

A közlekedés jövője: meghajtási módok és fenntartható energiaellátás

Hariján Dávid, Nagy Mónika Zita, Bertalan Péter

Összefoglalás

A közlekedés az Európai Unió egyik legjelentősebb üvegházhatású gázkibocsátási forrása, és az egyetlen olyan ágazat, amelynek kibocsátása az elmúlt évtizedekben nem csökkent jelentősen. 2022-re a közlekedés az EU teljes kibocsátásának körülbelül 29%-át tette ki, szemben az 1990-es 17%-kal. Ez a tanulmány átfogóan bemutatja az új hajtási módszerek fejlesztését és várható bevezetését a különböző közlekedési ágazatokban az Európai Unió perspektívájából. A szárazföldi közlekedésben az elektromos járművek elterjedése a legjelentősebb tendencia: 2023-ra az EU-ban az újonnan regisztrált személygépkocsik közel 15%-a tisztán akkumulátoros elektromos jármű lett. A tengeri és légi közlekedési ágazatokban az alternatív üzemanyagok, mint a metanol, az ammónia és a fenntartható légi közlekedési üzemanyagok (SAF - Sustainable Aviation Fuel) jelentik a dekarbonizáció kulcsát. A tanulmány külön tárgyalja a személy- és áruszállítást, és megvizsgálja a szükséges energia előállításának módszereit. Az eredmények azt mutatják, hogy az új hajtási módok elterjedése csak akkor vezet valódi kibocsátáscsökkenéshez, ha a szükséges energiát tiszta forrásokból állítják elő. A kutatás irodalomelemzésen alapul, különös figyelmet fordítva az EU hivatalos adataira és az iparági jelentésekre. A tanulmány arra a következtetésre jut, hogy nem egyetlen csodaszer, hanem a technológiák és a rendszer szintű alkalmazás kombinációja vezethet eredményekhez a közlekedés dekarbonizációjában, ami összehangolt politikai kereteket és jelentős infrastrukturális beruházásokat igényel.

Kulcsszavak: közlekedés, dekarbonizáció, elektromos járművek, hidrogén, fenntartható energiaellátás, Európai Uniók politika

JEL: Q55, O33, R40

The future of transportation: propulsion methods and sustainable energy supply

Abstract

Transportation is one of the most significant sources of greenhouse gas emissions in the European Union and the only sector whose emissions have not substantially decreased in recent decades. By 2022, transportation accounted for approximately 29% of the EU's total emissions, compared to 17% in 1990. This study comprehensively presents the development and anticipated deployment of new propulsion technologies across various transportation sectors from a European Union perspective. In land transportation, the proliferation of electric vehicles is the most prominent trend, with nearly 15% of newly registered passenger cars in the EU being purely battery electric vehicles by 2023. In the maritime and aviation sectors, alternative fuels such as methanol, ammonia, and sustainable aviation fuels (SAF - Sustainable Aviation Fuel) are key to decarbonization. The paper separately discusses passenger transport and freight transport, and examines the methods for producing the necessary energy. The results show that the spread of new propulsion methods only leads to real emission reductions if the required energy is produced from clean sources.

The research is based on literature analysis, with particular attention to official EU data and industry reports. The study concludes that not a single miracle solution, but the combination of technologies and system-level application can lead to results in transportation decarbonization, requiring coordinated policy frameworks and substantial infrastructure investments.

Keywords: *transportation, decarbonization, electric vehicles, hydrogen, sustainable energy supply, European Union policy*

JEL: *Q55, O33, R40*

Bevezetés

A közlekedés az Európai Unióban az üvegházhatású gázok egyik legjelentősebb forrása, és az egyetlen szektor, amelynek kibocsátásai az elmúlt évtizedekben nem csökkentek érdemben (EEA, 2024a). 2022-re a közlekedés az EU teljes kibocsátásának mintegy 29%-át adta – szemben az 1990-es 17%-kal –, ezen belül a közúti járművek a legnagyobb részesedés, a közlekedési emisszió körülbelül 73%-a (EAA, 2024a). Az éghajlatváltozás elleni küzdelem és az energiatartósság csökkentése érdekében az EU ambiciózus zöldítési célokat tűzött ki: az Európai Bizottság 2011-es ütemterve szerint 2050-re a városi közlekedésből ki kell szorítani a fosszilis hajtású gépkocsikat, a repülésben felhasznált üzemanyagok 40%-ának alacsony szén-dioxid-kibocsátásúnak kell lennie, a tengeri hajózásban 40%-os kibocsátáscsökkentés szükséges, illetve a 300 km-nél hosszabb áru fuvarozás felét vasútra vagy vízi útra kell áttéríteni (EB, 2024). Ezen célok kizárólag technológiai innováció és új meghajtási módok bevezetése révén érhetők el.

