

Alternatív hajtású autóbuszok nagyvárosi közösségi közlekedésben

Alternative propulsion buses in the metropolitan public transport

Prof. Dr. habil LAKATOS István, Dr. SZAUTER Ferenc, PUP Dániel*

Széchenyi István University, Győr, Hungary

* lakatos@sze.hu

Abstract

The lecture is analyzing the possibility of an optimal energy mix through the example of a Hungarian metropolis. Using the city bus routes, we analyze and compare the traditional Diesel, CNG, and electric propulsion. An optimal energy mix is provided by using SWOT analysis.

Keywords: CNG, electric powertrain

Kivonat

Az cikk egy magyarországi nagyváros példáján elemzi a helyi tömegközlekedésben alkalmazható optimális energiamix lehetőségét. A városban ellátandó viszonylatokra megvizsgáljuk a hagyományos dízel üzemű autóbuszokkal összevetve a CNG-hajtást és az elektromos hajtást is. SWOT analízissel és gazdasági elemzéssel alátámasztva fogalmazzuk meg optimalizált energiamixet.

Kulcsszavak: CNG, elektromos hajtás

1. BEVEZETÉS

A cikk főként a CNG alapú közúti közlekedés fejlesztési lehetőségeit tárja fel. Emellett azonban szerepet kapott a különböző hajtási módok vizsgálata is. Az alternatívák közül kiemelt szerepet kapott a tisztán elektromos hajtás, illetve a jövőbe mutató technológiák közül a hidrogén.

A különböző alternatív meghajtású járművek üzemeltetéséhez különböző infrastrukturális rendszerek szükségesek, ezért az elemzések során kitértünk a töltőállomások és a fenntartóbázisok kialakítására is. A tanulmány alapvetően a közösségi közúti közlekedésre fókuszál, de az elemzéseknel beemeltük a kisebb személy- és haszongépjárművekhez tartozó kimutatásokat, elemzéseket is, mivel a töltőállomások használata adott esetben megosztható az egyéb közlekedési eszközök számára is.

A tanulmány szerkezetileg a következő logikát követi:

- a műszaki-technológiai alapok,
- kapcsolódó gazdasági szempontok:
 - CNG,
 - tisztán elektromos hajtás,
 - összehasonlítási alap: dízel üzem.

Az összehasonlító, illetve a SWOT elemzések bázisaként alapvetően a dízel hajtási technológia jelenik meg, mivel a közösségi busz közlekedésben erre a legelterjedtebb hajtási módra kerestük az alternatívákat.

A különböző alternatívákat a műszaki paraméterek és technológiai jellemzők mellett az üzemeltetési, üzemanyagellátási és jogi – szabályozási környezet szempontjából is bemutatjuk.

Az elemzésben kitértünk a hidrogén - mint üzemanyag - hasznosíthatósága, illetve az üzemanyagcellás hajtástechnológia jelenlegi alkalmazhatóságára.

A második fejezetben Győr közösségi járműparkjának CNG üzemeltetésére történő átállításának lehetőségeit elemeztük. Először a jelenlegi járműflottát, a közlekedési hálózatot és a releváns városszerkezeti jellemzőket vettük górcső alá.

2. BELSŐÉGÉSŰ MOTOROK CNG, DÍZEL ÉS ELEKTROMOS ÜZEMÉNEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA KÖZÖSSÉGI KÖZLEKEDÉSBEN FUTÓ AUTÓBUSZOK KAPCSÁN MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGI SZEMPONTOK SZERINT

Ebben a fejezetben a CNG, valamint a tisztán elektromos hajtást hasonlítjuk össze műszaki és gazdasági szempontok alapján, SWOT elemzésekkel [1, 2, 3, 4].

Az 1. ábra a különböző hajtási lehetőségeket foglalja rendszerbe.



1. ábra Különböző hajtási módok áttekintése

Fontos kiemelni, hogy a gazdasági szempontok és a károsanyagkibocsátás mellett nem lehet figyelmen kívül hagyni a teljes életciklusra vonatkozó környezeti terhelést. Ha a környezeti terhelésből a CO₂ kibocsátást nézzük, akkor a használati termék-életcikluson kívül az azt megelőző nyersanyag előállítás, a gyártás, illetve a végén az újrahasznosítás, megsemmisítés alatti környezeti terhelést is figyelembe kell venni (2. ábra) [5, 11].

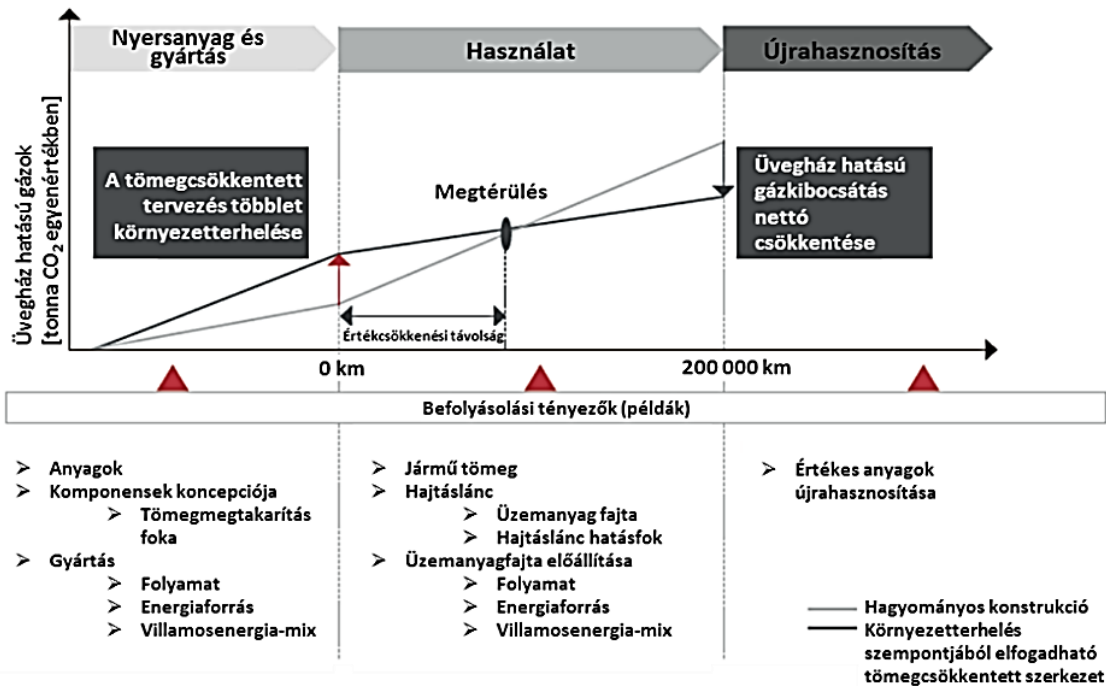
2.1 A CNG, mint alternatív üzemanyaggal történő hajtás elemzése

