

## Az elektromos járművek fejlődésének fő irányai

### Global development trends of electronic vehicles

Dr. Czinege Imre<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Széchenyi István Egyetem, Anyagtudományi és Technológiai Tanszék  
czinege@sze.hu

**Absztrakt:** Az elektromos járművek növekvő aránya egyre meghatározóbb folyamata a jármű piacnak. A gazdasági és politikai ösztönzők hatására a világ útjain futó elektromos meghajtású személyautók száma 2021-re elérte a 10 milliót és a prognózisok szerint 2030-ra már 150-200 millió ilyen jármű fog közlekedni a világon. Ezeket a számokat összehasonlítva a világ teljes jármű állományával, melyet ma 1,4 milliárdra becsülnek, az elektromos meghajtású járművek mindössze 1%-ot képviselnek, de 2030-ra ez az arány felemelkedhet 10-15%-ra is. A jelenleg még kis sorozatban gyártott tiszta elektromos és tölthető hibrid járművek műszakilag kiforrottnak tekinthetők, de még jelentős kapacitásokat kell mozgósítani az akkumulátorok fejlesztéséhez és a töltési infrastruktúra bővítéséhez, valamint a jármű hatásfok növeléséhez. Ugyanakkor az elektromos meghajtású járművek fejlődése egybeesik a teljes mobilitási rendszer fejlődésével is, melynek részei a vezetéstámogató rendszerek és a jármű-környezet kapcsolatok tökéletesítése, ezért itt még mindkét járműtípus vonatkozásában jelentős fejlődési perspektívák vannak. A vázolt tényezők határozzák meg a jövőbeni kutatási irányokat műszaki vonatkozásban. Ugyanakkor előtérbe kerülnek a gazdaságossági kérdések is, melyek kiterjednek a gyártásra és az üzemeltetésre. Mindezeket a 2021 végén még érvényes prognózisokat jelentősen módosíthatja a 2022-ben kialakult gazdasági válság és energiaár növekedés, mely várhatóan csökkenti a vásárlóerőt és módosíthatja az üzemeltetési költségeket. Jelen helyzetben az feltételezhető, hogy ezen okok miatt a prognózisokban megjelölt határidők kissé távolabbra tolnak, de a tanulmány még az eredeti növekedési elképzelésekre épül.

**Kulcsszavak:** elektromos jármű, fejlődési tendenciák, töltési infrastruktúra

**Abstract:** The growing ratio of electric cars becomes more and more dominant process in vehicle market. Economic and political incentives have pushed the number of E-cars on the world's roads to 10 million by 2021, and forecasts predict that by 2030 there will be 150-200 million electric vehicles on the road. Compared to the world's total vehicle fleet, estimated at 1.4 billion today, electric vehicles represent only 1%, but this could rise to 10-15% by 2030. Battery electric and plug-in hybrid vehicles are produced currently in relatively small series, although they can be considered technically almost

perfect, significant capacity remains to be mobilised to develop batteries, expand charging infrastructure and increase vehicle efficiency. At the same time, the development of electric vehicles coincides with the development of the overall mobility system, including improvements in driver support systems and vehicle-environment connections, and there is therefore still considerable scope for further development for both types of vehicle. The factors outlined above will determine the future research directions in technical terms. At the same time, economic issues are also important, which cover both production and operation. All these forecasts, which are still valid at the end of 2021, could be significantly modified by the economic crisis and the increase in energy prices in 2022, which are expected to reduce purchasing power and modify operating costs. At this stage, it is assumed that these reasons will push the projected dates slightly further in time, but the study is still based on the original growth assumptions.