Az elmúlt években felgyorsult a közlekedés elektromos és egyéb alternatív meghajtású járművekre való átállása. A személygépkocsi-piacon egyre nagyobb teret nyernek az elektromos járművek, a nehéz tehergépjárművek és buszok esetén az akkumulátoros, valamint a hidrogén üzemanyagcellás technológiák egyaránt ígéretesnek mutatkoznak. A vízi szállításban megjelentek az LNG-vel, metanollal vagy hidrogénnel hajtott hajók, sőt kísérleti jelleggel akkumulátoros kompok is. A légi közlekedésben a fenntartható repülőgép-üzemanyagok (SAF - Sustainable Aviation Fuel) és hosszabb távon a hidrogén jelenthetik a kulcsot a kibocsátások csökkentéséhez.

Jelen tanulmány átfogóan bemutatja a közlekedés különböző ágazataiban zajló új meghajtási módok fejlesztését és várható elterjedését európai uniós nézőpontból. Külön tárgyaljuk a személyszállítást és az áruszállítást, előbbin belül a tömegközlekedést és az egyéni közlekedést, ismertetve a legfontosabb technológiákat és azok kilátásait. Emellett megvizsgáljuk, milyen módszerekkel állítható elő a szükséges energia a tudomány jelenlegi állása szerint.

Szárazföldi személyszállítás

Egyéni személyszállítás (személygépkocsik)

A közúti személyszállításban az elektromos hajtású személygépkocsik térnyerése a legszembetűnőbb trend. Az EU-ban 2023-ra az újonnan forgalomba helyezett személyautók körülbelül 15%-a tisztán akkumulátoros (BEV – Battery Electric Vehicle) volt, a plug-in hibridekkel (PHEV - Plug-in Hybrid Electric Vehicle) együtt már közel 23%-os részesedést értek el (EEA, 2024b). Ez drámai növekedés az egy évtizeddel korábbi állapothoz képest, hiszen 2010-ben még alig pár száz elektromos autót adtak el Európában. A gyors bővülés mögött az akkumulátorok árának csökkenése, a

technológia éretté válása és az EU szigorodó szabályozásai és a tagállami támogatási politikák állnak (Catsaros, 2023), ami azt vetíti előre, hogy az elektromos autók teljes élettartam-költsége hamarosan versenyképes lehet a hagyományos gépkocsiéval.

A szabályozói oldalon mérőföldkőnek számít, hogy az EU 2035-től a személyautók és kisteherautók esetén 100%-os CO₂-csökkentést ír elő a 2021-es szinthez képest, ami a fosszilis hajtású új autók értékesítésének betiltását jelenti (kivéve az e-üzemanyagokra képes járműveket) (EEA, 2024b). Átmeneti lépésként 2030-ra a gyártóknak 55%-kal kell csökkenteniük az új autók fajlagos CO₂-kibocsátását. Ezek az előírások erőteljes innovációs nyomást gyakorolnak az autóiparra, és hozzájárultak ahhoz, hogy mára szinte minden nagy autógyártó stratégiai célként kezeli az elektromos modellpaletta bővítését.

A technológiai versenyben az akkumulátoros elektromos járművek dominálnak, de jelen vannak más alternatív meghajtások is. Néhány gyártó hidrogén-üzemanyagcellás személyautókat kínál, amelyek elektromos hajtásúak ugyan, de az energiát nem hálózatról töltött akkumulátorból, hanem a jármű fedélzetén egy tüzelőanyagcellában hidrogénből állítják elő. Ezek gyorsan tankolhatók és nagy hatótávúak, de jóval drágábbak, és Európában a hidrogéntöltő infrastruktúra szinte teljesen hiányzik. Rövid távon ezek a járművek valószínűleg rétegmegoldások maradnak a személyautó-piacon (Jolly, 2024). A hidrogén-technológia inkább a nehezebb járműkategóriákban (buszok, teherautók), vagyis a tömegközlekedésben és az áruszállításban válhat igazán fontossá.

Tömegközlekedés (közúti és kötöttpályás)

A szárazföldi tömegközlekedésben szintén forradalmi változások zajlanak. A városi buszflották elektromosítása különösen felgyorsult. Az EU városaiban 2024-ben az újonnan forgalomba állított autóbuszok 49%-a már zero emissziós volt, ezen belül 46%-uk akkumulátoros elektromos, míg 3%-uk hidrogén-üzemanyagcellás, miközben 2017-ben a dízelbuszok még közel 100%-ban domináltak. A gyors áttéréshez az EU Tiszta Jármű Irányelve, a CO₂-normák szigorítása és a városi zero emissziós zónák egyaránt hozzájárultak. Várható, hogy a 2020-as évek végére az új városi buszok csaknem mindegyike elektromos lesz, 2035–2040-re a teljes flotta kicserélődik tiszta üzeműre (Molliere, 2025).

