

VÁROSI TÖMEGKÖZLEKEDÉSI JÁRMŰVEK ENERGIAFOGYASZTÁSA

Bodnár István

Abstract: A tanulmány a városi tömegközlekedési járművek energiafogyasztását mutatja be. Kutatómunkám során azt vizsgáltam, hogy az egyes belső égésű motorral szerelt diesel és CNG üzemanyagú, valamint az elektromos meghajtású autóbuszok egymáshoz viszonyítva mekkora energiafelhasználással rendelkeznek. Az energiafogyasztás mellett számoltam az üzemanyag-költségekkel is.

Abstract: This paper presents the energy consumption of urban public transport vehicles. During my research work, I investigated the relative energy consumption of diesel and CNG fueled buses equipped with internal combustion engines, as well as electric buses. In addition to energy consumption, I also calculated fuel costs.

Kulcsszavak: autóbusz, dízel, CNG, üzemanyag fogyasztás, üzemanyag költség

Keywords: bus, diesel, CNG, fuel consumption, fuel cost

1. Bevezetés

A diesel üzemű autóbuszok alternatívájának számító CNG üzemű autóbuszok az energiaárak növekedésével mára a legdrágább üzemeltetési költséggel rendelkező autóbuszok közé sorolhatók. 5-6 évvel ezelőtt a CNG üzemű buszok üzemanyag-költsége, csaknem harmada volt a diesel üzemanyagának, azonban mára ez az arány megfordult. Mindemellett egy CNG üzemű autóbusz újkori beszerzési költsége mintegy másfélszerese a diesel üzeműnek, így az egykori költségmegtakarítási célból beszerzett járművek mára gazdaságtalanul üzemeltethetővé váltak.

Napjainkban az elektromos járművek látszanak alternatív megoldásnak, azonban egy elektromos autóbusz bekerülési költsége csaknem duplája a diesel üzeműnek és sok esetben a töltésükre felhasználható hálózati (szabad) kapacitás sem áll rendelkezésre. Mindemellett nem lehet figyelmen kívül hagyni, hogy az elektromos autóbuszok várható élettartama csaknem fele a diesel társaikénak. Az elhasználódott akkumulátorcsomagok cseréjével ugyan ezen buszok is újra használatba helyezhetők, azonban az akkumulátorcsere az újkori árak mintegy harmadába kerül.

Környezetvédelmi szempontból a belsőégésű és az elektromos járművek kibocsátása más megközelítésben határozható meg. Míg a belső égésű járműveknek van közvetett és közvetlen kibocsátás is, addig az elektromos társaiknak csak közvetett. A gázolaj és CNG üzemanyagok előállítása kevésbé szór a származási és feldolgozási helytől, azonban az elektromos buszok üzemanyagául szolgáló villamosenergia előállításának módja nagyban meghatározza ezen járművek közvetett kibocsátását. A jellemzően hagyományos (fosszilis) energiahordozókból előállított villamosenergia környezeti hatásai lényegesen magasabbak, így az elektromos buszok a belső égésű motorral szerelt társaikhoz képest akár előnytelenebbek is lehetnek. A megújuló energiaforrások felhasználásával előállított villamosenergia révén az elektromos autóbuszok kedvezőbb környezeti kibocsátásokkal rendelkeznek. Hazánkban a napenergia hasznosítása, a napelemes

erőművek létesítése ugrásszerű növekedést mutat. Míg 10 évvel ezelőtt csak 400 MW teljesítményű napelemes erőmű volt hazánkban, mára ez az érték megtízszereződött átlépvé a 4000 MW-ot. Ezzel a legnagyobb hazai beépített kapacitással rendelkező erőművé vált. A következő években ezen kapacitás megduplázódása várható. Tekintve, hogy a napelemes rendszerek erőteljesen időjárás függő erőművek, így az általuk előállított villamosenergia rendelkezésre állása bizonytalan, rövid időintervallumokban (néhány perc) jelentős kilengések tapasztalhatók, amely komoly kockázatot jelent a villamosenergia-rendszerre. Ezen kockázatok megfelelően megtervezett és ütemezett energiatárolási módszerek alkalmazásával részben, vagy akár teljesen kiküszöbölhetők. Az elektromos járművek, kiemelten a tömegközlekedési eszközök a bennük megtalálható akkumulátorok miatt részben megoldást tudnak adni ezen problémák kiküszöbölése érdekében. Így az elektromos buszok nem csak, mint közlekedési járművek, hanem mint időszakos energiatárolók is szerepet játszanak.