**Keywords:** electric vehicle, development trends, charging infrastructure

## Bevezetés

Napjainkban a járműipar fejlődésének meghatározó területe az elektromobilitás. Ennek az irányzatnak elsősorban környezetvédelmi okai vannak, melyet számos nemzetközi egyezmény és nemzeti stratégia támaszt alá. A fejlesztések elsődleges célja az üvegházhatású gázok, a közlekedésben leginkább a széndioxid kibocsátás csökkentése világméretben. E problémakör elemzésével számos tanulmány foglalkozik, ezek közül három forrást tartalmaz az irodalomjegyzék [1-3]. Az említett publikációk szerint a közlekedés 16.2%-ban felelős a kibocsátásért világméretben, amelyet a belsőégésű motorok fogyasztásából adódó emisszió okoz. Az ágazaton belül a közúti közlekedés részaránya 11,9%, ezt tovább bontva a kibocsátások 60%-a személyszállításból (autók, motorkerékpárok, buszok) származik és a fennmaradó negyven százalék a közúti áru fuvarozásból (teherautók, kamionok). A légi közlekedés 1,9%-ot képvisel, a hajózás 1,7%-kal részesül, és minimális a vasút kibocsátása (0,4%). A zöldek fő érvelése az, hogy ezeket a kibocsátásokat akár nullára lehetne csökkenteni, ha az akkumulátorok töltéséhez megújuló, tiszta energiát használnának. Ez azonban nem így van a valóságban, ahogy a [4-5] tanulmányok elemzése mutatja. A [4] publikáció szerint egy elektromos hajtású személygépkocsi gyártása során 10 t üvegházhatású gáz keletkezik, ez a benzines változatnál csak 6,6 t. A töltéshez felhasznált áram előállításakor keletkezett CO<sub>2</sub> kibocsátásra az [5] publikáció tartalmaz 2020-as adatokat, ez például Németországban 301 g/kWh, Magyarországon 218 g/kWh, Norvégiában 9 g/kWh. Feltételezve, hogy egy elektromos személygépkocsi átlagosan 0,16 kWh-t fogyaszt 1 km-re, kiszámítható a 200.000 km-re vetített teljes CO<sub>2</sub> kibocsátás, amely magában foglalja a gyártás és a fogyasztás kibocsátását is. A

belsőégésű motorra a jelenleg hatályos 95 g/km kibocsátási értéket véve alapul a két járműtípus összehasonlítható. Az adatokból kiszámítható, hogy 200.000 km-re vetítve a belsőégésű motor 129 g/km-t bocsát ki, egy elektromos autó pedig Németországban 100 g/km-t, Magyarországon 85 g/km-t és Norvégiában mindössze 51,5 g/km-t. Az adatok igazolják, hogy a tényleges kibocsátás csökkenés Németországban csak 22,5%, Magyarországon 34% és Norvégiában 60%. A jelentős emissziót kibocsátó Lengyelországban az elektromos áram felhasználásából 116 g/km adódik, melyhez hozzájön a gyártáskor keletkezett 50 g/km, így ott az elektromos autó teljes kibocsátása 166 g/km, tehát 29%-kal környezetszennyezőbb globálisan, mint egy belsőégésű motor.

A bemutatott elemzés nem tért ki a tiszta hibrid (HEV) és a tölthető hibrid (PHEV) járművekre, mivel ezek alapvetően a hagyományos belsőégésű motorral hajtott típusokon alapulnak, kiegészítve elektromos hajtással. Újabban a tölthető hibridek terjedését elsősorban a 95 g/km CO<sub>2</sub> norma teljesítése gyorsította fel, bár kétségtelen előnyük, hogy 30...50 km elektromos hatótávolságukkal a napi városi közlekedést megoldják, és a belsőégésű motort csak országúti használatra veszik igénybe. Tulajdonképpen ez egy ideális kombináció a városok légszennyezésének csökkentésére, ha a töltés megoldható az éjjeli órákban vagy a munkahelyen. Ugyanakkor mindkét műszaki megoldás többlet ráfordítással jár az akkumulátor és az elektromotor beépítése miatt.

Mindezen szempontok nem csökkentik az elektromos járművek terjedését támogató programok fenntartását, ezért sorra születnek az optimista becslések, melyek szerint az elektromos járművek 2060-2070 körül dominánssá válnak és a belső égésű motorok teljesen visszaszorulnak.

### **Az elektromos meghajtású járművek meghatározó fejlődési irányai**

A bevezetésből látható, hogy az elektromos járművek jövőjét meglehetősen átpolitizált döntések mozgatják, tehát célszerű a műszak-gazdasági szempontokat is figyelembe venni. Ezt mutatja az 1. táblázat, melyből látható, hogy az elektromos hajtású járművek előnyei mellett számos hátrány is jelentkezik, melyek csökkentése fontos. Ezért a kutatások fő irányait a műszaki előnyök növelése és a hátrányok csökkentése határozza meg különösen két területen, az akkumulátor fejlesztésben és a töltési infrastruktúra bővítésében. Emellett még további igényként jelentkezik a jármű részegységek továbbfejlesztése és ezzel az össz-hatásfok növelése.

Szemponatok	Előnyök	Hátrányok
<b>Műszaki</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ jó hatásfok, kedvező nyomaték</li> <li>○ egyszerűbb szerkezet</li> <li>○ halk működés, kis zajterhelés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ kis hatótávolság</li> <li>○ nagyobb tömeg</li> <li>○ hosszú akkumulátor feltöltési idő</li> </ul>
<b>Gazdaságossági</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ kisebb „üzemanyag” költség</li> <li>○ kisebb karbantartási igény</li> <li>○ állami támogatás</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ magasabb beszerzési ár</li> <li>○ a töltési infrastruktúra kiépítése jelentős költséggel jár</li> </ul>
<b>Környezet-védelmi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ gyakorlatilag nulla emisszió a működési területen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ a teljes emisszió függ az elektromos energia előállítás módjától</li> <li>○ a gyártáshoz használt anyagok karbon lábnyoma jelentős lehet</li> </ul>