A vasúti közlekedés az EU-ban már eleve az egyik legtisztább szállítási mód, mivel a fővonalak többsége villamosított. Az innováció ott jelenik meg, ahol eddig dízelüzemet alkalmaztak. Az ilyen mellékvonalakon akkumulátoros vagy hidrogén-üzemanyagcellás vonatok válthatják fel a dízeleket. Akkumulátoros villamos motorvonatok is fejlesztés alatt állnak, amelyek a nem villamosított szakaszokon akkumulátorról, a villamosítottan felsővezetékéről üzemelnek – ezek ott is csökkenthetik az emissziót, ahol a teljes villamosítás nem gazdaságos.

Gazdasági és üzemeltetési szempontból a tömegközlekedési járművek villamosítása gyakran könnyebben megvalósítható, mint az egyéni közlekedésé, mivel a flottaüzemeltetők méretgazdaságossági előnyöket élveznek a töltési infrastruktúra, a hálózati terhelés optimalizálása és a karbantartás terén egyaránt. Továbbá a tömegközlekedés elektrifikációja közvetett gazdasági hasznokkal is jár: csökkenek az utazások környezeti externáliái (kisebb szennyezés, egészségügyi kiadások), javul a szolgáltatás imázsa (modern, csendes járművek), ami növelheti az utasszámot. A kezdeti beruházási igény ugyanakkor nagy, ezért az EU és a tagállamok külön támogatási programokat indítottak az elektromos és hidrogénbuszok beszerzésének ösztönzésére (EC, 2020). A vasútnál pedig az infrastruktúra-fejlesztési támogatások (CEF, Kohéziós Alap) segítik a villamosítást és az alternatív hajtású motorvonatok beszerzését.

Szárazföldi áru fuvarozás (közúti tehergépkocsik és vasúti teherszállítás)

A szárazföldi áruszállítás esetében új meghajtási módokat bevezetni különösen nagy kihívás, hiszen a nehéz tehergépjárművek és kamionok jellemzően hosszú távokat tesznek meg, és eddig dízel-üzemre épült az üzleti modell. Azonban itt is megkezdődött az alternatív meghajtások fejlesztése és bevezetése. Két fő irány rajzolódik ki: az akkumulátoros elektromos teherautók és a hidrogén üzemanyagcellás, valamint a hidrogénnel üzemelő belső égésű motoros teherautók.

Akkumulátoros elektromos tehergépjárművek

Az első sorozatgyártású elektromos kamionok az utóbbi néhány évben jelentek meg (pl. Volvo, Daimler, Scania, Tesla Semi). Fő előnyük a helyi zéró kibocsátás és az egyszerűbb hajtáslánc. Hátrányuk az akkumulátorok tömege, a hosszú töltési idő és a korlátozott hatótáv. Az akkumulátor-technológia fejlődésével a felhasználók köre bővül: ma már regionális szállítást végző nyerges vontatók is kaphatók elektromos kivitelben. Európában 2021-től egyes logisztikai vállalatok (pl. DB Schenker) 40 tonnás elektromos kamionokat üzemeltetnek regionális forgalomban, kedvező tapasztalatokkal (DB Schenker, 2024).

A nehéz teherautók elektrifikációja az EU-ban egyelőre korai fázisban van: 2022-ben az újonnan regisztrált 3,5 tonnánál nehezebb tehergépjárművek kevesebb mint 1%-a volt tisztán elektromos (ACEA, 2023). Az áttörés valószínűleg a 2020-as évek második felében következik be, miután 2025-től életbe léptek a teherautókra vonatkozó CO₂-normák (2030-ra 30%-os, 2035-re 90%-os csökkentési célokkal). Gazdasági szempontból a teljes birtoklási költség (TCO - Total Cost of Ownership) dönti el az átállást: elemzések szerint 2030 körül az elektromos kamionok elérik a dízellel a TCO-paritást, különösen, ha a gázolaj árát karbonköltség terheli és az akkupakk ára tovább csökken (Basma, 2022). A töltőinfrastruktúra kiépítése szintén kulcskérdés: az EU AFIR rendelete előírja a fő közúti folyosókon nehéz teherautók számára alkalmas nagy teljesítményű töltők telepítését 2025–2030 között (CE, 2023a). Várható, hogy az évtized végére az e-teherautók elsőként a városközi és regionális forgalomban terjednek el, míg a távolsági, nagy tömegű szállítmányozásban inkább a hidrogénes megoldások lesznek meghatározók.