A belsőégésű motorok hatékonyan, környezetbarát és gazdaságos módon üzemeltethetők földgázzal vagy biogázzal. A földgáz üzem két általánosan elterjedt módja a CNG (Compressed Natural Gas) és az LNG (Liquified Natural Gas). A haszongépjárműveknél a gázolaj mellett sokkal gyakrabban alkalmaznak földgáz alapú üzemanyagokat, mint LPG-t. Ennek oka, hogy az üzemanyagellátási logisztika egyszerűbben biztosítható [10].

A földgáz jellemzőiből adódóan elsősorban „kényszergyújtású”, benzinmotoros üzemanyagként alkalmazható [6, 7].

Az autógáz úgynevezett „száraz gáz”, amely nem keni a dugattyúgyűrűk és a henger egymáson elmozduló felületeit oly mértékben, mint a benzin levegő keverék. Emiatt fokozottabb az elhasználódás. A kenési feladatokat ellátó kenőolaj minősége az élettartam függvényében viszont a gázüzemnél kevésbé romlik, és elmarad benzinnel történő felhígulás is [12].

Különböző jármű koncepciók teljes életciklus-elemzése (Life Cycle Assessment, LCA)



2. ábra Különböző járműkonceptiók hatása a teljes termék életciklus alatti CO₂ kibocsátásra [5]

A jármű teljes költségének a legnagyobb hányada a változó költségekből adódik, amelynek jelentős részét képezi a jármű üzemanyag költsége. Ennek kapcsán a dízel járművekhez viszonyított előnyök:

1. A CNG jármű beszerzési árak 6%-kal magasabb, mint a dízel járműé.
2. A CNG jármű karbantartási és javítási költségei 2,4%-kal magasabb, mint a dízel járműé.
3. A CNG jármű üzemanyagköltsége körülbelül 20-25 %-kal alacsonyabb, mint a dízel járműé.
4. A CNG járműnek nincs AdBlue fogyasztása.
5. Így összesítve a CNG jármű összköltsége az adott futásteljesítmény mellett alacsonyabb, mint a dízel járműé.

CNG járművek alkalmazásának további előnyei:

1. Bizonyítottan megbízható a technológia,
2. Gazdaságos és kényelmes alternatíva a dízel járművek kiváltására,
3. Összehasonlítva más alternatív üzemanyag megoldásokkal napjainkban, a leggazdaságosabban használható.
4. Különleges beavatkozások nélkül teljesíti a korszerű alacsony kibocsátási előírásokat.
5. A CNG jármű 100%-ban képes biogáz üzemanyaggal történő működésre.
6. A CNG jármű zajcsökkentése 50-75%
7. A Föld gáz tartalékai nagyobbak, mint a fosszilis üzemanyagoké (biogáz hatalmas kiegészítő tartalékok)

2.1.1. A CNG üzem műszaki jellemzői

A CNG-t Otto-motorokban (benzinüzemű), valamint Diesel-motorokban is lehet használni. A szegény keveréket felhasználó dízel-motorok nagyobb hatásfokot tudnak elérni a sztöchiometrikus Otto-motorokkal összehasonlítva, magasabb NO_x és szénhidrogén kibocsátás árán.

A megfelelően kialakított sűrített földgázzal működő motor a benzinmotorral összehasonlítva a magasabb effektív teljesítményt nyújt, mert a sűrített földgáz oktánszáma magasabb, mint a benziné.

A CNG tartályok alacsony nyomáson (úgynevezett „lassú töltés”), vagy magas nyomáson (úgynevezett „gyors töltés”) tölthetők fel. A különbséget a töltőállomáson érvényes ár és a töltési idő jelenti.

A CNG-tartályok típusai és tömeg - térfogat arányuk:

Európa 27 tagállamában 2007-től nőtt intenzíven a forgalomban lévő CNG járműszám, négy év alatt több mint másfélszeresére emelkedett a nyilvántartás. 2014. szeptembertől 1-től kizárólag Euro 6 követelményeket teljesítő gépjárművek helyezhető forgalomba.

2.1.2. CNG-üzem SWOT analízise

A CNG üzem SWOT elemzését az 1-es táblázat mutatja be [6, 7, 8]. Helyi, elővárosi és helyközi tömegközlekedést biztosító buszok esetében a töltőállomás infrastruktúra szükségessége nem okoz problémát, mert ezekhez dedikált CNG töltőállomásokat lehet építeni a koncentrált felhasználásra alapozva.

CNG SWOT analízis

1. táblázat

A CNG-üzem erősségei	A CNG-üzem gyengeségei	A CNG-üzem lehetőségei	Veszélyek
<ul style="list-style-type: none"> • Olcsóbb, mint bármelyik másik üzemanyagfajta, • Jelentős tartalékok állnak rendelkezésre (hazánkban is), • A gázolajhoz képest jóval stabilabb az ára, • Környezetvédelmi szempontból számos kedvező tulajdonsággal rendelkezik: alacsonyabb CO₂, NO_x és gyakorlatilag nulla a korom kibocsátás, • Lényegesen kisebb zajterhelés, • Megújuló formában is létezik: ez a biogáz (zéró CO₂ kibocsátás), • 2018-ig az EU területén jövedéki adó mentességet élvez, • CNG-vel üzemelő járművek a legkedvezőbb környezetvédelmi osztályba vannak sorolva (súlyadó, környezetvédelmi zónák, stb.), • Közúti személy- és teherszállításban versenytársa a dízel-üzemű járműveknek, Egyre több üzemeltetői tapasztalat áll rendelkezésre. 	<ul style="list-style-type: none"> • A CNG-üzemű járművek választéka még viszonylag szűk a hagyományoshoz képest. • Ma már speciálisan CNG üzemhez fejlesztenek motorokat (ezek nem alkalmasak dízel üzemre). • A CNG-s járművek valamivel drágábbak, mint a dízel vagy benzin üzeműek. • Korlátozott tartálméretük miatt kisebb hatótávolságúak, mint a hasonló dízel-üzemű járművek. • Az üzemanyagpiac vezető cégeinek konkurenciát jelent, jelentős nemzetközi lobbis tevékenység zajlik ellene. • Magas a költsége egy CNG töltőállomás létrehozásának. • Több hatósági és törvényi rendelkezést kell teljesíteni az üzemeltetés és a karbantartás területén is: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Szakvizsgák (járművezető, kútkezelő, karbantartó személyzet részére), ▪ Speciális (robbanás biztos) szerszámok, Szivárgás detektorok, szellőztetés. 	<ul style="list-style-type: none"> • Jelenleg magas költséggel üzemelő járművek kiváltása olcsóbbakkal. • Folyamatosan emelkedő gázolaj és benzinárak. • Növekvő ökológiai tudatosság a lakosság és a vállalkozók körében. • Új munkahelyek teremtése. • Az európai energia és klímapolitikai célok kedveznek a metán alapú termékeknek (földgáz, biogáz). • Szigorodó környezetvédelmi szabályozások: pl. dízel járművek leállítása szmog esetén. • CNG és biogáz népszerűsítő projektek futnak. • Új beruházási támogatási lehetőségek a kormányzat és az EU részéről. <p>Csökkenő energiafüggés, főként a biogáz esetén.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • A földgáz árak emelésének veszélye a kormány által. • Változó adópolitika és politikai irányok (jövedéki adó emelése). • A rossz szabályozás miatt ellenőrizetlenül terjed az otthoni töltés: balesetek esetén a közvélemény elfordulhat a CNG-től.

Az állami szektor általános támogatása (nem csak a buszokra és meghatározott területekre értve) az egyik legfontosabb tényező a CNG és bio-CNG terjeszkedésének jelenlegi fázisában (természetes gázhajtású járművek, szabályozás, adózás, infrastruktúra, közvetlen támogatás, átmeneti juttatás a magas vételárú járművekre stb.).

A versenyképesség érdekében kiemelten fontos lenne:

- A töltési infrastruktúra mérettől független (otthoni, vállalati és nyilvános) kiterjesztése szükséges, a CNG előállítás és töltési hatékonyság növelésével egyetemben.
- A szabályozási akadályok csökkentés, kutatás támogatása.
- Az üzemanyagok a „well-to-wheel” potenciál szerinti értékelése.
- Szorosabb együttműködés a jármű- és töltő technológia-gyártó és gázipari vállalatok között, közös kutatás és fejlesztési (K+F) irányvonalak.

2.1.3. A tisztán elektromos hajtás elemzése

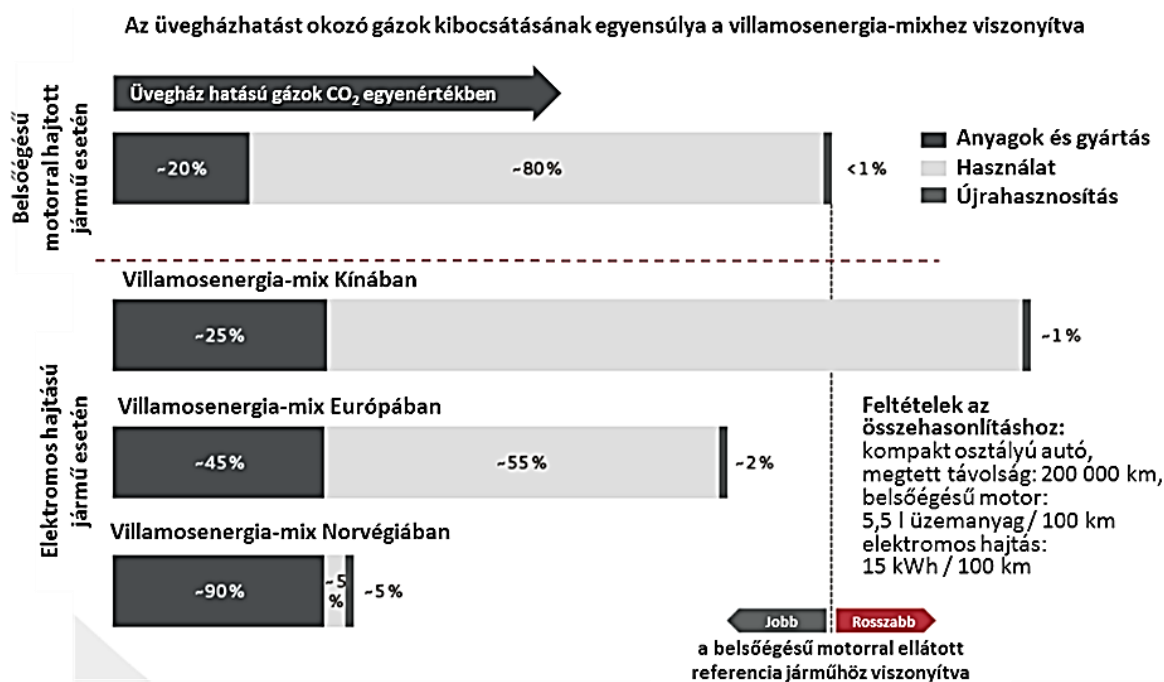
A villamos motorok használata a belső égésű motorok helyett kiváló lehetőséget nyújt az elérhető hatások növeléséhez. Egy hagyományos, belső égésű motor hatásfoka 25–30 százalék körüli, ami azt jelenti, hogy a rendelkezésre álló energia 70–75 százaléka elvész hő formájában. A belső égésű motorokkal szemben egy elektromos motorral akár 70–80 százalékos hatások is elérhető.