Ugyanakkor az energiatárolás és a kitérés csökkentése érdekében nélkülözhetetlen a járműállomány diverzitása, azaz mindhárom üzemanyaggal működő autóbusz fenntartását megköveteli. Az pedig, hogy éppen melyik jármű álljon forgalomba és melyik várakozzon a telephelyen már nem csak környezetvédelmi és gazdasági, hanem energetikai rendszerbiztonsági kérdés is. A járművek közlekedtetése ezáltal háromszög-modell alapú stratégiai döntés kell, hogy legyen.

2. Városi autóbuszok fogyasztása

A következőkben három különböző üzemanyagú városi autóbusz fogyasztási adatait fogom bemutatni.

A kutatómunkám során szóló és csuklós dízel és CNG autóbuszokat, valamint szóló elektromos autóbuszokat vizsgáltam. A dízel járművek MAN és Neoplan típusúak. A CNG üzeműek MAN, az elektromosok pedig BYD gyártmányúak.

Az 1. táblázat a szóló és csuklós dízel üzemű, a 2. táblázat pedig CNG üzemű szóló és csuklós autóbuszok fontosabb tulajdonságait foglalja össze. A dízel üzemű autóbuszoknál megfigyelhető, hogy a csuklós járműveknél a szóló buszokhoz képest az egy utaskapacitásra vonatkoztatott energiateljesítmény-mutató 22,48%-kal nagyobb. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a csuklós autóbuszok energiahatékonysága rosszabb lenne, hiszen az egyes járművek eltérő kihasználtsággal üzemelnek. A csuklós buszok a nagyobb utasforgalmi vonalakon közlekednek, jellemzően magasabb kapacitáskihasználtsággal, míg a szóló buszok kisebb átlagos kapacitáskihasználtságú vonalakon járnak. Továbbá nem hagyható figyelmen kívül a domborzati viszonyok sem. Pontosabb következtetések levonása akkor lehetséges, ha külön-külön vizsgáljuk az egyes viszonylatokat. Az adatokból viszont arra lehet következtetni, hogy a szóló dízel üzemű autóbusz közlekedtetése előnyösebb csúcsidőn kívüli időszakokban, mint a csuklós társaiké.

1. táblázat: Dízel üzemű járművek adatai.

Kategória	Szóló	Csuklós
Járműállomány [db]	10	45
Kiadott jármű darabszám [db]	5,83	34,42
Átlagos életkor [év]	20	17
Utaskapacitás [fő]	100	141
Futott kocsikilóméter [km]	14.727,47	135.620,16
Üzemanyag felhasználás [l]	14.476,02	226.253,95
Üzemidő [óra]	3.352,64	31.675,08
Átlag üzemidő [óra]	298,69	481,97
Átlag futott kocsi kilométer/hó	3.979,3	6.081,31
Energiateljesítmény-mutató [liter/100km]	32,19	55,59

Forrás: MVK Zrt.

2. táblázat: CNG üzemű járművek adatai.

Kategória	Szóló	Csuklós
Járműállomány [db]	40	35
Kiadott jármű darabszám [db]	39,67	34,00
Átlagos életkor [év]	6	6
Utaskapacitás [fő]	86	156
Futott kocsi kilométer [km]	208.708,35	194.188,30
Üzemanyag felhasználás [kg]	292.519,62	344.565,90
Üzemidő [óra]	49.790,21	47.129,16
Átlag üzemidő [óra]	641,07	698,52
Átlag futott kocsi kilométer/hó	6.823,88	8.474,89
Energiateljesítmény-mutató [kg/100km]	46,76	59,14

Forrás: MVK Zrt.

A CNG üzemű autóbuszoknál megfigyelhető, hogy a csuklós járműveknél a szóló buszokhoz képest az egy utaskapacításra vonatkoztatott energiateljesítmény-mutató csak 69,72%, azaz itt 30,28%-kal kisebb a fajlagos fogyasztás. Ebből arra lehet következtetni, hogy a CNG üzemű járművek esetében a csuklós buszok közlekedtetése kedvezőbb, mint a szóló társaiké.

Ha csak az üzemanyagfogyasztást tekintjük, akkor a szóló dízel és a csuklós CNG üzemű buszok kombinációjával lehet a legkisebb üzemanyagfelhasználást elérni a belső égésű motorral szerelt járművek esetében.

A 3. táblázat a szóló elektromos buszok fontosabb adatai tartalmazza. Megfigyelhető, hogy új buszokról beszélünk így viszonylag kevés valós közlekedésből származó adat áll rendelkezésre az üzemeltetésükre vonatkozóan.

3. táblázat: Elektromos üzemű járművek adatai.

Kategória	Szóló
Járműállomány [db]	10
Kiadott jármű darabszám [db]	10
Átlagos életkor [év]	<1
Utaskapacitás [fő]	83
Futott kocsi kilométer [km]	44.353,33
Üzemanyag felhasználás [kWh]	49.507,19
Üzemidő [óra]	2.890,8
Átlag üzemidő [óra]	265,4
Átlag futott kocsi kilométer/hó	4.983,52
Energiateljesítmény-mutató [kWh/100km]	116,2

Forrás: saját számítás.

A belsőégésű és az elektromos motorral szerelt buszok fajlagos fogyasztási adatait csak akkor tudjuk reálisan összehasonlítani, ha figyelembe vesszük az üzemanyagok fajlagos energiasűrűségét. A gázolaj átlagos mért fűtőértéke 10 kWh/kg, sűrűsége pedig 0,86 kg/liter. Ezt átszámolva 8,6 kWh/liter értéket kapunk. A CNG üzemanyag átlagos mért fűtőértéke 11,94 kWh/kg, átlagos sűrűsége pedig 0,45 kg/liter. Ezt átszámolva a fűtőérték 5,37 kWh/liter értéket jelent.

Ha a dízel üzemű járműveket vesszük alapul, azaz az egyes járműtípusok 100 km-re vonatkoztatott fogyasztását átszámoljuk gázolaj-liter egységre, akkor a fajlagos fogyasztásokra vonatkoztatva a 4. táblázat tartalmazza a számítási eredményeket. A táblázatban jól megfigyelhető, hogy a CNG üzemű szóló buszok gázolaj-egyenértékben meghatározott fogyasztása csak 4,6%-kal nagyobb, mint a dízel üzemű szóló társaiké. Csuklós buszok esetében a CNG üzemanyagú 23,4%-kal kedvezőbb, mint a dízel társaiké. A legkedvezőbb fogyasztással az elektromos busz rendelkezik, amely 58%-kal kisebb, mint a dízel üzemű társaiké.

Azonban azt nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy az elektromos buszok a téli időszakban dízel üzemű kályhákat használnak az utastér fűtésére. Továbbá a belső égésű motorral szerelt járművek egy éves adatait használtam fel a számításaim során, míg az elektromosoknál mintegy 4 hónapos (jellemzően őszi) üzemidőből származó adatokból tudtam dolgozni. A nyári időszakban az utastér hűtése tovább növeli az elektromos buszok fogyasztását. Amennyiben figyelembe vesszük a téli

időszak dízel üzemű fűtését és a nyári hűtést is, akkor várhatóan duplájára nő a fajlagos fogyasztási érték, azaz az energiateljesítmény-mutató, így egy elektromos busz reálisan csak 15-20%-kal rendelkezik kisebb gázolaj-egyenérték fogyasztással, mint egy dízel üzemű autóbusz.

4. táblázat: Fajlagos fogyasztási adatok.

Busz típusa	Gázolajfogyasztás-egyenérték [gázolaj liter/100km]
Szóló dízel busz	32,19
Csuklós dízel busz	55,59
Szóló CNG busz	33,67
Csuklós CNG busz	42,58
Szóló elektromos busz	13,51

Forrás: saját számítás.

3. Üzemanyagárak alakulása, városi buszok üzemeltetésének gazdasági oldala

Amennyiben csak a fogyasztási adatok alapján döntjük el, hogy melyik üzemanyagú és típusú buszt állítjuk forgalomba, akkor figyelmen kívül hagyjuk az egyik legfontosabb kérdést, még pedig a gazdaságosságot. Az üzemanyagok ára az elmúlt évben jelentősen változott. A CNG üzemanyag ára 1,5 év alatt több, mint négyszeresére nőtt. A gázolaj ára széles intervallumon belül változott. 2021-ben 387 Ft/liter áron is hozzá lehetett jutni, míg napjainkban jellemzően 600 és 700 Ft/liter között mozog. A villamosenergia ára is jelentősen növekedett főleg az utóbbi hónapokban. Itt a növekedés átlagosan négyszeres, de ez az érték jelentősen függ a fogyasztási profiltól és a rendszerhasználati díjtól is. Az 5. táblázat tartalmazza az üzemanyagok árváltozását három különböző év azonos időszakában.

5. táblázat: Üzemanyagok árai.

Üzemanyag típusa	2021 január	2022 január	2023 január
Dízel [Ft/l]	387	481	713
CNG [Ft/kg]	345	582	1991
Villamosenergia [Ft/kWh]	21	62	80

Forrás: NAV, MVK Zrt., MVM.

A 6. táblázat tartalmazza az egyes járművek 100 km megtételéhez szükséges üzemanyagok költségét.

6. táblázat: Üzemanyagköltségek 100 km távolság megtételére vonatkoztatva.

Busz típusa	2021 január	2022 január	2023 január
Szóló dízel busz	12 457,53 Ft	15 483,39 Ft	22 951,47 Ft
Csuklós dízel busz	21 513,33 Ft	26 738,79 Ft	39 635,67 Ft
Szóló CNG busz	16 132,20 Ft	27 214,32 Ft	93 099,16 Ft
Csuklós CNG busz	20 403,30 Ft	34 419,48 Ft	117 747,74 Ft
Szóló elektromos busz	2 440,20 Ft	7 204,40 Ft	9 296,00 Ft

Forrás: saját számítás.

A fenti táblázatból látható, hogy a belső égésű motorral szerelt járművek közül 2021. évelején a szóló dízel és a CNG csuklós buszok kombinációjával lehetett a legkedvezőbb üzemköltséget elérni, addig 2022. évelején már csak a dízel üzeműeket lehetett gazdaságosabban üzemeltetni. 2023. évelején az elektromos buszok mutatják a legkedvezőbb üzemköltséget. Abban az esetben, ha a villamosenergia ára 200 Ft/kWh érték alatt marad és a dízel üzemanyag ára nem megy 713 Ft/liter felé, az elektromos buszok üzemeltetése a leg gazdaságosabb.

A CNG buszok fogyasztási adatai alapján változatlan gázolaj ár mellett csak akkor lehet ismételen a dízel társaikkal megegyező költséggel üzemeltetni a szóló CNG üzemanyagú autóbuszokat, ha a CNG üzemanyagára 490 Ft/kg alá csökken. A csuklós CNG autóbuszok esetében már 670 Ft/kg CNG üzemanyagár mellett is ugyanakkora az üzemköltség, mint a csuklós dízel buszoké.

Az elektromos buszok alternatívájának a trolibuszok, valamint a városi villamosok tekinthetők. Azonban ezen járművek meglehetősen nagy infrastruktúra igényűek. Ezen járművek egyenfeszültségről táplált felsővezetéki hálózat kiépítését igénylik, valamint a hálózati váltakozó feszültség egyenirányító állomásokon történő egyenirányítását. A városi villamos vasút pedig kötött pályás közlekedési eszköz révén vasúti pályát igényel. Ugyanakkor egy trolibusz vagy éppen egy villamos élettartama várhatóan duplája, de akár négyszerese is lehet egy elektromos buszénak. A trolibuszok bekerülési ára kedvezőbb, fogyasztása pedig hasonló, mint az az elektromos buszoké. A járművek teljes élettartamra vonatkoztatott összköltségek (beruházási, üzemeltetési és karbantartási) kiegyenlítik egymást.

Jelentősebb kérdés a városi villamosvasút. Egy városi villamos szerelvény bekerülési költsége napjainkban mintegy tízszerese egy szóló elektromos buszénak, a férőhelyek száma jellemzően 3-3,5-szerese. A járművek mért fajlagos villamosenergia-fogyasztása 2,5-3 kWh/km, amely mintegy duplája, de jellemzően inkább 2,5-szer nagyobb, mint az elektromos buszoké. Utaskapacitásra vonatkoztatva közel azonos. Azonban a téli időszakban, amikor szükséges a szerelvényeket fűteni, akár 7 kWh/km értékre is nőhet a járművek fajlagos villamosenergia-fogyasztása.

Jelenlegi üzemanyag- és villamosenergia árak mellett egy városi villamos üzemeltetési költsége egy szóló diesel üzemű busszal egyenértékű. Utaskapacitása viszont lényegesen nagyobb, így a kapacitások maximális kihasználtságával lényegesen kedvezőbb üzemköltséggel rendelkezik.

5. Összefoglalás és következtetések

A városi tömegközlekedés vitathatatlan előnye, hogy egyidejűleg nagy utaslétszámú forgalmat tud lebonyolítani, ezzel mérsékelve a közutak leterheltségét a személyautókkal történő egyéni utazáshoz képest. Ugyanakkor elgondolkodtató, hogy az egyes tömegközlekedési eszközök, járműtípusok utaslétszámra vonatkoztatott környezeti kibocsátása, hogyan viszonyul az egyéni közlekedés kibocsátási normáihoz. A városi tömegközlekedésnek bizonyos esetekben valóban vitathatatlan előnye a hagyományos személyautókkal szembeni kisebb környezeti kibocsátás, de ezt célszerű lenne komplexebben vizsgálni.

A városi közlekedés fejlődése során találkozhattunk állati erővel, gőzzel, belsőégésű motorral és elektromos meghajtással üzemelő tömegközlekedési eszközökkel. A belső égésű motorral szerelt járművek mellett ismételten egyre nagyobb teret hódítanak a villamos hajtású tömegközlekedési eszközök, napjainkban az elektromos autóbuszok. A belsőégésű járművek korábban dízel üzeműek voltak, de az utóbbi 10 évben megjelentek a CNG üzemű járművek is, így a flottákra a járművek diverzitása jellemző. A kezdetben gazdaságosan üzemeltethető CNG buszok mára elvesztették a gazdasági előnyüket és az üzemanyagár-szerkezet jelentős változása miatt jelen pillanatban a leggazdaságatlanabbul üzemeltethető autóbuszokká váltak. Ugyan környezeti kibocsátásuk továbbra is kedvezőbb, mint dízel társaiké, azonban a megfizethető közösségi közlekedés fenttartása miatt szükséges háttérbe szorításuk és az elektromos, valamint a dízel meghajtású autóbuszok előtérbe helyezése. Jelen energiapiaci viszonyok mellett az elektromos autóbuszok közlekedtetése a leggazdaságosabb megoldás, azonban túlzott használatuk gyors amortizációhoz vezet, és az ezáltal megnövekedett karbantartási költségek miatt hosszú távon a belső égésű motorral szerelt autóbuszok tovább közlekedtetését igénylik.

Mivel az energiapiacra a folyamatos változás a jellemző, és a tőzsdei energiaárak óráról órára változnak, ezért rendszeresen szükséges felülvizsgálni a gazdasági megfontolásból üzemeltetett járművek típusát, nem figyelmen kívül hagyva a fix költségeket sem!

Irodalomjegyzék

MVK Zrt. weboldala <www.mvzrt.hu> (2023.02.23.)

Áron S. (2016): 75 db MAN Lion's City CNG MVK busz az Zrt-nél
<https://www.busworldblog.com/post/mvk_man> (2023.02.23.)

MVK Zrt. (2021): Dekarbonizációs Terv 2021.

BYD, „Bus and Coach.,” BYD Europe B.V.,: <<https://bydeurope.com/pdp-bus-coach>> (2022.10.10.)