Hidrogén üzemanyagcellás és hidrogénmotoros teherautók

A hidrogén alkalmazása a nehézszállítványozásban a másik meghatározó irány. Több nagy gyártó (pl. Daimler, Volvo) indított közös projektet H2Accelerate néven a hidrogén-teherautók piaci bevezetésére Európában (H2Accelerate, 2025). Az üzemanyagcellás teherautók hidrogénből elektromos áramot állítanak elő a hajtáshoz; a hidrogénmotoros kivitelben módosított belső égésű motor égeti el a hidrogént. Mindkét megoldás fő előnye az 500–1000 km-es hatótáv és a gyors tankolás, fő hátránya a viszonylag alacsony energetikai hatásfok és a jelenleg magas üzemanyagköltség. A várakozások szerint a 2030-as évektől a hidrogénkamionok a hosszú távú, nehéz áruszállítás fő eszközeivé válhatnak (Basma, 2022).

Vasúti áruszállítás

EU-szinten már 2021-ben több mint 50%-a a tehervonatoknak villamos mozdonyokkal közlekedett (UNIFE, 2024). A még dízelüzemű vasúti tehervonatok leváltására ugyanazok a megoldások

kínálkoznak, mint a személyszállításban: villamosítás vagy alternatív hajtású mozdonyok (pl. hidrogén üzemanyagcellás mozdonyok). Jelenleg a teherszállítás kibocsátás-csökkentésének fő útja a forgalom további részének áttelepítése a már eleve villamosított vasútra. Erre az EU-ban már a 2010-es évek elejétől megjelentek politikai ösztönzők is: az Európai Bizottság 2011-es fehér könyve célul tűzte, hogy 2050-re a 300 km feletti közúti árufuvarok legalább 50%-át vasútra vagy vízi útra tereljék (EC, 2011), ami jelentősen csökkentené a közúti szektor energiaigényét és kibocsátását.

Összességében a szárazföldi áruszállításban a következő évtized meghatározó kérdése, hogy az elektromos és hidrogéntechnológiák milyen gyorsan válnak költséghatékonyá és megbízhatóvá a nehéz járműveknél. A gazdasági elemzések azt mutatják, hogy megfelelő politikai keretek mellett (szigorú kibocsátási normák, karbonár, infrastrukturális támogatások) a zéró-emissziós teherfuvarozás 2035-re fokozatosan átveheti a dízel szerepét (Basma, 2022).

Vízi közlekedés: személy- és áruszállítás

Személyszállítás (kompok, személyhajók, kis hajók)

A rövidebb távolságú, partközeli hajózásban – különösen a kompoknál – az elektromos hajtás már megjelent mint bevált technológia. 2015-ben Norvégiában állt szolgálatba az első teljesen elektromos komp, amely bizonyította, hogy a rendszeres járatoknál is működőképes a tisztán akkumulátoros üzem (NORLED, 2025). Azóta a skandináv országokban tucatjával helyeznek üzembe elektromos vagy hibrid kompokat, amelyek hatótávja ugyan korlátozott, de csendesebbek és helyi légszennyezést nem bocsátanak ki.

A nagyobb távolságú személyhajóknál – például az óceánjáróknál – az akkumulátoros elektromos hajtás önmagában nem reális a hatalmas energiaigény miatt. Itt az új meghajtási módok a hagyományos hajtóművek alternatív üzemanyagokkal való működtetését jelentik. Az óceánjáró hajók és nagyobb komphajók esetében kísérleti jelleggel alkalmaznak cseppfolyósított földgázt (LNG - Liquefied Natural Gas) vagy gázüzemű motorokat, amelyek kevesebb szén-dioxidot és szennyező anyagot bocsátanak ki, mint a hagyományos nehézolaj. Például több újabb európai komphajó LNG-meghajtású, és a 2020-as évek elején néhány nagy tengerjáró hajó is LNG-vel kezdett üzemelni (MSC Cruises, 2025). Az LNG azonban továbbra is fosszilis üzemanyag, így hosszú távon nem biztosít teljes dekarbonizációt, legfeljebb átmeneti kibocsátás-csökkentést.

A valódi zéró emissziós megoldások között felmerült a hidrogén és a belőle előállítható ammónia (NH_3) használata a hajózásban. Norvégiában épül az első hidrogén üzemanyagcellás komphajó, amely folyékony hidrogénnel üzemel (Holtze, 2023). A hidrogén nagy térfogata és cseppfolyósításának energiaigénye miatt vonzó alternatíva az ammónia: magasabb energiasűrűségű és folyékony formában könnyebben tárolható, bár mérgező és maró jellege nehézkes kezelést igényel. Az ammónia-hajtás intenzív kutatás tárgya: az elterjedtebb alkalmazás a 2030-as évekre várható (Lerh, 2024). Közvetlen elégetéssel az ammónia hozzávetőleg 70%-kal csökkenti egy hajó üvegházhatású gázki-bocsátásait a dízelhez képest – feltéve, hogy magát az ammóniát is zöld hidrogénből állítják elő.

A személyhajóknál további innováció a hibrid meghajtás és a parti áramellátás átalakítása: sok új hajót felszerelnek akkumulátorokkal, amelyek révén kikötőbe érve képesek leállítani a főmotorokat és akkumulátorról biztosítani az energiaellátást, elkerülve ezzel a kikötői légszennyezést. Egyre több európai kikötő írja elő a tartózkodás idejére a szárazföldi villamos hálózathoz való csatlakozást (Osipova, 2023).

A kisebb vízi járművek, mint a jachtok, csónakok terén is terjed az elektromos hajtás. Tavak és folyók mentén számos helyen használnak már elektromos hajómotorokat rekreációs célra, és néhány európai város (pl. Amszterdam) előírta, hogy 2030 után csak elektromos csónakok közlekedhetnek a csatornákon (City of Amsterdam, 2025). Bár ezek globális kibocsátási hatása csekély, a lokális környezetre gyakorolt pozitív hatásuk jelentős.

Áruszállítás

A globális tengeri áru fuvarozás – az óceánjáró teherszállító hajók (konténerhajók, tartályhajók) üzemeltetése – az egyik legnehezebben szén-dioxid-mentesíthető ágazat. A hajózási ipar nemzetközi jellege miatt szabályozását az ENSZ Nemzetközi Tengerészeti Szervezete (IMO – International Maritime Organization) koordinálja. Az IMO 2023-ban elfogadott üvegházhatású gáz stratégiája szerint 2050 körülre a nemzetközi hajózásnak törekednie kell a nettó zero kibocsátás elérésére (IMO, 2025). Az áttörést itt is új meghajtási módok és üzemanyagok hozhatják meg.

Jelenleg a legvalószínűbb forgatókönyv szerint a hajók belső égésű motorjai megmaradnak, de az üzemanyag fokozatosan alternatívákra áll át. Ilyenek az LNG, a metanol, az ammónia, illetve a hulladékalapú biodízelszerű anyagok (Amaro, 2023). A zöld metanol ígéretes alternatíva: megújuló forrásból (zöld hidrogénből és befogott CO₂-ből) előállítható, folyékony állapotban könnyen kezelhető, energiasűrűsége megfelelő. Több nagy teherhajózással foglalkozó cég fontolgatja ammónia használatát a 2030-as évekre, feltéve, hogy a hajómotorgyártók sikerrel fejlesztik a biztonságos ammóniamotorokat (Lerh, 2024).

Nagy hajókon az üzemanyagcellák kiegészítő funkcióban is alkalmazhatók: hidrogénből vagy ammóniából fejlesztenek áramot a fedélzeti rendszerek ellátására, csökkentve a főmotor terhelését és kibocsátását. Egyes tervek szerint a jövő hajóin a főhajtómű mellett üzemanyagcellákat is telepítenek, különösen a kikötői tartózkodás és a manőverezés idejére (Jensen, 2024).

Az EU a hajózás zöldítésében elsősorban szabályozó és ösztönző szerepet játszik. Úttörő lépés volt, hogy 2024-től a tengeri szektort bevonták az EU emisszió-kereskedelmi rendszerébe (ETS - Emissions Trading System), illetve elfogadták a FuelEU Maritime rendeletet, amely a hajóüzemanyagok üvegházhatású gáz-intenzitásának fokozatos csökkentését írja elő 2025-től (EC, 2025a). A cél 2050-re ~80–100%-os kibocsátáscsökkentés; addig kötelező az alternatív üzemanyagok arányának növelése (EC, 2023). Mindezzel együtt a hajózás átállása várhatóan lassabb lesz, mint a szárazföldi közlekedésé.

Légi közlekedés: utas- és teherszállítás

Utasszállító repülés (polgári légiközlekedés)

A légi közlekedés – különösen a nemzetközi utasszállítás – a közlekedés legenergiaintenzívebb és legnagyobb kihívást jelentő területe a dekarbonizáció szempontjából. A sugárhajtóműves repülőgépek rendkívül magas energiasűrűségű üzemanyagot igényelnek a hosszú távú repülésekhez, és jelenleg gyakorlatilag kizárólag kerozint égetnek. Ugyanakkor a repülés az EU kibocsátásainak egyre nagyobb szeletét adja (kb. 3-4%-át jelenleg, de arányát tekintve növekszik, mivel más ágazatok csökkennek) (EAA, 2024a). Az EU célja, hogy 2050-re a légi közlekedés nettó nulla kibocsátású legyen, ami több új meghajtási mód együttes alkalmazását teszi szükségessé.

Rövid és középtávon a légi közlekedés fő dekarbonizációs útja a hagyományos kerozin részleges kiváltása fenntartható alternatívákkal (SAF – Sustainable Aviation Fuel). A SAF gyűjtőfogalom:

lehet bioüzemanyag vagy szintetikus e-üzemanyag. A SAF keverhető a hagyományos kerozinnal és módosítás nélkül használható a jelenlegi repülőgépekben. Jelenleg a globális repülőgép-üzemanyag felhasználásának kevesebb mint 1%-a SAF. A 2023-ban elfogadott ReFuelEU Aviation rendelet kötelező arányokat ír elő: 2025-től legalább 2%, 2030-ra 6%, 2040-re 34%, 2050-re 70% SAF a tankolt üzemanyagban (CE, 2023b).

A SAF legnagyobb korlátja a kínálat és az ár: a jelenlegi bioüzemanyag (HEFA eljárással készült biojet) korlátozott mennyiségben érhető el, és ára a kerozin 2–5-szöröse (El-Kharouf, 2024). A nyersanyag (hulladékolaj, zsír) mennyisége korlátozott, ezért nagy volumenű növekedés csak új technológiákkal érhető el. Az EU az Innovációs Alapon keresztül pénzügyi támogatást nyújt a SAF-iparnak, és ETS-engedményt ad a SAF-ot használó légitársaságoknak (SkyNRG, 2023). Várható, hogy a 2020-as évek végére Európában évi több millió tonna SAF áll rendelkezésre – ez még töredéke a teljes kerozinigénynek, de 2030-ra 5–10%-os, 2050-re meghatározó arányú kiváltás reális.

A repülés radikálisan új meghajtási módja lehet a hidrogénes repülőgép, ahol a hidrogén tüzelőanyagcellán át elektromos hajtást biztosít, vagy gázturbinában ég el kerozin helyett. A technológiai nehézségek okán azonban egyelőre inkább a SAF-ban látható a potenciál (Hepher, 2025).

A légit közlekedés elektrifikációja egyelőre csak a kisgépeknél reális, mivel a lítium-ion akkumulátorok energiasűrűsége nagyságrendekkel kisebb a keroziné.

Légi teherszállítás

A teherszállító repülés technológiailag nem különbözik az utasszállítástól, így a meghajtási módok terén az imént vázolt megoldások egy az egyben érvényesek rá. Annyi eltérés van, hogy a teherszállító légitársaságok talán rugalmasabban alkalmazhatnak új üzemanyagokat. Illetve a kisgépes áruszállításnál az elektrifikáció könnyebben megvalósítható. Összességében a légi közlekedésben rövid távon a SAF a legjelentősebb dekarbonizációs eszköz, hosszabb távon a hidrogén hozhat áttörést. Az EU-ban erre a ReFuelEU Aviation rendelet jogi kötelezettséget teremtett (CE, 2023b), az ETS kiterjesztése a légit közlekedésre és a K+F támogatások pedig segítik a szektort a dekarbonizáció felé vezető úton.

Energiaelőállítás és infrastrukturális feltételek

Az új meghajtási módok elterjedése csak akkor vezet valódi kibocsátáscsökkenéshez, ha a szükséges energiát tiszta forrásokból állítjuk elő. Ellenkező esetben csupán áthelyezzük a károsanyag-kibocsátást a járművekről az erőművekbe. Ezért kulcsfontosságú megvizsgálni, hogyan termelhető meg a közlekedéshez szükséges energia fenntartható módon a jelenlegi technológiai trendek alapján.

Villamosenergia-termelés

Az elektromos járművek terjedésével az áramigény növekedni fog, az EU villamosenergia-szektorában pedig gyors ütemben nő a megújuló aránya. 2023-ban az EU áramtermelésének 45,3%-át megújuló energia adta (Enerdata, 2025), és a trend folytatódik. A napelem-kapacitás és a szélenergia-kapacitás egyaránt dinamikusan emelkedik (Lits, 2023). Tanulmányok szerint az elektromos autók széles körű elterjedése nem jelent leküzdhetetlen terhelést a hálózatnak, ha az okos töltés és a megújuló termelés bővülése párhuzamosan halad (Meintz, 2025). Ha azonban a megújuló termelés és a tárolás nem tart lépést a növekvő kereslettel, a fosszilis energiaforrások felhasználása növekedhet – erre átmeneti megoldást az atomenergia is nyújthat.