A belsőégésű motorokkal ellentétben az elektromotorok már a legkisebb fordulatszám esetén is le tudja adni a motor a maximális nyomatékát, míg a motor teljesítménye a fordulatszám növekedésével lineárisan nő. Ez a tendencia a névleges teljesítményig igaz, utána a teljesítmény állandó értéket vesz fel.

Ugyanakkor az akkumulátorok jelentősen befolyásolják a járműben lezajló energiaátalakítás hatásfokát. A legtöbb elektromos autóra már komplett energiátároló rendszert építenek be, amely számos különböző kémiai anyagból készülhet.

A járművek használata során felhasznált villamosenergia és a villamosenergia-mix figyelembevétele a környezetterhelés számításakor

Ahogy az az alábbi összehasonlításban is látható, a tisztán elektromos meghajtású járművek környezetszennyezés szempontjából nem feltétlenül előnyösebbek a belsőégésű motoros járművekhez képest, mivel a közlekedéshez szükséges energiát a villamos hálózatról való töltéssel nyerik.



3. ábra Az elektromobilitás CO₂ egyenértékű környezeti összehasonlítása az energiamix tükrében [5]

A járművek teljes életciklusa alatt, különösen az elektromos töltéssel üzemeltethető járműveknél nagy jelentősége van az adott országra jellemző villamosenergia mixének, ami megmutatja, hogy a villamosenergia milyen energiahordozókból áll elő százalékosan (nukleáris energia, megújuló energia, földgáz, szén stb.) [9].

A különböző energiahordozókból előállított elektromos áram mögött, a különböző erőműveknél jön létre a környezeti terhelés nagy része (továbbá önmagában a nyersanyag kibányászására is ökológiai lábnyomot számolhatunk) (3.ábra).

Magyarországon, ahogy Európában is, üvegházhatású gázok szempontjából javulóban van az elektromos áram előállításának környezeti terhelése. A tervek szerint egyre nagyobb teret nyer a megújuló energia és a nukleáris energia. Ezzel az elektromos meghajtású járművek teljes élettartamra számított környezeti terhelése (kiemelten a használati idő alatti), a jelenlegihez képest is jóval előnyösebb lehet. További

fontos szempont, hogy milyen napszakban töltjük a járműveket és akkor milyen a pillanatnyi villamosenergia-mix [4].

Az akkumulátorok jellemzői: Az akkumulátor a villamos hajtású járművek alapvető energiaforrása. Tulajdonsága, hogy kémiai energia formájában tárolja a villamos energiát. Alapvetően kijelenthető, hogy jelenleg az elektromos autók elterjedésének legfőbb korlátja az akkumulátortechnológia fejlettségi szintje, pontosabban az, hogy minden típusnak jelenleg lényegesen alacsonyabb a fajlagos energiasűrűsége, mint a folyékony tüzelőanyagoké. Ennek eredményeképp azonos hatótáv megtételéhez lényegesen nagyobb tömegű akkumulátorcsomagot kell beépíteni a járműbe, mint amennyi folyékony tüzelőanyagból szükséges volna, ezáltal az egész jármű tömege megnő, ami negatívan hat a menetdinamikára és a helykínálatra.

2.2 A tisztán elektromos hajtás összefoglaló SWOT elemzése

Az alábbiakban első sorban az elektromos jármű hajtási mód általános SWOT elemzését mutatjuk be, majd a következő alfejezetekben két nagyvárosban megvalósult elektromos busz mintaprojekt, valamint ugyanúgy tömegközlekedési fókusszal az európai szintű technológiai-piaci SWOT elemzéseket ismertetjük [4].

2.2.1. Erősségek

Az elektromos technológia fejlődésével egyre olcsóbban gyárthatóak, az energia tárolására és szállítására alkalmas rendszerek, egyre olcsóbbak, tároló kapacitásuk egyre nagyobbak, valamint az akkumulátorok töltési terhelhetősége is jelentősen megnőtt. Ennek eredményeként az elektromos autók „tankolása” is rövidebb időt vesz igénybe, amely azt eredményezi, hogy sokkal nagyobb hatótávolságra lehet ezeket a gépjárműveket alkalmazni. Az akkumulátor fejlődésével egy időben növekedett az egy telepcsoport élettartamán belüli töltési ciklusok száma, így a gépjárművekbe épített akkumulátorok hosszabb időn keresztül használhatóak csere szükségessége nélkül. Az elektromos járművek előnye továbbá, hogy nagyobb hely marad a járműben, mivel kevesebb helyet foglal az egész rendszer, mint egy belsőégésű jármű hajtása. A technológia kiforrása közben előkerülhet más fajta töltési módok, mint például az indukciós töltési mód vagy töltés helyett az akkumulátor csomag teljes cserélése. Ezen fejlesztésekkel próbálják növelni az élettartamot, hatótávolságot és letisztultabbá tenni az elektromos hajtásnak a technológiáját.

