

Alternatív és hagyományos hajtású autóbuszokkal kiszolgált közlekedési rendszer gazdasági fenntarthatóságának összehasonlító-elemzése

Napjaink gazdasági, társadalmi környezete számos problémával, kihívással küzd (pl. energiaválság, infláció, környezetvédelem), amelyek döntő része kétirányú kölcsönhatásban áll a közlekedési rendszerrel is. A kutatók és az érintett szervezetek az egyes mobilitási alrendszerek tekintetében számos megoldási javaslatot, akciótervet dolgoztak ki a „problémafelhő” mérséklésére, azonban ezek többnyire komplex megoldás helyett egy technológiai, gazdasági vagy ipari megoldásra koncentrálnak.

Kulcsszavak: alternatív hajtású autóbuszok, elektromos autóbuszok, CNG autóbuszok, hidrogénhajtás, teljes élettartam költség, üzemeltetési költség, közszolgáltatási szerződés, helyi közösségi közlekedés, diszkontráta

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2024.5.2>

Dr. Lakatos András¹ – Dr. Tóth János² – Dr. Török Ádám³

¹ tudományos munkatárs, BME Közlekedéstechnológiai és Közlekedésgazdasági Tanszék

² tanszékvezető, egyetemi docens, BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

³ egyetemi tanár, tudományos dékánhelyettes, BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

e-mail: lakatos.andras@kjk.bme.hu, toth.janos@kjk.bme.hu, torok.adam@kjk.bme.hu

1. BEVEZETÉS

A közúti közlekedésben résztvevő autóbuszok hajtásmódjának korszerűsítése új kutatási terület. Alig néhány éves múltra tekint vissza. Cikkünkben a nemzetközi kitekintést követően a hajtásmódok gazdasági összehasonlítására teszünk javaslatot egy koherens, integrált és transzparens rendszerben.

Magyarországon a helyi és a helyközi közösségi közlekedés biztosítása az ellátásért felelős szervezetek és az autóbuszos szolgáltatók között kötött közszolgáltatási szerződések alapján történik. A Személyszállítási szolgáltatásokról szóló 2012. évi XLI törvény szerint a helyközi autóbusz-közlekedés fenntartásáért kötelezően a mindenkori, közlekedési ügyekért felelős miniszter (jelenleg az Építé-

si és Közlekedési Miniszter) felel, míg a helyi közösségi közlekedés biztosításáért az illetékes önkormányzatok a felelősek – a fővárost leszámítva – önként vállalt feladatként. A szolgáltatásból fakadó veszteségeket a megrendelőknek minden esetben ellentételezniük szükséges az operátorok felé, amelynek módjáról és mértékéről a közszolgáltatási szerződések rendelkeznek.

A közszolgáltatás odaítélésének időtartama a 1370/2007/EK rendelet 4. cikkelyének 3. bekezdése alapján maximum 10 évre szólhat. Ebből fakadóan a szolgáltatónak üzleti érdeke az autóbuszok teljes élettartamköltségének (LCC) 10 évben történő meghatározása.

A magyarországi gyakorlat ehhez képest jelentősen eltér a helyi közösségi közlekedésben: számos esetben – a törvény által megengedett – 1-2 évre szóló ún. kényszerkijelölés lehetőségével élnek az önkormányzatok a közszolgáltatásra kiírt pályázat érvénytelensége miatt, illetve az előbb említett kompenzáció mértékét illetően is dilemmák merülnek fel a valós üzemeltetési költségek tekintetében a szerződő felek között. Ezt tetézi, hogy az egyre inkább