**1. táblázat:** Akkumulátoros hajtású elektromos járművek előnyei és hátrányai

A vázolt szempontok mérlegelése alapján egy globális fejlesztési stratégia főbb szempontjai a következők:

- Hatásfok javítása, energiafogyasztás csökkentése
  - Magas hatásfokú részek fejlesztése
  - Integrált irányítás
- Akkumulátor fejlesztés
  - Egységnyi tömegben és térfogatban tárolt energia növelése
  - Karbon lábnyom csökkentése
- Töltési infrastruktúra bővítése, megújuló elektromos energia alkalmazása
- Verseny az üzemanyagcellás és akkumulátoros járművek között

Az első szempont kifejtése egy esettanulmányhoz kapcsolódik, melyet az Audi végzett a Horizon2020 program támogatásával [6]. A kutatás célja az volt, hogy két meglévő, központi motorral hajtott jármű (Audi e-TRON és JAC iEV7) kerékagy motoros hajtásra való átalakításával milyen előnyök jelentkeznek. Fő cél volt az integrált kerékagy motoros hajtás fejlesztésével a motortól a kerékig mérhető hatásfokok NEDC és WLTP norma szerinti 1-2%-os emelése. A kutatás során új kerékagy motor konstrukciót és vezérlést fejlesztettek és ezt összekapcsolták egy brake-by-wire rendszerrel. Nyilván a nagyobb rugózott tömeg megváltoztatta a jármű dinamikáját, ezért elektromágneses és elektro-pneumatikus felfüggesztés szabályzást is fejlesztettek, majd az összes elemet egy új integrált szabályzási modellel hangolták össze. Ezek eredményeként az újonnan kifejlesztett wheel-slip-control csökkentette a féktávolságot az ABS-hez képest, jelentősen javult az oldalirányú stabilitás és igazolódott, hogy a kerékagy motorok használata a kerék szlip vezérléshez előnyös a

menetkomfort szempontjából. Természetesen ez a fejlesztés nem általánosítható annyiban, hogy a kerékagy motoros hajtás előnyösebb, de rámutatott a konstrukciók variálhatóságára.

Az akkumulátor fejlesztésre vonatkozó prognózisok szerint a fajlagos akkumulátor kapacitások 2030-ig megkétszereződnek, miközben az egységnyi kapacitás ára felére csökken [7-8]. További problémát jelent, hogy a [4] publikáció szerint az akkumulátorgyártás jelenleg 150-200 kg CO<sub>2</sub>-egyenértéket képviselő gáz kibocsátással jár 1 kWh akkumulátor kapacitásra vetítve, amely jelentős környezetszennyezést okoz, tehát ennek mérséklésére volna szükség. Nyilvánvaló, hogy ezek a prognózisok a meglévő akkumulátor típusok várható fejlődésére vonatkoznak, de ha jelentkezne valami áttörés a területen, az felülírná a perspektívákat és elfogadhatóbbá tenné az akkumulátoros járműveket.

További szempont az elektromos járművek számának növekedésével kapcsolatban a töltési infrastruktúra és a megnövekedett villamos hálózati igények kielégítése. A nyilvános töltőállomások száma 2020-ban a világon 1,3 millió volt (ebből Kína 62%-ot képviselt), amely a 10 millió járműhöz viszonyítva 7,7 jármű/töltőállomás átlagot jelent. Ez elfogadható lenne, de jelentős eltérések vannak országonként. 2030-ra 220 millió töltési helyet várnak, ami a tervezett 200 millió autóhoz képest kissé elnagyolt becslés. Viszont a fejlesztésekben az otthon kiépített töltőállomás lesz a legtöbb (~65%), de ezek az energiaellátásban közelítően csak 50%-ot képviselnek. Lényegesen komolyabb problémát jelent az elektromos hálózat teherbírása. Például Norvégiában, amely az elektromobilitás egyik vezetője, az egész elosztó hálózatot jelentősen kellett bővíteni a tömegesen létesített nagyteljesítményű töltőhelyek miatt. Becslés szerint, ha a magyar személyautó állomány teljesen átállna elektromos meghajtásra, akkor ez közelítően negyedével növelné meg a hazai elektromos energia igényt.

Az elektromos járművek fejlődésének egy nyitott kérdése az, hogy a jelenleg két műszakilag megvalósítható hajtás típus közül melyik miként alkalmazható gazdaságosan. Ennek szempontjait hasonlítja össze a 2. táblázat, melyből látható, hogy az üzemanyag cellás táplálásnak is vannak előnyei, és a hidrogén gazdaság növekedésével ezek még fokozódni fognak. Az is kérdéses, hogy a hidrogént üzemanyag cellában vagy belsőégésű motor üzemanyagaként alkalmazzák.