2.2.2. Gyengeségek

A technológia nagy léptekkel fejlődik, de korántsem veszélytelen. A töltés fajtájától függően lehet magas áramerősség vagy nagy feszültség. Ilyen esetben a járműveket biztonságosra kell tervezni, mivel érintés védelemmel és biztosítékokkal kell ellátni a rendszert. Ezen védelmek érvényesek a járműre és a töltőállomásokra. A töltés módja alapvetően meghatározza a várakozási időt, ami a túl hosszú várakozó idő mellett profit kieséshez vezethet. Az elektromos járművek további hátránya egy esetleges szerviz esetén jön elő, mivel az ilyen típusú autókat, olyan szakszerviz vagy szakember tudja elvégezni, akinek ilyen képesítése van. Jelenleg ilyen szervizekből és szakemberekből kevés van hazánkban és képzésük hosszabb időt vesz igénybe. Egy ilyen járműbe az akkumulátorok nagyobb helyet foglalnak el, mint bármelyik más alternatív hajtás esetén. Az jármű súlyát tovább növeli az, hogy ezeket az akkumulátorokat megerősített részbe vagy rekeszbe kell elhelyezni esetleges sérülés esetén. A jövőbeli fejlesztések segítik az elektromos jármű elterjedését, de egy ilyen technológia drága a jelenlegi kedvezményekkel is. Az akkumulátor csere, mint „töltési” mód sok problémát hoz előtérbe. Egy adott jármű, ami új milyen akkumulátort kapjon esetleges cserénél és egy kevésbé új jármű megkaphatja az újabb csomagot vagy hasonlóan öreg akkumulátort. Egy elektromos gépjárműnek a hang vagy zaj szempontjából minimális a kibocsátása, de ennek a hátránya is van, mivel előtérbe kerülhet, hogy egy csendben haladó jármű, sérülést okoz egy járókelőben, aki nem hallotta a közeledő autót. A kutatás fejlesztés költsége jelenleg magas egy eladott járműre számítva, ezért átlagosan magasabb vételárral kell számolni egy elektromos jármű esetén.

2.2.3. Lehetőségek

Elektromos járművek elterjedését világszerte támogatják, köztük hazánkba is. Lényeges kedvezményeket élvezhetnek az elektromos autók üzemeltetői. Anyagi, adózási kedvezményeket kapnak. Nincs az elektromos járművekre regisztrációs adó, ami minden más gépjárművet érint, és nem kell utánuk a tulajdonosnak vagy az üzemeltetőnek gépjárműadó más néven teljesítmény adót fizetnie. Szintén nem kell cégaudót fizetnie, azoknak a vállalkozásoknak, akik elektromos hajtású járművet üzemeltetnek. A zöld

rendszámot a 326/2011. (XII. 28.) Korm. rendelet 60. paragrafusában leírt módon a tisztán elektromos gépjárművek kaphatják meg.

2.2.4. Veszélyek

Ugyan az elektromos töltő infrastruktúra folyamatosan fejlődik, de ezek még mindig nem elegendőek a biztonságos, hosszú távú 2-300 km-s távok megtételére. Emellett az elektromos járművek fokozatos elterjedését nagyon nehezen fogja tudni követni a töltőhálózat infrastruktúra. Az elektromos járművek főleg kis hatótávolságú, helyben történő közlekedésre használhatóak, ahol az indulási helyen (telephelyen) éjszaka fel lehet tölteni a járművet, majd kevesebb, mint 100-150 km belül ismét a telephelyen újra lehet tölteni.

3. PILOT ELEMZÉS EGY MAGYARORSZÁGI NAGYVÁROS KÖZÖSSÉGI KÖZLEKEDÉSÉNEK AUTÓBUSZ FLOTTÁJÁRA

Az elemzést vállalatirányítási rendszerekből exportált pontos, egész éves üzemeltetési, fenntartási adatok alapján végeztük el.

3.1 A helyi autóbusz közlekedé jellemzői

A vizsgált város síkvidéki domborzattal rendelkezik, ami miatt sűrű kerékpáros forgalom is jellemző. A várost a 70-es évekig a „kerékpárosok városának” is nevezték, azonban a motorizáció elterjedésével a kerékpárosok száma átmenetileg csökkent. A gépjárművek közlekedése miatt felvetődő környezeti kérdések, valamint az elmúlt évtizedben végbemenő kerékpáút-építések miatt napjainkban újra nőni kezdett a kerékpározási kedv. A közösségi közlekedés problémáira azonban más eszközökkel lehet felelni.

A helyi önkormányzat által működtetett tömegközlekedési szolgáltatásokat Közlekedési Központ végzi.

A közösségi közlekedés fejlesztése csökkentheti a motorizáció negatív társadalmi hatásait, mint pl.

- az egyéni gépjármű-közlekedés okozta zsúfoltságot,
- a belvárosi közlekedés szűk keresztmetszetét, és
- a környezetszennyezés növekedését.

A buszflotta korszerűsítése és a közösségi közlekedés támogatása mellett a szűk belvárosi utak és utcák zsúfoltsága korlátozó intézkedések bevezetésével valósítható meg, mint például a fizető parkolóhelyek növelése és a gyalogosövezetek kijelölése.

A városi tömegközlekedés lebonyolítását jelenleg 102 db dízel üzemű autóbusz végzi. Ezek megoszlása 51 csuklós és 51 szóló busz.

Átlagosan napi 126 km-t futottak a vizsgált lezárt 2018-as évben, ez évente 46 000 km-t jelent.

A busz állományt 1983 és 2010 között gyártott buszok teszik ki, ami átlagosan 20 éves életkort jelent, tehát nem beszélhetünk egy fiatal buszparkról.

A napi minimum futás 125 km, a maximum 259 km, ami évente a menetidők közötti eltérések miatt 22,9 ezer minimum, 80,0 ezer maximum km-t jelent. A buszok teljes futása 467 ezer és 2,19 millió km közötti.

A 2018. év átlagos napi buszhasználatát is megvizsgáltuk, ami napi 8,14 óra menet és 6,3 óra állásidőt jelentett. Ez az adat azért fontos, mivel a gazdasági számításnál elektromos buszokat is vizsgáltunk és itt az állásidő töltésre használható fel a frekvenciált helyekre telepített töltőkkel.

A telephelyek mellett a város konkrét járatait/viszonylatait, közlekedését is vizsgáltuk. A belvárosi körzetben található törzshálózaton csúcsidőszakban a követési idők jellemzően 10-15 perc között alakulnak, ami tanítási napokon akár 5-10 perc is lehet. Csúcsidőn kívül ennél hosszabb, 20-30 perces időtávokról beszélhetünk a buszok indulása között, ami munkaszüneti napokon akár 1 órára is kitolódhat. Hasonló követési időről beszélhetünk a külső városrészekben közlekedő buszok esetében. A közösségi közlekedés vonzerejét növeli a megállóhelyeken és a fedélzeten működő utastájékoztató korszerűsége, valamint a járművek tisztasága. Az új buszállomány bevezetése a külföldi megvalósítások példájára való tekintettel mindenképp e vonzerő növekedését fogja jelenteni.

A városi hosszú távú közlekedési koncepcióban több alternatíva is felmerülhet, amelyek közül a buszflotta modernizálása jelenthet komolyabb költségelőnyt, emellett a közösségi közlekedést a lakosok számára is vonzóbbá teheti.

Területi és buszhálózati szempontból megfigyelhető, hogy az ipari park fejlődésével és a piaci szereplők által teremtett forgalom miatt a külső területek közösségi közlekedési infrastruktúrája felzárkózott a belvároséhoz.

Kiemelt figyelmet fordíthatunk a belvárosban működő autóbusz vonalakra. A díjmentesen igénybe vehető buszvonala 2011 októbere óta üzemel, 7,2 km-es vonalhosszal és 29 perces menetidővel rendelkezik. A CITY körjárat 15 percenként indul, majd 19 megállót ejt útba.

Jelenleg 9-17 év közötti CREDO BC 11 normál padlós, és BN 12 alacsony belépésű modellekkel fut.

3.2 A jelenlegi üzemeltetési jellemzők elemzése (futásteljesítmények, karbantartási rendszer, gazdasági tényezők)

A város közlekedésének és buszállományának összefoglalása után kezdtük meg a részletes költségelemzést, melynél a kiindulási adatok a következők voltak:

- A buszok száma: 102 db (a kalkulációban az összevethetőség miatt szóló buszokkal számoltunk)
- Üzemeltetési időszak: 10 év
- Buszok beszerzési költsége
- A nem dízel buszok esetében kalkuláltunk műhely átalakítással, és szerelő képzés költségeivel is
- Használt buszok esetében SAP rendszerből lehívott üzemeltetési költségekkel kalkuláltunk, ami gyakorlatilag minden ráfordítást tartalmaz. Figyelembe vettük a karbantartási, javítási költség anyagköltségét és munkadíjat egyaránt, ami megadta a teljes élettartam alatti üzemeltetési költségét
- Az üzemeltetési költség számításnál új buszok esetében három fő kategóriát vettünk figyelembe. Ezek összege adja a teljes élettartam költségét a jármű oldaláról (gumiabroncs, műszaki vizsgadíjakat a számítás nem tartalmaz):
 - karbantartás (pl. olajcsere, szűrő cserék),
 - megelőző javítás (pl. DPF filter, fékbetét, féktárcsa, ékszíj csere),
 - javítás (a meghibásodások várható valószínűsége alapján pl. motor, sebességváltó, AdBlue rendszer, motor elektronika javítások);
- A futásteljesítmény
- Üzemanyag az áram és a CNG ára tartalmazza a töltőhálózat kialakításának költségét is.
- A kapott adatok esetében mindenhol a 2018-as teljes lezárt évet vettük figyelembe

3.2.1. CNG üzemeltetés elemzése

A dízel a CNG- és elektromos buszokhoz való hasonlításánál – mivel 102-es darabszámú flottáról beszélhetünk – a beszerzési ár nagy jelentőséggel bír. Forrásunk alapján a CNG buszok beszerzési ára 8 millió Ft-tal meghaladja a dízel buszokét, így a flotta teljes költsége 816 millió Forinttal magasabb, amelyet 30 millió Forint műhelyátalakítási és szerelőképzési díj egészít ki (2. táblázat).

Dízel-CNG bekerülési költség összehasonlítás

2. táblázat

Bekerülési költség számítás	Új dízel busz	Új CNG busz	Mérték-egység
Beszerzési költség	80 000 000	88 000 000	Ft/db
Buszok száma	102	102	db
Teljes beszerzési költség	8 160 000 000	8 976 000 000	Ft
Beszerzési költség növekmény dízelhez képest (új és jelenlegi értékek szétválasztva)		816 000 000	Ft
Műhelyátalakítás és szerelőképzés	0	30 000 000	Ft

Az üzemeltetés terén a CNG a dízelhez képest költségesebbnek bizonyul. A karbantartási/javítási költségek anyag- és személyi jellegű részei 1 km-re vetítve 71,28 Ft értékűek az új dízel buszok 68,0 Ft-os egységköltségéhez képest. A 3. táblázat alapján a teljes flottával számolva ez 152 millió Ft költség növekményt jelent a 10 éves időszak alatt.