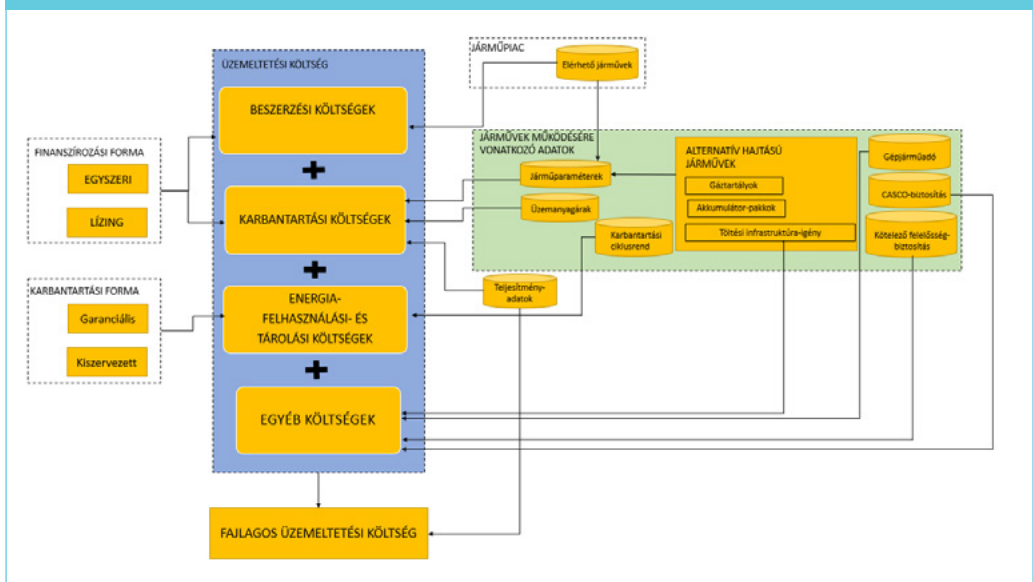
elterjedő, innovatív, környezetbarát hajtásmódok terén a szolgáltató – üzemeltetési tapasztalatok híján – csak becsülni tudja a jelentkező üzemeltetési költségeket, amely jelentős üzleti kockázatot rejt magában mindkét fél számára (a szolgáltató esetlegesen átterhelheti ezt a megrendelőre).

Jelen módszertan a fenti problémakörre kínálna megoldást oly módon, hogy azzal egy valósághoz közelítő, fajlagos költségérték határozható meg a különböző hajtású (dízel, elektromos, CNG, CBG, dízel-elektromos, hidrogén) autóbuszokra a teljes közszolgáltatási időszakra. Ezen felül az egyes hajtások költségértékeinek összehasonlításával lehetőség nyílik a közlekedési és társadalmi szempontból egyaránt fenntartható és hatékony hajtástípus kiválasztására a helyi közösségi közlekedési rendszerben.

2. KERETRENDSZER

Az autóbusz-közlekedés fenntartásával kapcsolatos költségeket jelen módszertan komplexen vizsgálja, amelynek felépítését és az elemek közötti összefüggéseket az 1. ábra mutatja.

1. ábra: Módszertan felépítése (saját szerkesztés)



1. táblázat: Vizsgálatba vont hajtásmódok jellemzői

hajtás- mód	sor- szám	üzemanyag-tárolás módja		üzemanyag-tároló élettartama		üzemanyag-tárolók száma		üzemanyag-tárolók kapacitása	
		elsődleges	másodla- gos	elsődleges	másodla- gos	elsődleges	másodla- gos	elsődleges	másodla- gos
dízel	I	folyékony- üzem- anyag-tar- tály	-	jármű élettart- amával megegye- zik	-	1	-	50-400 liter	-
dízel- elekt- romos (hibrid)	II	folyékony- üzem- anyag-tar- tály	akkumu- látorpak- kok	jármű élettart- almával megegye- zik,	4-10 év	-	-	50-400 liter	20-100 kWh
(Tisztán) elektro- mos	III	akkumu- látorpak- kok	-	2.000- 4.000 töltési életciklus	-	-	-	200-500 kWh	-
CNG (CBG)	IV	gáztartá- lyok	-	8-20 év	-	2-12 darab	-	30-150 liter	-
hidrogén	V	gáztartá- lyok	akkumu- látorpak- kok	8-20 év	4-10 év	2-5 darab	-	30-50 liter	20-100 kWh
LPG	VI	cseppfo- lyógáz- tartály	-	10 év	-	1-3 darab	-	30-150 liter	-

A kidolgozott módszertanban az üzemeltetési költségek mellett a különböző finanszírozási konstrukciók, a vizsgálat időtartama (azaz mennyi időre szóló közszolgáltatási szerződést köt a megrendelő és a szolgáltató), valamint a pénz jövőbeni változását leíró diszkontráta került figyelembevételre. Utóbbi különösen fontos a szolgáltatónál – a szerződés időtartama alatt – jelentkező költségek pontos meghatározására. A diszkontáláshoz 6%-os kamatlábat használtunk, amely figyelembe veszi a gazdasági világválság, a COVID-19 kilengéseit és az MNB előrebecslését.

A módszertan az autóbusz-közlekedésben jelenlévő összes hajtásmódra, azokon belül hajtásláncra alkalmazható, amelyek a vizsgálat szempontjából az 1. táblázat szerinti paraméterekkel rendelkezhetnek.

Az 1. táblázat alapján az egyes hajtásokon belül hajtásláncenként különböző összetételű autóbuszok definiálhatók:

- Dízel (I): a tartály élettartama a járművével azonos és számossága (túlnyomó többségében) 1 értéket vesz fel, ezért a típust a tartály kapacitása határozza meg. A tároló kapacitása a jármű kivitelétől (mini, midi, szóló, csuklós stb.) függően 50 és 400 liter közötti.
- Dízel-elektromos (hibrid) (II): az elsődleges energiaforrás (dízelegység) paraméterei megegyeznek az előzőekben leírtakkal, az elektromos rész – mint másodlagos energiaforrás – esetében az akkumulátorpakkok élettartama, valamint kapacitása a mérvadó. A hibrid járművek jellemzően kisebb kapacitású elektromosenergia-tárolóval (20-100 kWh) rendelkeznek, amelyek élettartama 4-10 év (gyártó által vállalt) [1].
- (Tisztán) elektromos (III): a hajtást a vizsgálat szempontjából az energiatároló élettartama (2.000-4.000 töltési életciklus), valamint kapacitása (200-500 kWh) ha-

tározza meg. Az elektromos tárolóegység csere költsége – azok darabszáma helyett – a tárolandó energiamennyiséggel arányos.

- Sűrített földgázzal (CNG), illetve sűrített biogázzal (CBG) hajtott autóbuszok (IV) esetében a járművek hajtásláncát a gáztartályok élettartama (katasztrófavédelmi szabályok függvényében 8-20 év), darabszáma (2-12 darab), valamint kapacitása (30-150 liter) határozza meg. A járművön elhelyezett tárolók darabszáma járműgyártónként (sok esetben típusonként is) eltérő lehet, kapacitása ugyan katalogizált, de egyedi igények szerint is alakítható. Mivel a CNG és CBG járművek felépítése nem, csupán a hajtóanyag előállítás technológiája különbözik egymástól, ezért a módszertan a CBG járműveket is CNG hajtásúként kezeli [4].
- Hidrogén (V): a jármű elsődleges energiaforrása a hidrogéngáz, amelyet nagy nyomású tárolókban (350 bar) helyeznek el a jármű tetején. Ezek darabszáma (2-5 darab), valamint kapacitása (30-50 liter), élettartamuk a biztonsági előírások függvényében 8-20 év. Az elektromos egység – mint másodlagos energiaforrás – jellemzően a gyorsításoknál és a terepviszonyok leküzdésében segít. Az elektromos tároló élettartama és kapacitása a dízel-elektromos hajtáshoz hasonló (4-10 év; 20-100 kWh). Ezzel a hidrogén hajtás egy gázüzemű és egy elektromosüzemű részegység összegeként definiálható.
- LPG (VI): az egyes összetételeket a cseppfolyósított gáz tartályainak darabszáma (1-3 darab), valamint kapacitása (30-150 liter) határozza meg.

Az autóbusz-közlekedés ellátása során 4 különböző költséget különböztet meg a módszertan:

1. a járművek beszerzési költségei,
2. a járművek energiafelhasználásának- és tárolásának költségei,
3. az autóbuszok karbantartási költségei,
4. egyéb költségek.

A módszertan korlátai közé tartozik, hogy a szolgáltatás biztosításához szükséges humán erőforrás költségeket (pl. járművezetők, karbantartók, forgalmi szolgálattevők, mérnökök stb.) nem veszi figyelembe. Ez a munkakörök diverzifikált anyagi ellentételezéséből adódik. Az emberi erőforrásokkal kapcsolatos költség becsléséhez pontosan tudni szükséges az egyes feladatok munkavégzésével megbízott munkavállalók számát, amelyet nagyban meghatároznak az alkalmazott karbantartási, informatikai és kommunikációs rendszerek. Mivel ezen tényezők szolgáltató-, illetve közszolgáltatás-specifikusak, ezért jelen módszertan a kiszámított költségértékek esetleges torzulása miatt azokkal nem számol.

A módszertanban alkalmazott változók széles körű költség-számítási lehetőséget biztosítanak, azonban egyes paraméterek (pl. üzemanyagár-változás és/vagy diszkontráta) jövőbeni értékeit éves bontásban csak becsülni lehet. Ebből adódóan az időhöz kapcsolódó változók értékei a teljes szolgáltatási időszakot lefedően is megadhatók (egy-egy értékkel).

A *beszerzési költségek* számítása a különböző hajtású autóbuszok tekintetében azonos: a beszerzési tervezett járműszám és az egyes hajtáslánc-összetétellel rendelkező autóbuszok darabonkénti ellenértékének szorzatösszegeként adódik, amennyiben a járművek egyösszegben és egy időpontban (pl. a szolgáltatás megkezdését megelőző időpontban) kerülnek megvételre. Kiemelendő, hogy a módszertan hajtáslánconként egyféle járműárat vesz figyelembe (gyártótól függetlenül), feltételezve, hogy a beszerzés során a legkedvezőbb ajánlatot fogadja el a pályázat kiírója.