Akkumulátoros táplálás	Üzemanyagcellás táplálás
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kiforrott technológia</li> <li>• 90% körüli hatásfok</li> <li>• Fejlettebb töltőhálózat, de hosszú töltési idő</li> <li>• Az akku tömeg sokszorosa (~60x) a hidrogén üzemanyagnak</li> <li>• Az akku karbonlábnyoma nagy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A fejlesztés kezdeti stádiumban van</li> <li>• A hatásfok csak 50-60%</li> <li>• Nincs töltőhálózat, de ha lenne, a töltési idő minimális volna</li> <li>• A hidrogén gazdaság ígéretes fejlődés előtt áll</li> <li>• Vannak versenyképes alkalmazási területek (pl. teherautók)</li> </ul>

2. táblázat. Potenciális energiaforrások összehasonlítása

A hidrogén üzemű járművekkel kapcsolatban szintén felmerül a CO<sub>2</sub> kibocsátás kérdése attól függően, hogy milyen technológiával állítják elő a gázt. A környezetvédők szerint a megújuló energiaforrásból elektrolízissel előállított hidrogén „tiszta”, bár a napelemek vagy szélturbinák előállításának is van jelentős karbon lábnyoma, amely rávetíthető az energiatermelési folyamatra. Napelemek esetében ez minimum 20-30 g/kWh, de a ma legelterjedtebben használt kínai eredetű paneleknél elérheti a 68 g/kWh-t is. Akár ezeket a becsült kibocsátásokat tekintve napelemekkel, akár a korábban bemutatott energiamixet alapul véve erőművi elektromos árammal végzik a hidrogén elektrolízisét a felhasználás helyén, mindenképpen jelentős CO<sub>2</sub> kibocsátással kell számolni, mivel a hidrogén elektrolíziséhez 35-45 kWh/kg energia szükséges. Az üzemanyagcellás járművek átlagosan 1 kg hidrogént fogyasztanak 100 km-re, ezt a napelemes energiatermelésre vetítve egy üzemanyagcellás autó az üzemeltetésből adódóan közelítően 30 g CO<sub>2</sub>-t bocsát ki 1 km-re számolva, amelyhez hozzáadódik az előállítás karbon lábnyomából számított kibocsátás. Ha viszont az országra jellemző elektromos energia mix alapján végezzük a számítást, akkor ennek ötszöröse is kijöhet. Ezért minden környezetvédelemmel kapcsolatos megállapítást csak alapos elemzés alapján lehet meghozni.

A vezetéstámogató rendszerek fejlesztése minden járműtípushoz kapcsolódó közös kutatási irány. Az erre vonatkozó vizsgálatok szerint 2020-ban az L1 és L2 szint 90%-ot reprezentált, az L5 pedig csak 1%-ot, de az előrejelzések szerint 2025-re az L3 feletti szintek 10-15%-ot érnek el, és az L2/L2+ szint 30%-ra növekszik. Az L3 szint ma már bármilyen járműben alkalmazható érett megoldás, az L4/L5 szint elérése még további kutatásokat igényel. Az elemzett időszakban Nyugat-Európa képviselte a legmagasabb szintet világviszonylatban, de Kína ambiciózus terveket fogalmazott meg a lemaradása csökkentésére. A V2X kommunikációs technikák szintén ígéretes fejlesztési irányt jelölnek ki, ehhez a technikai lehetőségek adóttak és a szükséges protokollok rendelkezésre állnak.

## **Köszönetnyilvánítás**

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

## **Irodalomjegyzék**

[1] <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>

[2] <https://eur-lex.europa.eu/content/paris-agreement/paris-agreement.html?locale=hu>

[3] <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>

[4] Anika Regett, Wolfgang Mauch, Ulrich Wagner: Carbon footprint of electric vehicles - a plea for more objectivity. Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) e.V. (Research Center for Energy Economics)

[5] Feierabend I., Györfi L. K., Dr. Hugyecz A.: A VILLAMOSENERGIA-TERMELEÉS FAJLAGOS SZÉN-DIOXID-KIBOCSÁTÁSA EURÓPA ORSZÁGAIBAN 2020-BAN.

[6] HORIZON „H2020-LC-GV-2018-2019-2020/H2020-LC-GV-2018” projekt beszámoló

[7] A. Ghosh: Possibilities and Challenges for the Inclusion of the Electric Vehicle (EV) to Reduce the Carbon Footprint in the Transport Sector: A Review. *Energies* 2020, 13, 2602; doi:10.3390/en13102602

[8] Hongyang Cui, Dale Hall, Jin Li and Nic Lutsey: Update on the global transition to electric vehicles through 2020. 2021 INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION