

# Az elektrifikáció térnyerése és az elektromos autóbuszok kiemelt szerepe a fenntartható közösségi közlekedésben. 1. rész

A közúti közlekedési szolgáltató vállalkozások fenntartható működését egyre jobban meghatározzák a globális folyamatok és a technológiai trendek, amelyek fókuszában a megújuló energiaforrások felhasználása és a karbonsemleges, károsanyag-kibocsátás mentes (net-zéró) üzemeltetés áll.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2023.3.2>

---

**Kruchina Vince<sup>1</sup> – Dr. Sárközi György Tibor<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Volánbusz Zrt. elnök-vezérigazgató

<sup>2</sup>c. egyetemi tanár, közlekedési szakértő

e-mail: Vince.Kruchina@volanbusz.hu, dr.sarkozigyorgy.tibor@outlook.hu

---

## 1. BEVEZETÉS

A két részből álló írás első része a közösségi közlekedésben lezajló elektrifikációt komplex, rendszerszemléletű modellben tekinti át. A második rész ezen modell gyakorlati alkalmazása az elektromos autóbuszokkal végzett személyszállítás példáján keresztül mutatja be a Volánbusz Zrt.-nél keletkezett futási, töltési, fogyasztási, karbantartási költségek statisztikai és pénzügyi adatait. A statisztikai modellalkotást megelőzően az elektromos autóbuszok üzemeltetésére vonatkozó hatótényezők elemzése bemutatja a hazai és nemzetközi szakirodalom idevonatkozó publikációit.

## 2. A KÖZÖSSÉGI KÖZLEKEDÉSBEN MIÉRT AZ ELEKTROMOS AUTÓBUSZOKÉ A JÖVŐ?

A vázolt megközelítési mód célja egy, a közösségi közlekedés operátorai számára hasznos gazdasági modell megalkotása, amely segíti

az elektromos autóbuszok flottába integrálásával kapcsolatos döntések meghozatalát. Az elektromos autóbuszok gazdasági megtérülési mutatóit és az ennek alapjául szolgáló módszertant a téma szakértői számos anyagban tették közzé az elmúlt években. Az egyik legkorábbi, 2016-os kutatás [1] fókuszában helyesen az autóbusz, mint termelőeszköz teljes élethasznossága (TCO), a töltőinfrastruktúra elhelyezkedése, az akkumulátorok teljesítménye, a fordák optimalizálása áll [2]. Jóllehet Dominic Jefferies és Dietmar Göchlich az elektromos buszok megtérülési mutatóit komplex gazdasági és műszaki ökoszisztémában [2] ábrázolja, sem ők, sem a további rendelkezésre álló források nem veszik figyelembe a megtérülést erősen befolyásoló egyéb bevételi lehetőségeket.

A nemzetközi és hazai szakirodalomban megtalálható gazdasági modellek rövid bemutatása után a kibővített modellszámítás akképpen kerül ismertetésére, hogy az elekt-

romos autóbuszok TCO-ján, beruházási (CAPEX) és üzemeltetési költségein (OPEX) felül az elhasznált akkumulátorokban, a töltőállomásokban és a vállalat által megtermelt, de fel nem használt áram és hő értékesítésében rejlő, kapcsolódó üzleti lehetőségek milyen tartalékokat rejtenek.

Az elektromos autóbuszok szignifikáns elterjedése jelentősen hozzájárul a károsanyag-kibocsátást csökkentő hazai és nemzetközi [3] célok eléréséhez, a fenntartható közösségi közlekedéshez. Boya Zhou és Ye Wu [4] szakértők 2016-ban kiszámolták, hogy az elektromos autóbusz az életciklusa során 85-87%-kal csökkenti a fosszilis energia felhasználását, 19-35%-kal pedig a CO<sub>2</sub>-kibocsátást. A zéró emisszió egyelőre nem lehetséges, a legtöbb elektromos busztípus belső fűtése ugyanis beépített gázolaj-fűtőtestekkel történik. Erre azért van szükség, hogy a téli időszakban az akkumulátor kapacitását ne eméssze fel a fűtés, az évszakok közötti áramfelhasználás-különbség pedig kiegyenlített legyen.

Azáltal, hogy az elektromos autóbuszokba szükséges áram zöld energiával előállítható (legyen az nap-, szél- vagy geotermikus energia), a károsanyag-kibocsátás csökkentése nemcsak az egyes elektromos autóbuszok (lokális szint), de a tágabb környezet (globális szint) vonatkozásában is megvalósul.

Az elektromos meghajtású járművek közösségi közlekedésben való alkalmazása a környezetvédelmi szempontok mellett az egészségügyi következmények oldaláról is megfontolandó. Több tanulmányt összefoglaló kiadványában a WHO többek között megállapítja, hogy a közúti közlekedésből fakadó zaj jelentősen növeli az infarktus, a magas vérnyomás és egyes keringési betegségek előfordulásának lehetőségét. A gyermekek-nél különösen nagy valószínűséggel jelenik meg kognitív zavar, alvási nehézség és ebből fakadó koncentrációs nehézségek, fülzúgás [5]. A hanghatás vizsgálatánál Sven Borén svéd kutató egy publikációjában mérések útján megállapította [6], hogy az elektromos autóbuszok zajkibocsátása (63dBA) kisebb,

mint a dízel (68dBA), vagy a biogázüzemű (70dBA) buszoké.

A környezetvédelmi, egészségügyi hatások mellett mindazonáltal nem törpülnek el az elektromos autóbuszok alkalmazásának gazdaságossági szempontjai sem. A hazai [7] és nemzetközi [8] szakirodalomban a buszok megtérülési számításánál elfogadottan azok teljes élethasznosságát vizsgálják. Lakatos István számításai [7] szerint tízéves TCO alapulvételével, 20%-os állami támogatás mellett, tekintettel a minimálisan szükséges karbantartási ráfordításra, – amennyiben kedvező áron lehet az üzemanyaghoz, vagyis az áramhoz hozzájutni, – úgy az új dízelmeghajtású buszokéhoz képest rendkívül kedvező az elektromos buszok megtérülési rátája. Dominic Jefferies és Dietmar Göhlich publikációjukban kiszámolták, hogy amennyiben az elektromos busz beszerzéséhez nyújtott állami támogatás mértéke nem éri el a 20%-ot, a megtérülés a belső égésű buszokéhoz képest nem biztosított [2]. A szerzők szerint az új termék magas ára (egy elektromos busz beszerzési ára duplája a dízelbuszénak) és a hozzá tartozó töltőinfrastruktúra kiépítésének költsége egyelőre nem kompenzálja az üzemanyag árából [8] és a – nemzetközi szakirodalom 30%-os költségmegtakarítást lát a karbantartási kiadások tekintetében a dízelbuszokhoz képest -költséghatékonyabb [9] karbantartásból [7] fakadó előnyöket.

Érdemes alaposabb vizsgálat tárgyává tenni, hogy valóban helyesek-e a rendelkezésre álló számítások, amelyek alapján az elektromos buszok üzemeltetése nem rentábilis.

Gazdasági modellünkben a busz TCO-ja mellett – operátori szemszögből – egyéb gazdasági mutatókat is célszerű figyelembe venni. Az elektromos buszokat nem pusztán önmagukban, termelőeszközként kell vizsgálni, sokkal inkább egy komplex gazdasági rendszer fontos alkotóelemeiként. A vizsgálatnak ki kell terjedni a töltőállomás alternatív hasznosítási formáira, valamint a buszok által fel nem használt energia továbbértékesítésének és az akkumulátorok másodlagos felhasználásának energiaipari lehetőségeire is. Mindezen felül érdemes

górcső alá venni az elektromos áram előállításához szükséges megújuló zöld erőművek által saját felhasználást követően megmaradt áram és esetlegesen melléktermékként megmaradt hő továbbértékesítésének piaci esélyeit.

Az elektromos buszok flottába illesztése számos kedvező környezeti, egészségügyi és társadalmi hatással bír. Egy alaposan kidolgozott gazdasági és üzemeltetési modell esetén pedig jelentős gazdasági előnnyel jár. Ésszerű alkalmazásukkal az autóbuszos közösségi közlekedés a következő évtizedekben alapjaiban alakulhat át.

A téma terjedelme miatt a folyamat állomásait a következő részben mutatjuk be.

### 3. AZ ELEKTROMOS JÁRMŰVEK JELLEMZŐI

Az elektromosság járműben történő felhasználásának története 1827-ben kezdődött, amikor Jedlik Ányos megépítette az első életképes villanymotort, amely állórészből, rotorból és kommutátorból állt, és a következő évben már egy kisautó meghajtására használta [10].

Az elektromos járművek egy vagy több elektromos motort használnak meghajtásukhoz. A hajtási lánc kialakítása alapján az alábbi típusok különböztethetők meg [11]:

- Akkumulátoros elektromos járművek (angolul: battery electric vehicles BEVs) újratölthető elektromos akkumulátorokkal. Ezeknek a járműveknek nincs kipufogógáz kibocsátása és nincs belső égésű motorja.
- A hálózatról tölthető hibrid elektromos járművek (angolul: Plug-in hybrid vehicles, PHEV), amelyeket egy elektromos motor, valamint egy kis méretű belső égésű motor hajt meg.
- A hibrid elektromos járművek (angolul: hybrid electric vehicles, HEV) belső égésű motorral és elektromos motorral rendelkeznek, amely csak alacsony sebességnél segít. Az akkumulátort vagy a belső égésű motor tölti fel, vagy fékezéskor rekuperálódik.

- Az üzemanyagcellás elektromos járművek (angolul: Fuel cell electric vehicles, FCEV) elektromos motorokat használnak. Az áramot üzemanyagcellákban állítják elő, és egy kis puffer akkumulátorban tárolják. Az üzemanyagcella egy olyan elektrokémiai cella, amely átalakítja az üzemanyag (gyakran hidrogén) kémiai energiáját.

#### 3.1. Az akkumulátoros elektromos autóbuszok

Az elektromos autóbuszok leg többje az akkumulátoros elektromos járművek csoportjába tartozik és egy beépített akkumulátor egységből (onboard battery pack) kapja a szükséges villamos energiát. A későbbiekben, amikor elektromos autóbuszokról van szó, akkor ezeket a járműveket értjük alatta.

#### 3.2. Miért aktuális kérdés az elektromos autóbuszok szerepének helyes megítélése?

Szakmai konferenciákon és tudományos publikációkban egyre gyakrabban hangzik el a kérdés, hogy az elektromos autóbuszok és az elektrifikáció határozhatja-e meg a közösségi közlekedés jövőjét. Erre a kérdésre egy holisztikus, rendszerszemléletű megközelítés tartunk alkalmasnak, amely figyelembe veszi a globális hatótényezőket, a megatrendeket és a technológia trendeket éppúgy, mint a hazánkra jellemző gazdasági és energetikai realitásokat és a közösségi közlekedés szereplőinek erőforrásait és képességeit.

A trendek, prognózisok és tények összeállítása és elemzése azt a célt szolgálja, hogy a későbbiekben a közösségi közlekedés számára egy adatvezérelt, körforgásos gazdasági modell kerüljön megalkotásra az elektrifikáció következtében létrejövő energetikai ökoszisztémában. A modell alkalmazásával lehetővé válna egy tervezhető, kiszámítható energiaeelőállítás és felhasználás, amely azáltal válhat lehetségessé, hogy a modell alapján működő platform valamennyi lényeges hatástényezőből származó historikus adatra épített predikciót figyelembe venne és prediktív előírásokat (preskripciókat) fogalmazna meg a kívánt célfüggvények optimális megvalósításához [29].

A következőkben a globális és megatrendektől a technológiai trendek irányába haladva bemutatásra kerülnek azok a hatástényezők, amelyeket adatforrásként az adatvezérelt modell algoritmusainak „táplálásához” folyamatosan monitorozni és elemezni szükséges.

## 4. GLOBÁLIS HATÁSOK, MEGATRENDEK ÉS TECHNOLÓGIAI TRENDK

### 4.1. Globális hatások

Nem kisebb tudós, mint Albert Einstein mondta: „Sose gondolok a jövőre, így is épp elég hamar eljön”. Lehetőséges természetesen, hogy csekély hatásunk lehet csak a demográfiai vagy geopolitikai változásokra, de az is igaz, hogy ismernünk kell a világban végbemenőt globális változásokat és azokra a saját területünkön reagálnunk szükséges, méghozzá úgy, hogy azokat a magunk hasznára fordítsuk, vagy legalábbis a veszélyüket ne hagyjuk figyelmen kívül. Melyek tehát azok a megatrendek és technológiai trendek, amelyek az elektromos autóbuszok elterjedését előidézik.

### 4.2. Megatrendek

A megatrendek megismerésére azért van szükség, mert „a meglepetések nem a semmiből kerülnek elő. Ezeket azok a hosszabb távon ható változások idézik elő, amelyeket megatrendeknek nevezünk.” Mikko Dufva jövőszakértő meglátása egy olyan stratégiai tervezés esetében, mint egy gépjárműflotta megvásárlása és a hozzá kapcsolódó infrastruktúra felépítése a kockázatok kezelése szempontjából elengedhetetlen [12].

1. ábra: 2023-ra irányadó megatrendek [12]



Az 1. ábrán látható, hogy az ökológiai rekonstrukcióhoz szorosan kapcsolódik a helyreállító gazdaság, amelynek fontos pillére a körkörös gazdaság. Ez hatékonyan csak az adatok ismeretére és hasznosítására alapozott digitális zöld átmenet révén valósítható meg egy korrekt módon működő digitális világban. Ezen megatrendek mindegyike értelmezhető az elektromos autóbuszok közösségi közlekedésben történő alkalmazására.

### 4.3. Technológiai trendek

#### 4.3.1. Elektrifikációs trendek

Az elektromos járművek gyártására vonatkozó trendek – a technológia korlátjai ellenére vagy éppen ezek egyre csökkenő mértéke miatt – növekedő pályát mutatnak. Ezt bizonyítja egy 2022-ben készült piaci elemzés [13], amely a következő trendeket látja igazolva:

A hagyományos autógyártók elkötelezték magukat, hogy milliárdokat fektetnek be elektromos járművekbe. Becslések szerint az jármű-

gyártó ipar 2030-ban több mint 500 milliárd dollárt fektet az elektromos járművek fejlesztésébe. [14] (2., 3. ábra)

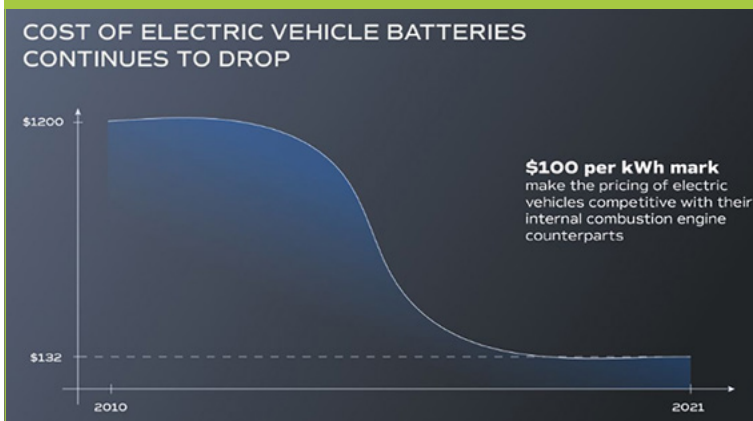
A várható fontos lépések:

- Nagy értékű elektromos flották megrendeléséről folynak tárgyalások világszerte.
- A hagyományos autógyártók növelik az elektromos járművek reklámozására fordított költségeiket.
- A nagy tech vállalatok is belépnek az elektromos járműgyártási iparágába.
- Az elektromos járművek töltési infrastruktúrája gyorsan bővül.
- Az elektromos járművek ára továbbra is csökken.
- A fogyasztók egyre szívesebben vásárolnak elektromos járműveket.
- Az elektromos járművek értékesítése felgyorsult az elmúlt néhány évben.