A módszertan kezeli a megadott időtartamra szóló hitelszerződések szerinti beszerzést is, amely nem tartalmaz a hitelező részéről egyéb feladatvállalási (pl. karbantartási, javítási) költségtételt. Ebben az esetben a költségek nem csak és kizárólag az első évben jelentkeznek, hanem a hiteltörlesztés teljes időtartama alatt elosztva, diszkontrátával terhelve.

Az *energiafelhasználás- és tárolás költségeinek* tekintetében – igazodva az egyes hajtások és azon belül hajtáslánc-összetételek sajátos műszaki jellemzőihez – különböző paramétereket vesz figyelembe a módszertan:

- *I* esetben energiatárolóra vonatkozó költség nem jelentkezik, ugyanis a tartály élettartama megegyezik a jármű élettartamával;
- *II* hajtással bíró járművek dízel egységére a fent leírtak vonatkoznak, míg az elektromosenergia-tárolók cseréjére lehet szükség az évre vetített töltésszám és az akkumulátorok élettartamának viszonya alapján. Az akkumulátorpakkok cseréjének költsége 1 kWh energia tárolásának világpiaci árán alapul;
- *III* hajtásra vonatkozóan az energiatárolási költség számítás megegyezik *II* elektromos részegységére leírtakkal;
- *IV* üzemi autóbuszok esetében a nagynyomású (200-220 bar) gáztároló tartályok cseréjére lehet szükség, amelyet a gázpalackok hitelesítési ideje (szabályzatokban előírt maximális élettartam) határoz meg. Ennek költsége a tartályok élettartamától, kapacitásától, valamint darabszámától függ;
- *V* hajtású autóbuszok energiatárolóinak cseréje ötvözi az *II* és *IV* hajtásokra leírtakat. Az elsődleges energiaforrást tároló nagynyomású (350 bar) tartályok élettartama, kapacitása és darabszáma határozza meg a tartályok költségigényét, a másodlagos funkciót betöltő akkumulátorpakkok cseréjének 1 kWh-ra vonatkoztatott költségvonzata pedig az évenkénti töltésszámon, illetve az energiatárolók élettartamán alapszik;
- *VI* esetben az energiatároló tartályok cseréjének költségvonzata azok darabszámától és kapacitásától függ. Mivel a tárolók élettartama azonos vagy meghaladja az autóbusz-közlekedési szolgáltatásra vonatkozó szerződés időtartamát, ezért a módszertanban a csere költséget illetően nem került figyelembevételre.

Szintén energiafelhasználási és -tárolási költségként értelmezendő a jármű mozgatásához felhasznált energia mennyiségéből, valamint annak világpiaci árából származó kiadás. Előbbi az egyes hajtáslánc-összetételű autóbuszok éves átlagos futásteljesítményéből és kilométerre vetített (fajlagos) átlagos energiafelhasználásából, míg utóbbi a hajtóanyag aktuális árából és annak prognosztizálható változásából adódik. Mivel az egyes üzemanyagok világpiaci ára érzékeny a geopolitikai hatásokra, ezért az elmúlt 5 év ellenértékeinek tendenciája nyújt alapot a változások becsléséhez, amelyeknek adatforrásai a különböző nemzetközi szervezetek által publikált dokumentumok.

A fentiekben leírtak szerint számított energiafelhasználási és -tárolási költségek hajtásonként kalkulálhatók.

Az energiatároló eszközök világpiaci árának figyelembevételével a módszertan lehetőséget biztosít azok hitszerződés keretein belüli beszerzésére is (megjegyzendő, hogy ez utóbbi megoldás még nem terjedt el széles körben, de a technológiák fejlődésével reális opcióként jelentkezhet a jövőben).

A *karbantartási költségek* a járművek teljes élettartama során jelentkeznek. A vis-maior jelleggel fellépő ún. futójavítások (pl. balesetben megrongálódott vagy a tervezett időpont előtt meghibásodott alkatrészek javítása, cserélése) mellett a közlekedési társaságok által alkalmazott – és számos autóbuszgyártó által javasolt – tervszerű megelőző karbantartási folyamatok is jelentős költségvonzattal bírnak. A módszertan ez utóbbit három, különböző módon veszi figyelembe, míg a futójavításokkal (azok előre nem tervezhetősége miatt) nem kalkulál:

- a teljes élettartam alatt az autóbuszok üzemeltetője végzi az összes karbantartási beavatkozást;
- a beszerzési költség egy – az adás-vételi szerződésben foglalt – bizonyos időtartamig tartalmazza a tervszerű megelőző karbantartási költségeket (így az üzemelte-

2. ábra: Módszertan szerint számított fajlagos üzemeltetési költségek felhasználási lehetőségei (saját szerkesztés)



tónél annak mértéke nem jelentkezik) ún. garanciális időszak keretein belül, azonban a futójavítások anyagköltségigénye a járművek üzemben tartóját terhelik;

- az autóbuszok teljes élettartama alatt vagy a garanciális időszak letelte után karbantartási szerződés keretein belül egy üzemeltetőtől független vállalkozó látja el az összes karbantartási feladatot.

