőt szükségesnek tűnik, azonban fontos megemlíteni, hogy a CNG technológia jelenleg még nem igazán elterjedt hazánkban, így az infrastruktúra kiépítésének költsége és a buszok felára komoly összegeket jelentenek.

A későbbiekben hasonló vizsgálat elvégezhető a személygépjármű-, illetve a tehergépjármű-állományra is, de maga a modell is továbbfejleszthető. A szakirodalomban jelenleg fellelhető átlagos paraméterek és ökölszámok alkalmazása helyett még pontosabb eredményre juthatunk, ha konkrét járműgyártók típusainak cseréjét vizsgáljuk, és az adott típusokhoz mért fogyasztási értékek pontosan megjelennek a modellben, vagy ha egy közlekedési társaság által szolgáltatott pontos, és nem csak átlagos futásteljesítmény-adatokat használunk fel a vizsgálathoz. Ezek a feladatok további vizsgálatok, esetleg egy új TDK dolgozat alapját is képezhetik a jövőben.

Felhasznált irodalom

Az Európai Közösségek Bizottsága (2001): Fehér Könyv. Európai Közlekedéspolitika 2010-ig: itt az idő dönteni.

Az Európai Közösségek Bizottsága (2007): Megújuló energia-útiterv. Megújuló energiák a XXI. században: egy fenntarthatóbb jövő építése.

Az Európai Parlament és a Tanács 2003/30/EK irányelve (2003. május 8.) a közlekedési ágazatban a bio-üzemanyagok, illetve más megújuló üzemanyagok használatának előállításáról. (HL L 123, 17.5.2003., o. 42.)

Az Európai Parlament és a Tanács 2009/28/EK irányelve (2009. április 23.) a megújuló energiaforrásból előállított energia támogatásáról, valamint a 2001/77/EK és a 2003/30/EK módosításáról és azt követő hatályon kívül helyezéséről.

Ács Balázs (2008): A távolsági autóbusz-hálózat múltja, jelene jövője. Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. 2007 Évkönyv pp. 17-27. URL: <http://www.kti.hu/uploads/evkonyvek/Evk2008magyar.pdf>

Bai Attila (2011): Újabb generációs bioüzemanyagok perspektívái. Magyar Tudomány 2011/7 pp. 861-871.

Commission of the European Communities (2007): Biofuels Progress Report. Report on the progress made in the use of biofuels and other renewable fuels in the Member States of the European Union.

Domanovszky Henrik (2011): Tiszta és gazdaságos gázüzem megteremtése Magyarországon és annak párhuzamos Franciaországbeli előfeszítései. Budapest, Innováció és fenntartható felszíni közlekedés 2011.

ENSZ Éghajlatváltozási keretegyezmény. URL: [http://zbr.kormany.hu/download/b/72/00000/ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye HUN.pdf](http://zbr.kormany.hu/download/b/72/00000/ENSZ_Eghajlatv_altozasi_Keretegyezménye_HUN.pdf) Utolsó letöltés: 2013.07.21. 22:30.

Emőd István, Füle Miklós, Tánczos Katalin, Zöldy Máté (2005): A bioetanol magyarországi bevezetésének műszaki, gazdasági és környezetvédelmi feltételei. Magyar Tudomány 2005/3 pp. 278-286.

Európai Bizottság (2012): Új bizottsági javaslat a bioüzemanyag-termelés éghajlatra gyakorolt hatásának minimalizálása érdekében. Sajtóközlemény. URL: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-12-1112_hu.htm Utolsó letöltés: 2013.06.28. 9:59

International Energy Agency: Energy Technology Perspectives, ETP 2012 Data Visualization. URL: <http://www.iea.org/etp/explore/>

Jászberényi Melina (2008): Fenntartható mobilitás Budapest agglomerációjában. Doktori (PhD) értekezés, Budapesti Corvinus Egyetem, Gazdálkodástani Doktori Iskola.

Jászberényi Melinda, Pálfalvi József (2006): Közlekedés a gazdaságban. Aula Kiadó, Budapest.

Kiotói Jegyzőkönyv az éghajlatváltozásról. URL: http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/128060_hu.htm Utolsó letöltés: 2013.07.21. 22:30.

Kovács Viktória Barbara, Török Ádám, Bereczky Ákos: Biogas utilization in a serial hybrid CNG engine

Kövesné Gilicze Éva, Tarnai Júlia, Debreczeni Gábor, Mészáros Péter, Tóth János, Mándoki Péter (2001): A fenntartható városi mobilitás feltételrendszere. Elektronikus jegyzet. URL: www.kku.bme.hu/publikaciok/tanulmany/mobilitas.pdf

Kytö, Matti; Rantanen, Pekka; Nylund, Nils-Olof (2012): Gas bus technology and operational experiences in Helsinki area. URL: http://www.balticbiogasbus.eu/web/Upload/Use_of_biogas/Act_6_1/WP6_1_FINAL.pdf
Utolsó letöltés: 2013.08.23. 16:37

Magyar Gázüzemű Közlekedés Klaszter Egyesület: Metángáz a közösségi közlekedésben. URL: http://www.mgkke.hu/download/belso_szakmai_anyagok/Gazuzemrol_a_BKK-reszere.pdf. Utolsó letöltés: 2013.06.27. 13:39

MOL-csoport: Bioüzemanyagok. URL: <http://www.mol.hu/repository/298613.pdf>
Utolsó letöltés: 2013.06.28. 9:41

Paár István; Telekesi Tibor (2012): A megújuló energia közlekedési alkalmazása, EU követelmények, nemzeti lehetőségek, feladatok. Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. 2010-2011 Évkönyv, pp 123-132.

Ryan, Fearghal; Caulfield, Brian (2010): Examining the benefits of using bio-CNG in urban bus operations, Transportation Research Part D, pp. 362-365.

Somogyi Andrea (2011): Az első generációs bioüzemanyag-piac komplex értékelése. Doktori (PhD) értekezés. Szent István Egyetem, Gödöllő, Gazdálkodás- és Szervezéstudományok Doktori Iskola.

Strauch, Sabine; Krassowski, Joachim (2012): Overview of biomethane markets and regulations in partner countries. GreenGasGrids project, Intelligent Energy Europe programme.

Technische Universität Wien (2012): Biogázból biometán – technológiai áttekintés. URL: http://www.fedarene.org/documents/projects/Biomethane/BMR_D.3.1.1_BiogasUpgrading_TechReview/BMR_D.3.1.1_BiogasUpgrading_TechReview_HU.pdf
Utolsó letöltés: 2013.06.27. 18:40.

Varga – Erdei Éva (2011): Kluyveromyces Marxianus élesztő törzsek fejlesztése bioetanol termelés céljából. Doktori értekezés, Debreceni Egyetem, Kerpely Kálmán Doktori Iskola.

Yan, Xiaoyu.; Crookes, Roy J (2009): Life cycle analysis of energy use and greenhouse gas emissions for road transportation fuels in China, Renewable and Sustainable Reviews, pp. 2505-2514.

Zádor István, Török Ádám (2010): Városi közlekedésben résztvevő buszok környezetbarátabbá történő átalakításának gazdasági kérdései, Városi Közlekedés 2010/2 pp. 92-96.

Zöldy Máté (2007): Megújuló hajtóanyag-gázolaj keverékek motorikus alkalmazásának műszaki, gazdasági és környezetvédelmi vizsgálata. Doktori értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Kandó Kálmán Multidiszciplináris műszaki tudományok, Járművek és mobil gépek doktori iskola.

Zöldy Máté: Alternatív hajtóanyagok URL:
[ftp://ftp.energia.bme.hu/pub/Energetikai_folyamatok_es_berendezesek/BME_Alternat%C3%ADv%20Hajt%C3%B3anyagok_2011%20\[Kompatibilit%C3%A1si%20m%C3%B3d\].pdf](ftp://ftp.energia.bme.hu/pub/Energetikai_folyamatok_es_berendezesek/BME_Alternat%C3%ADv%20Hajt%C3%B3anyagok_2011%20[Kompatibilit%C3%A1si%20m%C3%B3d].pdf) Utolsó letöltés: 2013.06.27. 16:39
http://omnibusz.blog.hu/2010/06/14/kornyezetvedelem_a_busziparban_iii_2_hibrid_buszok_a_gyakorlatban Utolsó letöltés: 2013.06.27. 13:49
http://omnibusz.blog.hu/2010/08/11/hidrogennel_hajtott_buszok Utolsó letöltés: 2013.06.27. 13:50
<http://www.nav.gov.hu/>