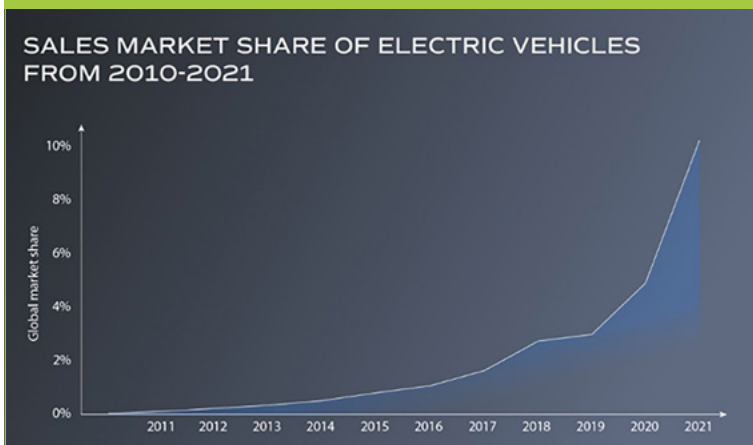
### 4.3.2. A mobilitásra és a közösségi közlekedésre vonatkozó technológiai trendek

A mobilitási és közlekedési technológiák trendjei között mindig szerepel az elektromobilitás, és – főleg a városi közösségi közlekedésben – az elektromos autóbuszok fokozatos térnyerése. A kérdés elsősorban az, hogy milyen arányban és milyen ütemben áll-

2. ábra: Az elektromos jármű akkumulátor költségeinek trendvonala [14]



3. ábra: Az elektromos járművek értékesítésének piaci részaránya 2011-2021 között [14]



nak szolgálatba a „villanybuszok” a közlekedési társaságok vonalain.

### 4.3.3. A belső égésű gépjárművek, ezen belül kiemelten a dízeles autóbuszok gyártását és használatát érintő változások

Már 2021-től leginkább az képezte az Európai Unióban és az Amerikai Egyesült Államokban folyó szakmai viták és egyeztetések tárgyát, hogy mikorra teszik a belső égésű motoros (ICE – Internal Combustion Engine) járművek értékesítésének végső időpontját. A legújabb szabályozási célok 2030-ra az elektromos jár-



művek részesedési arányának tekintetében már legalább 50 százalékra irányulnak. Számos ország gyorsított ütemezést jelentett be az ICE járművek értékesítési tilalmára. Néhány gyártó kijelentette, hogy abba kívánja hagyni az új ICE platformok és modellek fejlesztésére irányuló befektetéseit, és nem egy közülük már közzé is tette az ICE járműgyártás befejezésének konkrét dátumát.

A trendet az is erősíti, hogy a fogyasztói gondolkodásmód is a fenntartható mobilitás felé tolódott el, és több mint az autót vásárlók 45 százaléka fontolgatja elektromos járművek vásárlását [29].

A közösségi közlekedési flottákban eddig domináló szerepet játszó dízelüzemű autóbuszok folyamatos és fokozatos cseréjét a dekarbonizációs törekvések és a teljes élettartamra vonatkozó hatékonysági elvárások felgyorsították.

## 5. A KÖZÖSSÉGI KÖZLEKEDÉS FENNTARTHATÓSÁGA ÉS AZ ELEKTRIFIKÁCIÓ

### 5.1. Az Európai Unió dekarbonizációs stratégiája

Az Európai Bizottság új javaslatcsomagot dolgozott ki az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére, és az elektromos járművek és az egyéb új technológiák bevezetése tekintetében is módosította a korábbi (EU) 2017/2400 rendeletét, ami sok más mellett konkrét dátumokat határoz meg a belső égésű motoros járművek kivételére. Eszerint 2035-ig fokozatosan meg kell szüntetni a dízel- és a benzinüzemű autók értékesítését, és minden új gyártású autónak károsanyag-kibocsátás mentesnek kell lennie. [15]

Az Európai Parlament plenáris ülésén jóváhagyta a tagállami kormányokat tömörítő Európai Tanáccsal elért megállapodást az új személygépkocsikra és kisteherautókra vonatkozó szén-dioxid-kibocsátási normák felülvizsgálatáról. Az intézkedéscsomag része a 2021 júniusában előterjesztett „Fit for 55” csomagnak, amellyel az EU igyekszik elérni, hogy

2050-re klímasemlegessé tegye az Európai Uniót. Ennek érdekében 2030-ig 55 százalékkal kívánja csökkenteni a károsanyag-kibocsátás mértékét.

Lapinformációk szerint a szavazás előtt a Bizottság európai "Zöld megállapodásért" felelős alelnöke a plenáris ülésen kifejtette, hogy a megfizethető, tiszta közlekedés érdekében a Bizottság 2030-ra kibocsátásmentessé tenné az új városi autóbuszokat, arra is tekintettel, hogy a teherautók, a városi buszok és a távolsági autóbuszok felelnek az EU teljes üvegházhatásúgáz-kibocsátás több mint 6 százalékaért és az uniós közúti közlekedésből származó kibocsátás több mint 25 százalékaért [16].

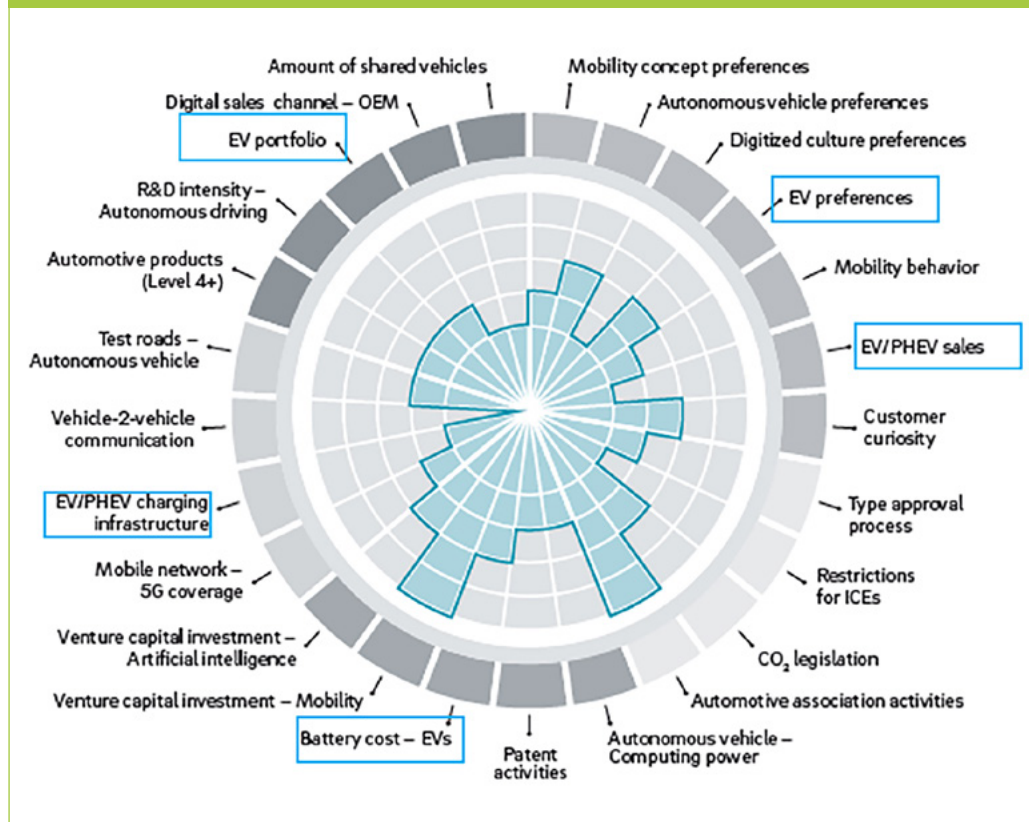
### 5.2. Az energiaellátás költségei és az energiabiztonság

A hazánkban megtermelt, rendelkezésre álló elektromos energia nem fedezi a felmerülő igényeket. Ennek okairól a magyar energetikai miniszter több alkalommal is kifejtette véleményét [17], [18]. Hangsúlyozta, hogy az elektrifikáció folyamatosan nő, és ehhez jön hozzá az újraiparosodás is. A hazai elektromos áramfogyasztás 44 TWh, amelynek mintegy a 70 százaléka származik hazai termelésből, de azért jelentős részben importfüggők vagyunk. 2030-ra a számításunk szerint 68 TWh-t kell elérni, hogy minden igényt ki lehessen elégíteni [17].

A hazai villamosenergia-termelés fontos pillére továbbra is a Paksi Atomerőmű, hiszen éves szinten 15,81 TWh villamos energiát termel. Paks mellett megkerülhetetlen szerepet töltött be a szénből és gázból termelt áram is, amelyek részaránya 9,6, illetve 26 százalék volt. Mindezek mellett a hazai termelésből az ipari méretű naperőművek 2525 MW és a szélerőművek 323 MW beépített kapacitás révén 9,13, illetve 1,74 százalékkal részesedtek [18].

A létesülő akkumulátor gyárak újabb energiaigényt támasztanak a villamosenergia-rendszerrel szemben, ami az igények kielégítéséhez további villamosenergia importra szorul. Az import ára nehezen tervezhető, ezért az

4. ábra: A járműipari diszruptív technológiák öt dimenzióban megfigyelt 25 indikátora [20]



elektromos autóbuszok számára alternatív, megújuló energiaforrások számbavétele szükséges.

### 5.3. Elektrifikáció és az alternatív, megújuló energiaforrások hasznosítása

Az Európai Unió vonatkozó irányelve [19] szerint az alternatív üzemanyag „a közlekedés energiaellátásában a kőolajforrásokat legalább részben helyettesítő üzemanyag vagy energiaforrás, amely potenciálisan hozzájárul a közlekedési ágazat dekarbonizációjához, és javítja annak környezeti teljesítményét.”

Ezek az üzemanyagok, többek között:

- a villamos energia,
- a hidrogén,
- a 2009/28/EK irányelv (2) cikkének i)

pontjában meghatározott bioüzemanyagok,

- a szintetikus és paraffinos üzemanyagok,
- a földgáz, beleértve a biometánt, gázne-mű (sűrített földgáz – CNG) és cseppfolyósított (LNG) formában
- a cseppfolyósított propán-bután gáz (LPG).

### 5.4. Az elektrifikáció erősödése az addigi piaci viszonyokat felforgató, innovatív (diszruptív) technológiák között

Már 2017-től megfigyelhető, hogy az elektromos járművekkel (EV) kapcsolatos tendenciák erőteljesen növekedtek a járműflották, a vásárlási preferenciák, eladások, a töltő infrastruktúra kiépülése és az akkumulátor árak csökkenése tekintetében egyaránt (4. ábra) [20].

5. ábra: Elektromos járművek hatótávolság/vásárlási ár mátrixa, 2014-2018  
(forrás: McKinsey, [21])



Az elektromos járművek vonzó alternatívát jelentettek a belső égésű motorral működő járművekkel szemben, főleg az ázsiai térségben. Elterjedésüket ekkor elsősorban a töltő infrastruktúra hiányosságai és a magas ár gátolta (5. ábra). [21]

Ugyanakkor az elfogadható hatótávolság eléréséért tett erőfeszítések sikerrel jártak, és kialakult egy elfogadható beszerzési ár is.

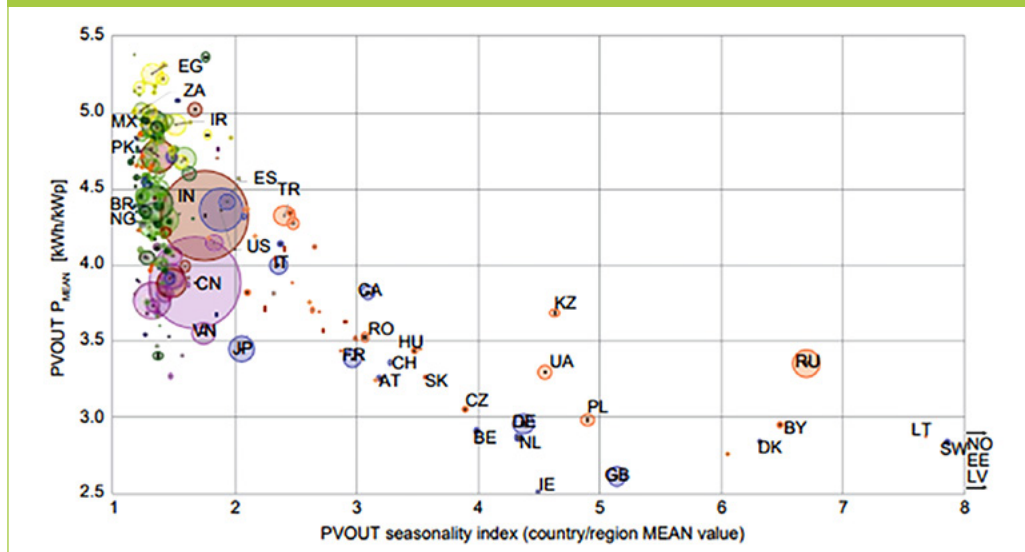
A 5.1. fejezetben leírt okok miatt a villamosenergia közlekedési dekarbonizációban történő nagy léptékű hasznosításához célszerű a napenergia, mint megújuló erőforrás felhasználása.

## 6. A NAPENERGIA HASZNOSÍTÁSA

Az elmúlt évtizedben a napenergia-ágazat telepítési költségei drasztikusan és globálisan

6. ábra: A fotovoltaikus energia szezonálisitása

(forrás: ESMAP 7, Világbank, <https://esmap.org>) <https://documents1.worldbank.org/curated/en/466331592817725242/pdf/Global-Photovoltaic-Power-Potential-by-Country.pdf> [22]





csökkentek, a beépített kapacitások jelentősen nőttek.

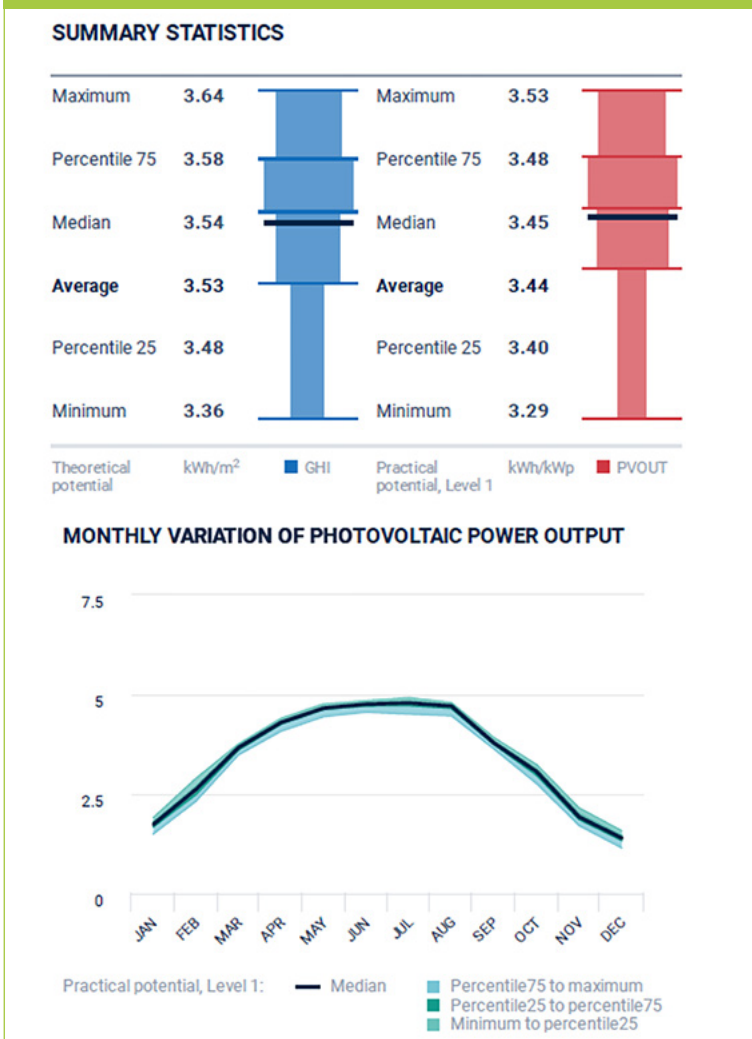
A fotóvoltaikus energia-potenciál reális megítélése döntően befolyásolhatja a napelemek, napelemparkok telepítésével kapcsolatos beruházási (capex) döntések megalapozását. A Világbank az ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program) program keretében átfogó globális elemzést készített ezzel kapcsolatban (6. ábra). [22] A szezonális-több más hatótényező mellett - nagy mértékben meghatározza az effektíven hasznosítható energiamennyiséget.

A kérdés tehát az, hogy az adott országban a fotóvoltaikus (PV) energiapotenciál megfelelő-e ahhoz, hogy kielégítő mértékben lehessen kihasználni a napenergiát.

Számos módszer létezik a napenergia-potenciál értékelésére. Az idézett tanulmány abból indul ki, hogy egy adott helyen rendelkezésre álló napelem hosszú távú energiatartalma határozza meg az elméleti napelemes PV potenciált. A PV technológia esetében az energiatartalmat jól számszerűsíti a globális horizontális besugárzás (GHI) fizikai változója.

Ez egy vízszintes felületen fogadott közvetlen és diffúz besugárzási összetevők teljessége kWh/m<sup>2</sup>-ben kifejezve. A GHI az első közéletés a napelemes energiatermelésről egy adott

**7. ábra: Magyarországra vonatkozó fotóvoltaikus összegzés és a teljesítmény havi megoszlása,**  
(forrás: ESMAP 7, Világbank, <https://esmap.org>), [22]



térségben, de figyelembe kell vennünk más fontos tényezőket is.

Az elméleti potenciálhoz képest az effektív napenergia-teljesítmény meghatározásánál (PVOU), amely elektromos áram termelésére alkalmas, még a következő tényezőket kell figyelembe venni:

- a levegő hőmérsékletét,
- a terep horizontját,
- a más helyről (pl. bolygóról vagy holdról)

beeső fény vagy sugárzás visszavert arányát (albedó), a modul dőlését, konfigurációját, beárnyékoltságát, szennyeződését.

A PVO<sub>UT</sub> a megtermelt energia mennyisége egységnyi beépített PV kapacitás hosszú távon (fajlagos hozam), kilowattórában mérve telepített kilowatt csúcs (kWh/kWp).

A 7. ábrán a Magyarországra vonatkozó felmérés adatai szerepelnek, amelyeket egy nap-elem parkról meghozandó beruházási döntés-nél (CAPEX) célszerű figyelembe venni.

Érdemes hangsúlyozni, hogy a napenergia lényegében a Föld bármely pontján elérhető ingyenes erőforrás. A napelemes fotovoltaiikus (PV) erőművek a napsugárzást villamos energiává alakítják. A globális éghajlatváltozás jelenlegi korszakában a fotovillamos technológia lehetőséget ad az országok és közösségek számára, hogy átalakítsák vagy fejlesszék energiainfrastruktúrájukat, és felgyorsítsák az alacsony szén-dioxid-kibocsátású energiára való átállásukat. Az adott

országra vonatkozó, elérhető energia mennyiség alapvetően meghatározza az alkalmazandó technológiákat és korlátaikat. Ez idáig nem létezett a napelemes potenciál országos szintű, globális és harmonizált értékelése. A hazánkra vonatkozó értékek megismerése lehetővé teszi, hogy aggregált és harmonizált képet kapjunk a napenergia-erőforrásról és a napelemes energia-potenciálról, optimális szögben rögzített egyfe-lületű modulok telepítését feltételezve.

Hazánkban a gyakorlatban elérhető átlagos kWh/kWp potenciál jól közelíti az elméleti kWh/m<sup>2</sup>-ben számított elméleti átlagértéket, ugyanakkor viszonylag jelentős a havi értékek változása a téli (2 kWh)-és a nyári (5 kWh) időszak között. Ezen adatok figyelembevétel-e fontos a közösségi közlekedés energiaellátó rendszerének megtervezése során.

## 7. AZ ELEKTROMOS GÉPJÁRMŰ-VEK AKKUMULÁTORAI

Az elektromos járművek akkumulátorai (angol

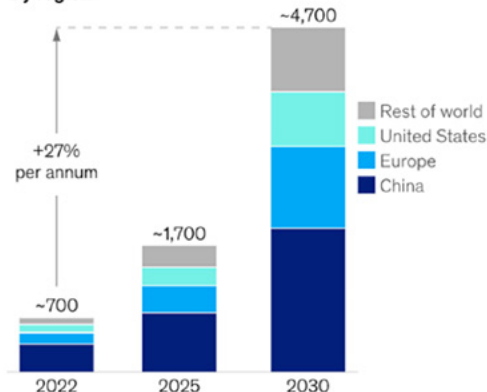
### 8. ábra: Litium-ion akkumulátor igény változása 2030-ig,

(forrás: McKinsey&Company, <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/battery-2030-resilient-sustainable-and-circular>, [23])

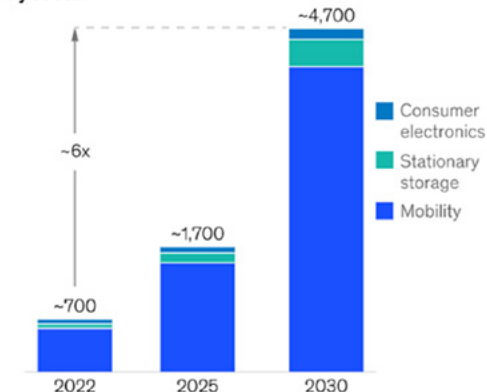
**Li-ion battery demand is expected to grow by about 33 percent annually to reach around 4,700 GWh by 2030.**

Global Li-ion battery cell demand, GWh, Base case

By region



By sector



<sup>1</sup>Including passenger cars, commercial vehicles, two-to-three wheelers, off-highway vehicles, and aviation.  
Source: McKinsey Battery Insights Demand Model

rövidítéssel: EVB) olyan újratölthető akkumulátorok, amelyeket akkumulátoros elektromos járművek (BEV) vagy hibrid elektromos járművek (HEV) elektromos motorjának táplálására használnak. Ezeket a jellemzően lítium-ion akkumulátorokat kifejezetten nagy elektromos töltési kapacitásra tervezik.

Az elektromos járművek akkumulátorai jelentős értéket képviselhetnek ezek életteremtési költségében (TCO). Az akkumulátorok előállítási ára, kapacitása, hasznos élettartama, újrahasznosítási lehetősége, töltési technológiája egyaránt fontos tényezők egy BEV megvásárlásánál.

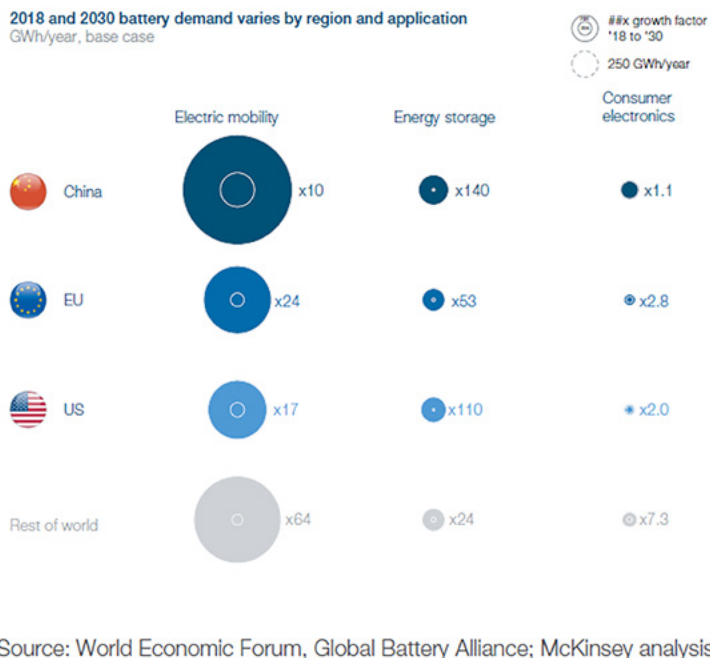
A lítium-ion akkumulátorok iránti kereslet a globális világpiacon évente 33 százalékkal növekszik, és 2030-ra eléri a 4 700 GWh értéket (8. ábra). [23]

Az EVB iránti kereslet növekedése mellett egyre jobban előtérbe kerül ezek gyártásával összefüggésben az akkumulátor értéklánc fenntarthatósága.

A 9. ábra jól mutatja, hogy az akkumulátor keresleti piacát az elektromobilitás igénye dominálja, de az energiatárolók (storage) is dinamikus növekedésnek indulnak. A regionális felvevő piac volumenében minden tekintetben Kína vezet, de a növekedés Európában dinamikusabb.

A közlekedési szektor (és így módon a közösségi autóbusz-közlekedés) számára ezen tendenciákból az is következik, hogy működési modelljében egy körkörös értéklánc részévé

9. ábra: Az elektromobilitás és az energiatárolók (storage) volumen fejlődése, [24]



kell válnia, amelyben az akkumulátorgyártó iparral és az energiaszektorral alkot együttműködő rendszert.

A 10. ábra mutatja a körfolyamat kialakításához szükséges modellt, amely az akkumulátoripar beiktatásával összekapcsolja az energia és a közlekedési szektort. A modellben helyet kap a V2G (Vehicle-to-Grid), az okos töltés (smart charging) és a megosztott mobilitás (shared mobility) is.

Az akkumulátor technológia kulcsfontosságú a közlekedés dekarbonizációjában és az energiaszektor és a szén-dioxid-mentesítésének terén. A párizsi klímaegyezmény 2°C-os globális átlaghőmérséklet-emelkedési célkitűzése szerint a közlekedési és energiaszektor 2050-ig 430 GtCO<sub>2</sub>e széndioxid kvótával rendelkezik, azonban az akkumulátor technológia alkalmazása nélkül ez a kvóta 2035-ig kimerül, míg a javasolt körkörös értéklánc megvalósításával alapesetben 2040-ig kitart.



12. ábra: Töltési logika alapján vezérelt folyamat sémája [2]

(forrás: MDPI, <https://www.mdpi.com/2032-6653/11/3/56>)

napelemparkokból származó elektromos töltési energia is egyre gyakoribb. Az eseti töltés (OC opportunity charging) lehet megállóhelyi (OC-T) vagy megálló közötti (OC-I), sok esetben központi töltőállomási (OC-C). A jármű mozgása közben történő (IMC -In-motion-charging) töltési technológia azokra a városokra jellemző, amelyek már rendelkeznek trolibusz-hálózattal. IMC technológiának tekinthetők azonban a közúti burkolatba ágyazott vezeték nélküli töltés rendszerek, amelyek jelenleg még kísérleti (pilot projekt) stádiumban tartanak.

A töltési infrastruktúra, töltési módok és a töltési logika megfelelő megválasztása jelentős mértékben érinti a közlekedési szolgáltató CAPEX és OPEX kalkulációt. A töltési logika alapján vezérelt folyamat sémáját a 12. ábra mutatja be.

## 9. A HIDROGÉNHAJTÁSÚ AUTÓBUSZOK SZEREPE A GÉPJÁRMŰFLOTTÁBAN

Az akkumulátoros elektromos járművek elterjedése folyamatosan az újságok cím-

13. ábra: A hidrogén hasznosításának 7 szerepköre

(forrás: McKinsey & Company), [25] <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/hydrogen-the-next-wave-for-electric-vehicles>

### Hydrogen can play 7 roles in the energy transition

#### Enable the renewable-energy system

1 Enable large-scale renewables integration and power generation



2 Distribute energy across sectors and regions



3 Act as a buffer to increase system resilience

#### Decarbonize end uses



4 Help decarbonize transportation



5 Help decarbonize industrial energy use



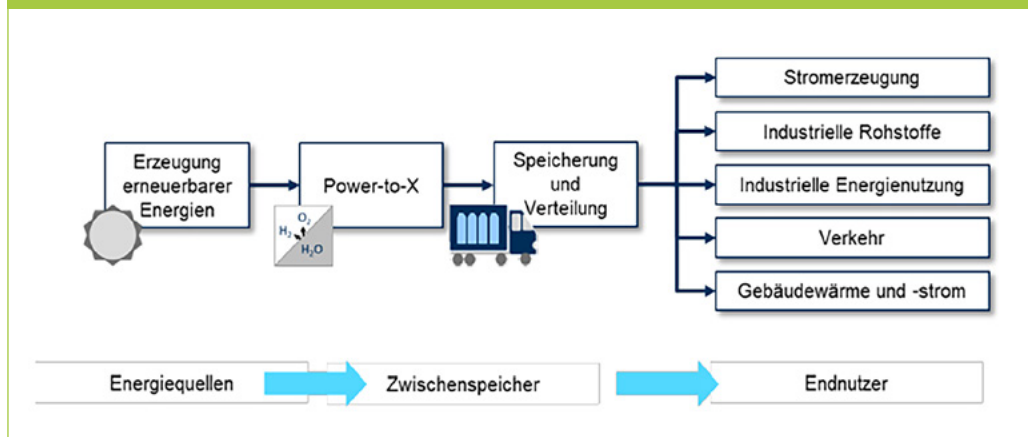
6 Help decarbonize building heat and power



7 Serve as renewable feedstock



14. ábra: A hidrogén a főszerep a jövő energiarendszerében [26] Forrás: [https://www.hs-esslingen.de/fileadmin/media/Fakultaeten/wt/Forschung/Institute/Institut\\_fuer\\_Automobil-management\\_IAM/IAM\\_20200823\\_Forschungsbericht\\_BWPLUS\\_v14\\_komm.pdf](https://www.hs-esslingen.de/fileadmin/media/Fakultaeten/wt/Forschung/Institute/Institut_fuer_Automobil-management_IAM/IAM_20200823_Forschungsbericht_BWPLUS_v14_komm.pdf)



lapjaira kerül, de látni kell, hogy az üzemanyagcellák szorosan a nyomukban vannak, elsősorban azért, mert a hidrogén létfontosságú szerepet játszhat a megújuló energiaforrások hasznosításában és szerepet kaphat a **10. ábrán** bemutatott körkörös értéklánc megvalósításában is, és egyben lehetővé teszi a közlekedés fosszilis energiafelhasználásának csökkentését. A hidrogén hasznosítási módjai között lényeges szerep jut a közlekedési ágazat dekarbonizációjában (13. ábra, 4. pontja).

A hidrogénhajtású autóbuszok üzembe állítása hazánkban is napirenden van, de már több ország egyes régióiban – pl. a németországi Rems-Murr térségben – a közlekedési ökoszisztéma részévé tették a megújuló energiák – köztük a hidrogén – rendszerszemléletű felhasználását (26). A megújuló energiaforrások előállításának, közbenső tárolásának, elosztásának és - többek között - közlekedési célú felhasználásának folyamatábráját a 14. ábra szemlélteti.

Az ilyen rendszerek részletesebb ismertetésére a második részben kerül sor, azonban a rendszermodell kialakításában a hidrogén közlekedési célú felhasználása az ún. „power-to-x” koncepció jegyében szerepet kap.

## 10. ELEKTROMOS JÁRMŰVEK SZABVÁNYOSÍTÁSA ÉS CÉLKÖLTSÉGEI

Az elektromos autóbuszok használatával összefüggő technológiai változatossága és sokszínűsége miatt már viszonylag régen megindultak a kezdeményezések a szabványosítási folyamat kialakítására és a rendszerek célköltségeinek elemzésére. Egy 2017-ben készült átfogó elemzés is alátámasztja, hogy a közlekedési szolgáltatóknak rendszerszemléletű megközelítéssel kell megvizsgálniuk a beszerzéssel, üzemeltetéssel és energiafelhasználással kapcsolatos célköltségeket, és komplex szemléletmódban, kiemelten a teljes életút költségekre is tekintettel kell az ilyen rendszerek megvalósítását célzó beruházási döntéseiket meghozniuk [27].

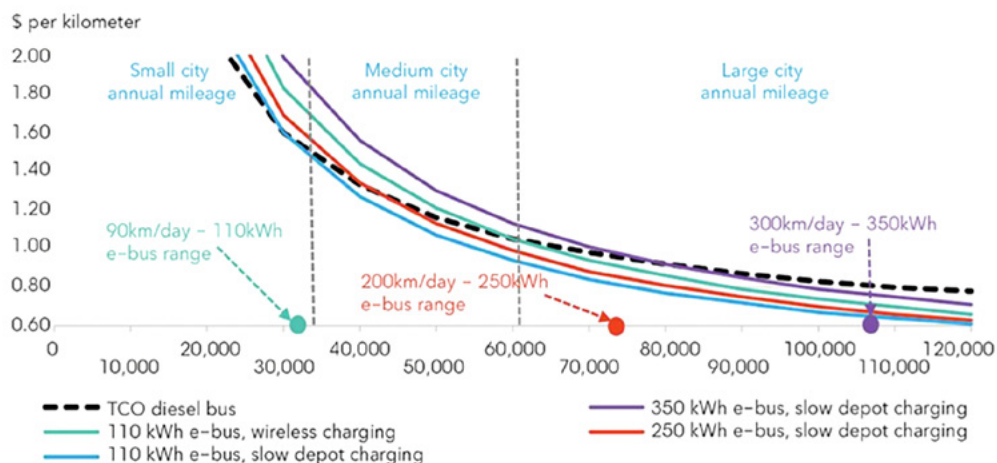
Elsősorban a közlekedési szolgáltatók jelenlegi flottájában még nagy számban üzemelő dízelüzemű járműveinek TCO összehasonlítása nyújthat támpontot az elektromos átállás kérdésére. A következőkben – példa jelleggel – mutatunk be olyan ábrákat, amelyek alkalmasak a teljes életútköltség (TCO) elemzésére.

A **15. ábra** az elektromos és a dízelüzemű autóbuszok TCO-ját az éves megtett futástelje-

## 15. ábra: Elektromos és dízel autóbuszok TCO összehasonlítása,

forrás: Bloomberg: [28] <https://about.bnef.com/blog/electric-buses-cities-driving-towards-cleaner-air-lower-co2/>

## TCO comparison for e-buses and diesel buses with different annual distance traveled

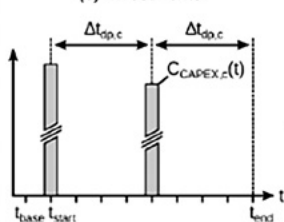


## 16. ábra: TCO kalkulációs módszer [2]

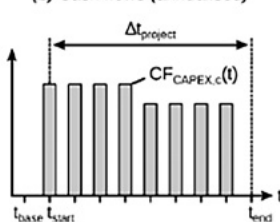
forrás: MDPI, <https://www.mdpi.com/2032-6653/11/3/56>

## CAPEX

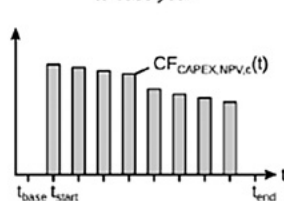
## (a) Investments



## (b) Cash flows (annualised)

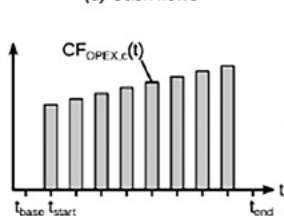


## (c) Cash flows discounted to base year

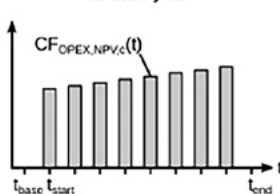


## OPEX

## (d) Cash flows



## (e) Cash flows discounted to base year



sítmény, valamint a töltési mód függvényében vizsgálja és hasonlítja össze [28].

A szakirodalomban a TCO számítására is találhatunk javasolható és követendő kalkulációs módszert. A **16. ábra** a CAPEX és OPEX költségek élettartam jelleggörbéit ábrázolja. Az élettartam vizsgálatnál természetesen csak a diszkontált költségek és bevételek összehasonlításának van gazdasági racionalitása, megjegyezve azt is, hogy az elemzések eredményét a vizsgálatokban alkalmazott diszkont-tényezők is befolyásolják.

## 11. A MODELL ALAPJA

A modell elsősorban a Volánbusz Zrt.-nél nyert üzemeltetési és mérési adatokra, a fordák szerkezeti sajátosságaira épül, amelyeket a nemzetközi és a hazai szakirodalmi források fényében elemeztünk. A modell kialakításánál figyelembevételre kerülnek az elektrifikáció folyamatát meghatározó (már többségében bemutatott) hatótényezők, trendek, valamint az energetikai, klímavédelmi és gazdaság-hatékonysági elvárásokat alátámasztó számítások adatvezérelt algoritmusokkal számított eredményei.

A modell részletesebb bemutatására és a következtetésekre a második részben kerül sor.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Boré, S., Nurhadi, L., Ny, H.; Preferences of Electric Buses in Public Transport; Conclusions From Real Life Testing in Eight Swedish Municipalities, World Academy of Science Engineering and Technology International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering; 2016.
- [2] Jefferies, D., Göhlich, D., A comprehensive tco evaluation method for electric bus systems based on discrete-event simulation including bus scheduling and charging infrastructure optimisation, 2020, Technische Universität Berlin, <https://www.mdpi.com/2032-6653/11/3/56> DOI: <https://doi.org/j9xt>
- [3] Az Európai Bizottság tervei szerint 2050-re valamennyi busznak nulla károsanyag-kibocsátásúnak kell lennie (EUR-Lex - 52020DC0789 - EN - EUR-Lex (europa.eu))
- [4] Boya Zhou Real-world performance of battery electric buses and their life-cycle benefits with respect to energy consumption and carbon dioxide emissions - ScienceDirect, Energy, 2016.02.01. 96 szám 610. ol. DOI: <https://doi.org/f8b4bn>
- [5] Layout 1 (who.int), Burden of disease from environmental noise, World Health Organisation, 2011. 4. oldal,
- [6] Electric buses' sustainability effects, noise, energy use, and costs (tandfonline.com) International Journal of Sustainable Transport, 20219, No. 12. 965. oldal DOI: <https://doi.org/gh79d5>
- [7] Lakatos, I., A CNG közlekedés lehetőségeinek kidolgozása Győr város helyi közlekedésének kiszolgálásában, 2019. Győr, 100. oldal,
- [8] Volánbusz Zrt. nettó beszerzési ár 2022 december. Villamosenergia csúcsideőszakban 165,6 Ft/kWh. Földgáz 530,5 Ft./m<sup>3</sup> Gázolaj 476,16 Ft/liter
- [9] Seven Borén electric buses sustainability effect, noise, energy use and cost, International Journal of Sustainable Transport, 20219, No. 12. 960. oldal. DOI: <https://doi.org/gh79d5>
- [10] Guarnieri, M., Looking back to electric cars, 2012, Third IEEE History of Electrotechnology Conference (HISTELCON). Proc. HISTELCON 2012 – 3rd Region-8 IEEE History of Electro – Technology Conference: The Origins of Electrotechnologies. pp. 1–6. doi:10.1109/HISTELCON.2012.6487583. ISBN 978-1-4673-3078-7. S2CID 37828220.
- [11] McKinsey&Company, What is an EV?, 2023, <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-an-ev?>
- [12] Wartiovaara, A., Aspivaara, C., Nyman, S., 2023, Megatrends 2023: these are the trends we cannot ignore, <https://www.sitra.fi/en/news/megatrends-2023-these-are-the-trends-we-cannot-ignore/>
- [13] Eight Electrification Trends Forecasting EV Adoption in 2023 & Beyond, 2022, <https://www.exro.com/industry-insights/electrification-trends-forecasting-ev-adoption-in-2022-beyond>,

- [14] Electric Cars Have Hit an Inflection Point, 2021, <https://www.theatlantic.com/newsletters/archive/2021/09/electric-cars-have-hit-inflection-point/620233/>
- [15] CELEX\_32022R1379\_HU\_TXT, A BIZOTTSÁG (EU) 2022/1379 RENDELETE az (EU) 2017/2400 rendeletnek a közepes és nehéz tehergépjárművek és nehéz autók szék CO<sub>2</sub>- kibocsátásának és tüzelőanyag-fogyasztásának meghatározása, valamint az elektromos járművek és egyéb új technológiák bevezetése tekintetében történő módosításáról, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022R1379&from=HU>
- [16] Az Európai Bizottság 2030-ra csak elektromos városi buszokat szeretne az unióban, [https://hvg.hu/gazdasag/20230214\\_Megszavaztak\\_2035tol\\_csak\\_elektromos\\_autokat\\_lehet\\_eladni\\_az\\_EUban](https://hvg.hu/gazdasag/20230214_Megszavaztak_2035tol_csak_elektromos_autokat_lehet_eladni_az_EUban)
- [17] Gyöngyös, B., Szabó, Gy., Lantos Csaba az Indexnek: Orbán Viktor egy napot adott a döntésre, egy hetet kértem, 2023, <https://index.hu/gazdasag/2023/01/25/energia-lantos-csaba-ellatasbiztonsag-gazszerzodes-elektromos-aram-paks-mol-mvm-megujulo-energia/index.hu>
- [18] M.Orbán, A., Nem csökken a villamosenergia-igény Magyarországon, 2023, <https://magyarnemzet.hu/gazdasag/2023/02/nem-csokken-a-villamosenergia-igeny-magyarorszagon-2>, [magyarnemzet.hu](https://magyarnemzet.hu),
- [19] CELEX\_32014L0094\_HU\_TXT, Európai Unió irányelve az alternatív üzemanyagok infrastruktúrájának kiépítéséről, EUR-Lex, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0094&qid=1676631973369>
- [20] Berret, M., Bernhart, W., Winterhoff, M., Seyger, R., Kirstetter, E., Riederle S., Automotive Disruption Radar Issue #1 - Tracking disruption signals in the automotive industry, 2017, Roland Berger GmbH,
- [21] Trends in electric vehicle design - Issue No. 2 - Insights on best practices for paving the road for mass market electric vehicles, 2018, McKinsey, <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/what-a-teardown-of-the-latest-electric-vehicles-reveals-about-the-future-of-mass-market-evs#/>
- [22] Global photovoltaic power potential by country, 2020, ESMAP, <https://esmap.org>
- [23] Battery 2030: Resilient, sustainable, and circular - Battery demand is growing—and so is the need for better solutions along the value chain,
- [24] A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030 -Unlocking the Full Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation, 2019, Global Battery Alliance – 2019 World Economic Forum,
- [25] Heid, B., Linder, M., Orthofer, A., Wilthaner, M., HYDROGEN: The next wave for electric vehicles?, 2017, McKinsey&Company, <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/hydrogen-the-next-wave-for-electric-vehicles>
- [26] Ehret, O., Wörner, R., Langenbucher, L., Schneider, D., Emissionsfreier ÖPNV – eine wissenschaftliche Konzeptentwicklung zum Aufbau eines regionalen, emissionsfreien Busliniennetzes im urbanen Raum, 2020, Hochschule Esslingen, Institut für Nachhaltige Energietechnik und Mobilität, Forschungsbericht BWPLUS, [https://www.hs-esslingen.de/fileadmin/media/Fakultaeten/wt/Forschung/Institute/Institut\\_fuer\\_Automobilmanagement\\_IAM/IAM\\_20200823\\_Forschungsbericht\\_BWPLUS\\_v14\\_komm.pdf](https://www.hs-esslingen.de/fileadmin/media/Fakultaeten/wt/Forschung/Institute/Institut_fuer_Automobilmanagement_IAM/IAM_20200823_Forschungsbericht_BWPLUS_v14_komm.pdf)
- [27] Knotte, T. (Autor), Haufe, B., Saroch, L., 2017. E-Bus-Standard »Ansätze zur Standardisierung und Zielkosten für Elektrobusse«, Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI, Dresden, [https://www.erneuerbar-mobil.de/sites/default/files/2018-04/Abschlussbericht\\_E-Bus-Standard.pdf](https://www.erneuerbar-mobil.de/sites/default/files/2018-04/Abschlussbericht_E-Bus-Standard.pdf)
- [28] Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO<sub>2</sub>, Bloomberg NEF, <https://about.bnef.com/blog/electric-buses-cities-driving-towards-cleaner-air-lower-co2/>
- [29] Why the automotive future is electric, Mainstream EVs will transform the automotive industry and help decarbonize the planet, 2021, McKinsey Center for Future Mobility, IAA 2021: charticle, <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/why-the-automotive-future-is-electric>



## The rise of electrification and the prominent role of electric buses in sustainable public transport

The decarbonisation and efficient, energy-saving operation of transport is the most important task for public transport providers in the coming years. Volánbusz Zrt. is preparing for electrification by continuously modernizing its vehicle fleet and transforming its operating model. In the first part of the article series, the authors present the trends and international and domestic factors related to the integration of electric buses, based on extensive literature research. In the next part of the series of articles, the data-driven operating model based on the pilot projects of Volánbusz Zrt., which enables the achievement of the set goals, will be described.



## Der Aufstieg der Elektrifizierung und die herausragende Rolle von Elektrobussen im nachhaltigen öffentlichen Verkehr

Die Dekarbonisierung und der effiziente, sowie energiesparende Betrieb des Verkehrs ist die wichtigste Aufgabe der ÖPNV-Anbieter in den kommenden Jahren. Volánbusz Zrt. bereitet sich auf die Elektrifizierung vor, indem es seine Fahrzeugflotte kontinuierlich modernisiert und sein Betriebsmodell umgestaltet. Im ersten Teil der Artikelserie stellen die Autoren basierend auf einer umfangreichen Literaturrecherche die Trends, sowie internationalen und nationalen Faktoren im Zusammenhang mit der Integration von Elektrobussen. Im nächsten Teil der Artikelserie wird ein datengetriebenes Betriebsmodell basierend auf den gesammelten Daten von Pilotprojekten der Volánbusz Zrt. vorgestellt, das die Erreichung der genannten Ziele ermöglicht.