A módszertan a karbantartások szempontjából hajtásmódokat különböztet meg, azon belül értelmezett hajtásláncokat nem, feltételezve azt, hogy az alkalmazott energiatárolók élettartama és kapacitása nem befolyásolja a fentiekben említett karbantartási műveletekből fakadó – főként technológiai – költségértékeket. Ezen felül mivel a karbantartásra vonatkozó gyakorlat Európa-szerte különbözik, ezért az időtartamra vonatkozó adatok paraméterezhetők.

Az *egyéb költségek* és támogatások az autóbuszok üzemeltetése során jelentkező, egyszeri vagy folyamatos – a fenti kategóriákba nem sorolható – műveletek, feladatok költségeit és támogatásait foglalják magukba, úgymint:

- a gépjárműadó éves terhe;
- a kötelező és CASCO gépjármű biztosítások;
- a hajtáshoz szükséges egyéb anyagok (pl. kenőanyag, motorolaj, ablakmosó-folyadék stb.), dízelhajtás esetén ideértve az AdBlue adalékanyagot is;
- az üzemanyagtöltő infrastruktúra kiépítésének költsége, kétféle finanszírozási konstrukcióban (egyszeri költség; bérleti

szerződés keretein belül).

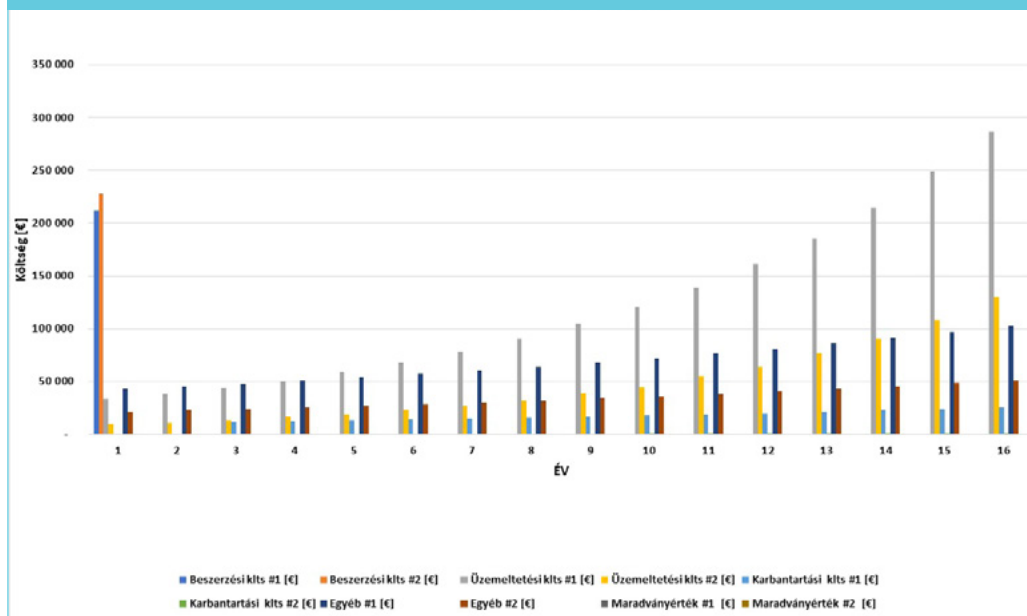
Megjegyzendő, hogy a módszertan – a karbantartási költségekhez hasonlóan – csak hajtásmódok között tesz különbséget, hiszen a hajtáslánc-összeállítások érdemben nem befolyásolják a jelzett költségeket.

Az előző költségek (és támogatások) módszertan szerinti összegzésével kiszámítható az üzemeltetni kívánt adott hajtással rendelkező flotta – szolgáltatónál jelentkező – teljes költsége a közszolgáltatási szerződés időtartamára vonatkozóan. A költségek mellett az egyes feladatok elvégzéséért járó vagy elnyert támogatási összegek is figyelembevételre kerültek. Az egy kilométerre vonatkozó, fajlagos költségek az éves futásteljesítményekkel elosztva határozhatók meg. A módszertannal számított, különböző hajtásokra vonatkozó költségérték kétféle módon hasznosítható (2. ábra):

- a törvényekben előírt, szolgáltató által évente kötelezően összeállítandó beszámolóban foglalt költségadatok és a megrendelő részéről történő finanszírozás mértékének validálása érdekében;
- az eltérő hajtású autóbuszok fajlagos költségértékeit egymással „párba állítva” a fenntartható közösségi közlekedés vizsgálata során.

A komplex számítási módszertannal meghatározhatók, illetve összehasonlíthatók – tetszőleges időtartamra – a különböző autóbusz-hajtási módok fajlagos üzemeltetési költségei, amellyel pontosítható a helyi, illetve helyközi közösségi közlekedés szolgáltatójánál jelentkező ellentételezési igény a meg-

3. ábra: Költségtényezők dízel- illetve tisztán elektromos autóbuszok alkalmazás során



rendelő felé és minimalizálható a gazdasági kockázat az autóbusz-közlekedési operátor esetében.

3. EREDMÉNYEK, ESETTANULMÁNY

A módszertant két magyarországi település helyi autóbuszos közösségi közlekedési rendszerére alkalmaztuk:

- Paks, illetve
- Gödöllő.

Paks Budapesttől kb. 120 kilométerre délre elhelyezkedő 20 ezer fős település. A helyi autóbusz-közlekedést az önkormányzat megrendelésére az önkormányzati tulajdonú Paksi Közlekedési Kft. látja el hét viszonylaton, 10 darab 100%-ban elektromos meghajtású autóbusszal 2021. február 1-je óta. A Solaris Urbino 9,5 típusú (midi) autóbuszok (4 darab) 200 kWh akkumulátor-kapacitással, míg szóló (Solaris Urbino 12) társaik (6 darab) 250 kWh értékű energiátárolóval rendelkeznek. A

gyártó üzemanyag-fogyasztásra vonatkozó mérései (SORT-2) alapján előbbiek 0,74kWh/km, utóbbiak 0,85 kWh/km átlagos fogyasztási értékekkel bírnak. A járművek éves szinten kb. 490 ezer fizető kilométert tesznek meg (hatékony üzemeltetés melletti egyenletes elosztást feltételezve: 49 ezer km/autóbusz). Az autóbuszok – az üzemanyagtöltő-állomással együtt – 4,7 millió €-ba kerültek, amelyet Európai Unió forrásból (IKOP Plusz) fedeztek. A villamos energia beszerzési ára 0,5 €/kWh. A járművek karbantartási költsége – a 2022. évi beszámoló alapján – 6000 €/autóbusz/év volt, amelyből 4 éven keresztül az autóbuszok gyártója évi 1000 eurónyi garanciális javítási részt vállal. A gépjárművek biztosítási költsége évi 1000 €/autóbusz. Az autóbuszok akkumulátor-pakkjait a gyártói ajánlás szerint 8 évente szükséges cserélni (a járművek 90%-os rendelkezésre állása, valamint a fordaszerkezet alapján ez kb. 3100 töltési életciklust jelent). [2], [3], [5], [6].

Alkalmazva a módszertant a fenti adatokra (egyösszegű járműbeszerzés esetében, a fen-

ti hajtáslánc-összetétellel számolva, 10 éves közszolgáltatási szerződést feltételezve) a fajlagos üzemeltetési költség értéke 2,00 €/km-re adódik. A közadatként elérhető beszámolóból a 2022. évben – a bérszámfejtésre kerülő összeget ide nem értve – 1,82 €/km ellentételezéssel üzemeltek az autóbuszok.

Gödöllő Magyarország központi részén, Budapesttől kb. 20 kilométerre helyezkedik el keletre, népessége 32 ezer fő. A helyi közösségi közlekedést az önkormányzat megrendelésére az állami tulajdonú VOLÁNBUSZ Zrt. látja el – jelenleg kényszerkijelölés alapján – 5 darab dízelüzemű, Credo Econell 12 típusú szóló autóbusszal. A járművek évente 230 ezer kilométert futnak (egyenletes eloszlást feltételezve 46 ezer km/autóbusz) a város 12 vonalán, átlagos üzemanyag-fogyasztásuk 33 liter/100 km. A közlekedési cég állami forrásból 2019-ben beszerzett 5 autóbusza kb. 160 ezer €/autóbusz beszerzési költséggel bírt, infrastrukturális beavatkozás (pl. üzemanyag-töltők cseréje) nem volt szükséges. A járművek karbantartási költsége – a 2022. évi beszámoló alapján – 8080 €/autóbusz/év volt, amelynek részét nem képezte a gyártó oldaláról garanciális művelet. Az autóbusz-közlekedési társaság kb. 0,13 €/kWh nagykereskedelmi áron szerzi be a dízel-üzemanyagot [7], [8].

Gödöllő helyi közlekedésére alkalmazva a módszertanban foglaltakat, egy új (2024-ben esedékes) közszolgáltatási szerződés keretén belül egy piaci alapon működő szolgáltató számára dízelüzem esetén 2,11€/km, tisztán elektromos autóbuszos szolgáltatás tekintetében pedig 2,00 €/km ellentételezés esetében lenne gazdaságos a közlekedés fenntartása 10 év távlatában (3. ábra). A 2022. évben az említett közlekedési cég 0,99 €/km költségtérítés ellenében üzemeltette a járműveit (ide nem értve a humán erőforrás és egyéb, a forgalom fenntartáshoz szükséges költségeket).

4. KONKLÚZIÓ

A módszertan alkalmazásával kiszámított költségértékek alapján megállapítható egyrészről, hogy gazdasági szempontból a tisztán elektromos hajtású járművek üzemelte-

tése kedvezőbb mind a megrendelő, mind pedig a szolgáltató számára a teljes szerződéses időszakot nézve (10 év), mint a dízel autóbuszoké.

Másrészről pedig elmondható, hogy a helyi közlekedésben igen gyakran alkalmazott elszámolási rendszer, gazdasági működési környezet kevésbé vonzó, megterülő a szolgáltató számára, kevésbé teszi fenntarthatóvá és előretervezhetővé a közlekedés ellátását. Ugyan az alternatív hajtású járművek esetében megállapítást nyert, hogy kedvezőbb gazdasági mutatókkal üzemeltethetők, azonban kiemelten fontos az is, hogy a közlekedési társaságok a szolgáltatásért megfelelő ellentételezésben részesüljenek.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Napjaink gazdasági és társadalmi kihívásai (pl. energiaválság, infláció, munkaerőhiány stb.) a közlekedésre is hatást gyakorolnak. Ezek mérseklése a fenntartható és energiahatékony közlekedés megteremtésével lehetséges, amelyek közé tartoznak közlekedésszervezési, technológiai és ipari megoldások egyaránt. Számos kutatás fókuszál a különböző megoldási lehetőségekre, ám azok kombinációja még kevésbé kutatott.

Jelen vizsgálat ötvözi a fenti eszköztárat, hiszen a különböző, hagyományos és alternatív hajtású (tisztán elektromos, CNG, CBG, hidrogén, LPG) autóbuszok üzemeltetési költség alapú összehasonlítására kínál módszertant, valamint ezek alapján rávilágít a gazdasági-működési környezet sajátosságaira, illetve arra, miként lehet a helyi autóbusz-közlekedési rendszert fenntarthatóvá tenni a szolgáltató számára is.

A módszertan alapját komplex költségszámítási metódus képezi, amely figyelembe veszi a közszolgáltatási szerződés időtartamát, ezzel együtt a diszkontrátát, valamint az üzemeltetési (karbantartási, energiateljesítmény és tárolási, valamint egyéb) költségeket. A módszertan alkalmas különböző finanszírozási formák (pl. egyösszegű kifizetés vagy hitel-szerződés), illetve az egyes alternatív hajtású autóbuszok specifikus alkatrészcsereinek gazdasági szempontú kezelésére, valamint a leg-

inkább alkalmazott karbantartási stratégiák (pl. tervszerű megelőző karbantartás, szerződés ellenében végzett „kiszervezett” karbantartás) figyelembevételére.

A komplex számítási módszertannal összehasonlíthatók tetszőleges időtartamra az egyes hajtási módok gazdasági vonzatai, amellyel tervezhetővé válik a helyi és helyközi közösségi közlekedés ellentételezési igénye a megrendelőnél és minimalizálható a gazdasági kockázat a szolgáltató esetében.

A kidolgozott módszertan működése két magyarországi város (Paks, Gödöllő) példáján került bemutatásra. Megállapítást nyert, hogy a teljesen elektromos flottával kiszolgálásra kerülő paksi közösségi közlekedés fenntarthatóbb a dízelüzemnél, azonban 10 éves időtáv tekintetében az ellentételezés pontosításra szorul. A teljesen dízelüzemű autóbuszokkal ellátott Gödöllő városában a járművek tisztán elektromos meghajtására cserélésével jelentős költségcsökkentés érhető el. Ezen felül elmondható, hogy a szolgáltatás finanszírozottsága nem fenntartható a szolgáltató számára, amely különös fontossággal bír a helyi közlekedés ellátására vonatkozó közbeszerzési eljárás kiírását megelőzően.

A módszertannal minden hagyományos és alternatív hajtású autóbuszos kiszolgálás összehasonlítható.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Vince Kruchina: The possibility of electrification in public transport bus

services. In: Horváth, Balázs; Horváth, Gábor (szerk.) XIII. International Conference on Transport Sciences / XIII. Nemzetközi Közlekedéstudományi Konferencia, Győr : Multimodality and sustainability / Multimodalitás és fenntarthatóság Győr, Magyarország : Közlekedéstudományi Egyesület (2023) pp. 137-144. , 8 p.

- [2] Az MNB legfrissebb hivatalos devizaárfolyamai. URL: <https://www.mnb.hu/arfolyamok>. Hozzáférés: 2023. 11. 07.
- [3] Real-Time Electricity Tracker URL: https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/real-time-electricity-tracker?gclid=Cj0KCQiAjMKqBhCgARIsAPDgWlw6NjrSVIry3Jv5f33IB6UVPAPMjzGmkrSLa1N4L4TmQh5G4ekxwSgaAicyEALw_wcB Hozzáférés: 2023. 11. 07.
- [4] Map of Natural Gas Vehicle (NVG) Compressed natural gas (CNG) filling stations in Europe. URL: <https://cngeurope.com/> Hozzáférés: 2023. 11. 07.
- [5] Hydrogen cost and sales prices. URL: <https://h2v.eu/analysis/statistics/financing/hydrogen-cost-and-sales-prices> Hozzáférés: 2023. 11. 07.
- [6] Paksi Közlekedési Kft. Üzleti terve a 2022. évre. URL: https://paksbusz.hu/wp-content/uploads/2022/09/MUK-120-3_Paksi-Kozlekedesi-Kft_Uzleti-terv-2022_v3.pdf Hozzáférés: 2023. 10. 03.
- [7] Vonzóvá tenni újra a buszozást. URL: <https://www.busworldblog.com/post/paksbusz>. Hozzáférés: 2023. 10. 02.
- [8] 2021. évi beszámoló Gödöllő város részére az autóbuszal végzett helyi személyszállítási közszolgáltatási tevékenysége vonatkozóan. VOLÁNBUSZ Zrt. 2022.

E számunk lektorai

Berta Tamás ■ Horváth Gábor ■ Dr. Juhász Mattias

Dr. Katona András ■ Dr. Kisgyörgy Lajos



Comparative analysis of the economic sustainability of the transport system served by alternative and conventional buses

Keywords: alternative propulsion buses, electric buses, CNG buses, hydrogen propulsion, life cycle costs, operating costs, public service contract, local public transport, discount rate

The cost values calculated using the methodology show, on the one hand, that the operation of pure electric vehicles is more advantageous from an economic point of view for both the client and the service provider over the entire duration of the contract (10 years) than the operation of diesel buses.

On the other hand, it can be said that the accounting system and the economic operating environment very often used in local transport are less attractive and profitable for the service provider and make the transport offer less sustainable and predictable. Even if alternative propulsion vehicles have been found to have better economic indicators, it is also of utmost importance that transport companies are adequately remunerated for their service.



Vergleichende Analyse der wirtschaftlichen Nachhaltigkeit des Verkehrssystems, das von alternativen und konventionellen Omnibussen bedient wird

Schlüsselwörter: Busse mit Alternativantrieb, Elektrobusse, CNG-Busse, Wasserstoffantrieb, Lebenszykluskosten, Betriebskosten, öffentlicher Dienstleistungsauftrag, öffentlicher Personennahverkehr, Diskontsatz

Die anhand der Methodik berechneten Kostenwerte lässt sich zum einen feststellen, dass der Betrieb von reinen Elektrofahrzeugen aus wirtschaftlicher Sicht sowohl für den Auftraggeber als auch für den Dienstleister über die gesamte Vertragsdauer (10 Jahre) vorteilhafter ist als der Betrieb von Dieselmotoren.

Auf der anderen Seite kann man sagen, dass das Verrechnungssystem und das wirtschaftliche Betriebsumfeld, die im Nahverkehr sehr häufig angewandt werden, für den Dienstleister weniger attraktiv und rentabel sind und das Verkehrsangebot weniger nachhaltig und vorhersehbar machen. Auch wenn bei Fahrzeugen mit alternativem Antrieb festgestellt wurde, dass sie bessere wirtschaftliche Indikatoren aufweisen, ist es auch von größter Bedeutung, dass die Verkehrsunternehmen für ihre Dienstleistung angemessen entlohnt werden.