Dízel-CNG üzemeltetési költség összehasonlítás

3. táblázat

Üzemeltetési költség számítás	Új dízel busz	Új CNG busz	Mértékegység
Teljes élettartam üzemeltetési költség	0,21	0,22	EUR/km
Teljes élettartam üzemeltetési költség	68,04	71,28	Ft/km
Futás teljesítmény (2018-as átlag)	46 000	46 000	km/év
Átlagos napi futásteljesítmény (2018-as átlag)	126	126	km/nap
Buszok száma	102	102	db
Üzemeltetési időszak	10	10	év
Teljes élettartam költség	3 192 436 800	3 344 457 600	Ft
Karbantartási költség növekmény dízelhez képest		152 020 800	Ft/10 év

A CNG hajtás által felhasznált sűrített földgáz ára forrásunk alapján kilogrammonként 210 Ft-ba kerül, amelyet a dízel literenként megközelítőleg 60 Ft-tal meghalad. A két üzemanyag típus fogyasztási adatai nagyjából megegyezők. A CNG előnyei az üzemanyagköltség területén már megjelentkeznek, mivel a 100 km megtételéhez szükséges hajtógáz több, mint 3 000 Ft-tal kevesebbe kerül, vagyis átlagosan 25,6%-kal olcsóbb. Így a teljes 10 éves üzemeltetési időszakot és 102 nagyságú flottát nézve több mint 1,53 milliárd Ft megtakarítást eredményeznek (4. táblázat).

Dízel-CNG üzemanyagköltség összehasonlítás

4. táblázat

Üzemanyagköltség számítás	Új dízel busz	Új CNG busz	Mértékegység
Fogyasztás (SORT1)	44,10	43,60	kg/100 km;
Egységár	279,18	210,00	Ft/l; Ft/kg;
Egység üzemköltség	12 312	9 156	Ft/100 km
AdBlue	100	0	Ft/100 km
Összesen	12 412	9 156	Ft/100 km
Fajlagos km költség	124,12	91,56	Ft/km
Üzemanyagköltség megtakarítás		3 256	Ft/100 km
Buszok száma	102	102	db
Futásteljesítmény	46 000	46 000	km/busz/év
Összes megtakarítás dízelhez képest (új és jelenlegi értékek szétválasztva)		1 527 639 190	Ft/10 év

A teljes birtoklási költség (TCO) számítása folyamán az utóbbi költségelemeket összegeztük. Míg a 10 éves üzemeltetési időszak alatt egy új dízel busz teljes költsége 168,4 millió Ft, a CNG buszok esetében ez 5,2 millió Forinttal kevesebb. Az értéket a teljes flottára vetítve a számítás szerint 529,6 millió Ft megtakarításról beszélhetünk, így a teljes dízel buszflotta CNG hajtásra cserélése 10 év alatt jelentős előnyöket hoz (5. táblázat).

Dízel-CNG 10 éves TCO összehasonlítás

5. táblázat

Teljes birtoklási költség (10 éves üzemeltetés mellett)	Új dízel busz	Új CNG busz	Mértékegység
Buszok száma	102	102	db
Teljes beszerzési költség	8 160 000 000	8 976 000 000	Ft
Műhelyátalakítás és szerelőképzés	0	30 000 000	Ft
Javítás, karbantartás	3 192 436 800	3 344 457 600	Ft
Üzemanyag költség	5 823 634 390	4 295 995 200	Ft
Teljes birtoklási költség	17 176 071 190	16 646 452 800	Ft
Teljes birtoklási költség / busz	168 392 855	163 200 518	Ft
Megtakarítás a teljes időtartam alatt dízelhez képest (új és jelenlegi értékek szétválasztva)		529 618 390	Ft/10 év

3.2.2. Tisztán elektromos üzemeltetés elemzése

Az új elektromos buszok beszerzési költségükben meghaladják a dízel buszokat, azonban az egy buszra jutó 144 millió Forint értékű beszerzés 20%-os állami támogatás mellett 115,2 millió Forintra csökken. A számolt adatok szerint ez alapján 44%-os, 35,2 millió Ft értékű többletköltséggel számolhatunk. 102 busz esetében ez összesen meghaladja a 3,59 milliárd Ft költségnövekményt, amely 5 millió Ft műhelyátalakítási és képzési költséggel egészül ki (6. táblázat).

Dízel-elektromos bekerülési költség összehasonlítás

6. táblázat

Bekerülési költség számítás	Új dízel busz	Új elektromos busz	Mértékegység
Beszerzési költség	80 000 000	115 200 000	Ft/db
Buszok száma	102	102	db
Teljes beszerzési költség	8 160 000 000	11 750 400 000	Ft
Beszerzési költség növekmény dízelhez képest (új és jelenlegi értékek szétválasztva)		3 590 400 000	Ft
Műhelyátalakítás és szerelőképzés	0	5 000 000	Ft

A magas beszerzési árakat a többi költségelem ellensúlyozza, amely a tervezett karbantartási költségekben is megnyilvánul. Egységnyi km-re a dízel 68 Ft-os értékéhez képest csupán 35,64 Ft jut, ami 102 busszal, és a 10 éves üzemeltetési időszakkal számolva eléri az 1,52 milliárd Ft megtakarítást (7. táblázat).

Dízel-elektromos üzemeltetési költség összehasonlítás

7. táblázat

Üzemeltetési költség számítás	Új dízel busz	Új elektromos busz	Mértékegység
Teljes élettartam üzemeltetési költség	0,21	0,11	EUR/km
Teljes élettartam üzemeltetési költség	68,04	35,64	Ft/km
Futás teljesítmény (2018-as átlag)	46 000	46 000	km/év
Átlagos napi futásteljesítmény (2018-as átlag)	126	126	km/nap
Buszok száma	102	102	db
Üzemeltetési időszak	10	10	év
Teljes élettartam költség	3 192 436 800	1 672 228 800	Ft
Karbantartási költség növekmény dízelhez képest		-1 520 208 000	Ft/10 év

Az elektromos buszok legnagyobb költségelőnye az üzemanyagként használt áram kedvező árában rejlik. A fenti táblázatot két részre osztottuk, az elsődlegesen számolt áram egységköltségét 63 Ft/kWh-ban határoztuk meg, ami a töltő kiépítésének fajlagos költségét tartalmazza; a kalkuláció további részében is ezzel az adattal számoltunk. A 100 km megtételéhez szükséges áram 63 Ft-os egységköltséggel is kiemelkedő, 2,04 milliárd Ft-ot meghaladó megtakarításhoz juttatja a fenntartót az üzemanyag terén (8. táblázat).

A fenti táblázat az elektromos buszflotta fenntartásának teljes birtoklási költségét összesítve tartalmazza. Az buszok javítási és karbantartási költségei, valamint üzemanyagköltségei önmagukban a teljes időszak alatt több mint 3,56 milliárd Forint megtakarítást eredményeznek, ami kiegészül a dízelnél magasabb beszerzési árak okozta 3,59 milliárd Forint költségnövekménnyel. 10 éves használat mellett a teljes birtoklási költség csupán 35,2 millió Ft növekménnyel jár (9. táblázat).

Üzemanyagköltség számítás – Forrás szerint meghatározott áram árak	Új dízel busz	Új elektromos busz	Mérték-egység
Fogyasztás (SORT1)	44,10	128,00	kWh/100 km
Egységár	279,18	63,00	Ft/kWh
Egység üzemköltség	12 312	8 064	Ft/100 km
AdBlue	100	0	Ft/100 km
Összesen	12 412	8 064	Ft/100 km
Fajlagos km költség	124,12	80,64	Ft/km
Üzemanyagköltség megtakarítás		4 348	Ft/100 km
Buszok száma	102	102	db
Futásteljesítmény	46 000	46 000	km/busz/év
Összes megtakarítás dízelhez képest (új és jelenlegi értékek szétválasztva)		2 040 005 590	Ft/10 év

Teljes birtoklási költség (10 éves üzemeltetés mellett)	Új dízel busz	Új elektromos busz	Mértékegység
Buszok száma	102	102	db
Teljes beszerzési költség	8 160 000 000	11 750 400 000	Ft
Műhelyátalakítás és szerelőképzés	0	5 000 000	Ft
Javítás, karbantartás	3 192 436 800	1 672 228 800	Ft
Üzemanyag költség	5 823 634 390	3 783 628 800	Ft
Teljes birtoklási költség	17 176 071 190	17 211 257 600	Ft
Teljes birtoklási költség / busz	168 392 855	168 737 820	Ft
Megtakarítás a teljes időtartam alatt dízelhez képest (új és jelenlegi értékek szétválasztva)		-35 186 410	Ft/10 év

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A későbbiekben hosszú távon, ha már megtérült az elektromos töltőhálózat kiépítése, a buszok üzemeltetése egy új dízel vagy CNG buszhoz képest jelentős megtakarítást eredményezhet.

Ennek ellenére a járművek alacsony, 120-150 km-es hatótávolsága miatt Győrben való alkalmazhatóságuk csak a kisebb napi futású járatokra teszik alkalmassá őket.

A hidrogén hajtású buszok közép-hosszú távon jelenthetnek majd jó alternatívát a CNG és elektromos buszok mellett. A jelenleg magas beruházási költségek és a töltő infrastruktúra hiánya miatt ez a technológia jelenleg még nem alkalmazható egy az egyben a közforgalmú közlekedés komplett cseréjére. Ennek ellenére látva a politikai és a technikai fejlődési irányokat, fel kell készülni a hidrogén meghajtású buszok üzemeltetésére, fenntartására és tankolására egyaránt. Ez nemcsak az emissziós előírások betartása miatt lehet fontos, hanem amiatt is, mert ez egy környezetbarát technológia, mely lokálisan zéró emisszióval rendelkezik.

A fentieket figyelembe véve a jelenlegi flotta kiváltására az alábbi javaslatot tesszük:

- 90-95 db CNG busz (szóló, csuklós vegyesen),
- 2 db E-busz (szóló): Jellemzően a belvárosi (City) járatokra,
- 2 db H₂ busz (szóló): Közép-hosszú távon gondolkodva üzemeltetési, karbantartási tapasztalatok gyűjtése céljából.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] CNG Europe, <http://cngeurope.com/>
- [2] CNG Port, <http://www.cngport.hu/>
- [3] Tudnivalók járművek CNG-s átalakításáról, <http://www.cngport.hu/tudastar/tudnivalok-jarmuvek-cng-s-atalakitasarol.html>
- [4] Fehér Könyv – Útiterv az egységes európai közlekedési térség megvalósításához – Úton egy versenyképes és erőforrás-hatékony közlekedési rendszer felé (2011, COM).
- [5] Audi AG LCA szakmai anyagok
- [6] Bloomberg New Energy Finance
- [7] <https://www.vda.de/en/services/Publications/automation.html>
- [8] <https://e-mobi.hu/hu/map>
- [9] Dr. Strobl Alajos előadásanyag 2014. – magyarországi energiamix
- [10] Zöldy M, Holló A, Bereczky Á, Krajnik K, Lengyel A: Investigation of Diesel Oil–LPG Content Fuel Utilization in Heavy Duty Diesel-Engines with Common Rail System, International Journal Of Heavy Vehicle Systems (2019 Forthcoming papers)
- [11] Zöldy M, Török Á: A forgalomba belépő gépjárművek többlet károsanyag kibocsátásának számítása a nemzetközi határértékek figyelembevételével, Közlekedéstudományi Szemle 55 pp. 336-339, 4 p. (2005)
- [12] Zöldy M: Potential future renewable fuel challenges for internal combustion engine, Járművek és Mobil Gépek 2 : 4 pp. 397-403, 7 p. (2009)