Az atomenergia az atommagokban rejlő energia felszabadításából származik, amely kétféle magreakció révén valósítható meg: maghasadás (fisszió) vagy magfúzió (magegyesülés) útján (Herczeg, 2024). Jelenleg a fissziós elven működő atomerőművekkel rendelkezünk csak, amelyek 2040-re várhatóan a 2019-es teljesítményük mintegy 74%-át fogják csak képviselni (Füri, 2024). Az EU tagállamai eltérő stratégiákat alkalmaznak, biztonsági és hulladékkezelési aggályok miatt szakmai konszenzus egyelőre nincs az iparág hosszú távú jövőjét illetően.

A nukleáris energiatermelés újabb ágaként a tóriumalapú olvadéksós reaktor komoly ígéretet jelent: Kína 2025 áprilisában e területen technológiai áttörést ért el. A hagyományos uránalapú reaktorokhoz képest biztonságosabban üzemeltethető, a tórium bőségebben áll rendelkezésre az uránnál, és a keletkező radioaktív hulladék kisebb aktivitású és rövidebb felezési idejű (Makronóm Intézet, 2025).

A fúziós erőmű atommagok – például hidrogén-izotópok – egyesülésével hoz létre hatalmas mennyiségű energiát, ugyanazon elv alapján, amely a Napot is táplálja. Fő vonzereje a rendkívül bőséges fűtőanyag és az alacsony környezeti, illetve baleseti kockázat (Herczeg, 2024). Elméleti szinten tehát szinte korlátlan energiaforrást jelenthet. A technológia azonban még nem érett: ipari méretű kereskedelmi fúziós erőmű egyelőre nem működik, a tudományos és mérnöki kihívások megoldása folyamatban van.

Hidrogén előállítása

A hidrogén kulcsszerepet játszhat több közlekedési szektor dekarbonizációjában. A hidrogén azonban nem elsődleges energiaforrás, hanem energiahordozó, amit elő kell állítani. A jelenleg domináns hidrogéntermelési módszer alapanyaga földgáz, ami jelentős CO₂-kibocsátással jár ("szürke hidrogén"). A kívánatos út az elektrolízis megújuló villamos energiával (zöld hidrogén), amely közel karbonsemleges. Megemlítendő még a nukleáris energiából előállított ún. sárga hidrogén is. Az EU 2020-as Hidrogénstratégiája 2030-ra 40 GW elektrolizátor kapacitást és évi ~10 millió tonna zöld hidrogén termelést, valamint 10 millió tonna importot irányzott elő (EC, 2025b). Ezt a célt a REPowerEU terv 2022-ben megerősítette, mivel a földgázfüggőség csökkentése érdekében is jelentős szerepet szánnak a hidrogénnek, különösen olyan iparágakban, mint az acélgyártás, a vegyipar, de a közlekedésben is (EC, 2025b). Jelenleg a zöld hidrogén ára 8–12 €/kg; 2030-ra 5 €/kg alá csökkentése elengedhetetlen a versenyképességhez (Navarrete, 2024). A korábban említett hidrogénteherautó TCO-paritása ezen árszintnél valósul meg. Ehhez nagyszabású elektrolizátor projektek indultak (Németország, Hollandia, Spanyolország), és megjelent az "európai hidrogénbank" koncepciója, amely garanciákkal és aukciókkal támogatja a zöld hidrogén piaci elterjedését (European Commission, 2023b). A szállítás és tárolás infrastruktúrája szintén fejlesztésre szorul. Összességében a tudomány és ipar jelenlegi állása szerint a hidrogén fontos energiahordozó lesz a közlekedésen túl az ipar és az energiatárolás számára is, így nagy léptékű fejlesztése indokolt.

Szintetikus üzemanyagok (e-üzemanyagok)

Az e-üzemanyagok zöld hidrogén és befogott CO₂ reakciójával állíthatóak elő, és a meglévő motorokban helyettesítik a fosszilis üzemanyagokat. Fő előnyük, hogy a jelenlegi járműflotta is használhatja őket – ez a repülésben és a hajózásban különösen értékes. Hátrányuk a rendkívül alacsony energetikai hatások: az energia csupán 15–25%-a hasznosul a mozgásra, szemben az elektromos hajtás 70–80%-ával (eFUEL-TODAY, 2023). Az e-üzemanyagok hasznosítása ezért ott célszerű, ahol más alternatíva nincs – mint a repülés.

Bioüzemanyagok

A bioüzemanyagok már ma is részei az üzemanyagkínálatnak. Az EU-ban az első generációs, élelmiszer-növény-alapú bioüzemanyagok fenntarthatósága megkérdőjelezhető: szélesebb körű elterjedésük az élelmiszerárak emelkedéséhez és komoly társadalmi költségekhez vezethet. Ezért az EU RED II irányelve 7%-ban korlátozza a hagyományos bioüzemanyagok arányát, és előírja, hogy 2030-ra a közlekedési energia legalább 14%-a megújuló forrásból származzon, ezen belül min. 3,5% fejlett (hulladék- vagy maradékanyag-alapú) bioüzemanyag legyen (EC, 2025c). A bioüzemanyagok jövőbeni szerepe főként a repülésben látszik, ahol a hulladékolaj-alapú SAF az elérhető legjobb alternatívák egyike. A közúti szállításban az akkumulátoros elektromos, a tömegközlekedésben és teherszállításban a hidrogén hajtás várhatóan háttérbe szorítja a bioüzemanyagokat.

Infrastruktúra és energiatárolás

Az új meghajtási módok terjedése kiterjedt infrastruktúrát igényel. A villamosításhoz elengedhetetlen a töltőhálózat bővítése, a hidrogénhajtáshoz az EU célja, hogy 2030-ra a TEN-T hálózaton 150 km-enként H₂-kút álljon rendelkezésre. A vízi közlekedésben új bunkerkapacitások kellenek LNG-, metanol- és ammónia-hajtású hajókhoz; a repülőtereken SAF-raktározási és -elosztó infrastruktúrára van szükség. Az energiarendszer integrációja is kihívás: a sok elektromos jármű egyidejű töltése terhelési csúcsokat okozhat, amit okos töltésmenedzsmenttel és energiatárolással (pl. akkumulátorparkokkal, csúcsidejű zöld hidrogéntermeléssel) lehet kezelni. Az elektromos járművek mozgó akkumulátorként kisimíthatják a keresleti ingadozásokat, a hidrogén pedig szezonális energiatárolásra alkalmas (IRENA, 2022).

Összefoglalás

A közlekedés különböző ágaiban zajló meghajtási forradalom az Európai Unióban már kézzelfogható realitás. Az új meghajtási módok elterjedése ugyanakkor nem pusztán műszaki kérdés, hanem nagymértékben függ a gazdasági feltételektől és a szakpolitikai keretektől is. A közlekedés dekarbonizációjában számos külső hatással, piaci tökéletlenséggel és ágazatok közötti koordinációs problémával kell számolni, amelyek indokolják az állami beavatkozást és támogatást.

A személygépkocsi-szektorban az elektromos autók néhány éven belül átvehetik a belső égésű motorok helyét, köszönhetően a gyors technológiai fejlődésnek és a szigorú kibocsátási normáknak. A tömegközlekedés terén – különösen a buszoknál és a vasútnál – az elektromos és hidrogénhajtású járművek a jövő megoldásai. Az áruszállításban párhuzamosan létezik majd a kétféle technológia: az elektromos kamionok a rövidebb, a hidrogénesekek a hosszabb utakra optimalizálva. A vízi közlekedés zöldítése is megkezdődött – a metanol- és ammóniahajtású hajók megjelenése forradalminak tekinthető. A légi közlekedésben a kötelező SAF-bevezetés hoz rövid távú változást, a hidrogén pedig hosszabb távon nyithat új fejezetet.

A technológiai váltás mellett a közlekedési rendszerek átfogó átalakítása is szükséges. Az új meghajtású jármű akkor járul hozzá legjobban a gazdasági jóléthez, ha optimális kihasználtsággal működik. Az összes belsőégésű személyautó akkumulátoros elektromosra cserélése kétséges, már csak a kritikus nyersanyagok korlátozott rendelkezésre állása miatt is. Az egyéni autók esetén ezért felmerül a megosztott és autonóm közlekedés jövője: az elektromos és autonóm technológiák kölcsönösen erősítik egymást, az elektromos járművek egyszerűbb szerkezete jól integrálható az AI-alapú közlekedésirányítással.

A siker nem garantált erőfeszítés nélkül. Az energiaelőállítás oldalán hatalmas beruházásokra lesz szükség: a hálózat bővítésére, a megújulók integrálására és a hidrogéngazdaság kiépítésére. A gazdaságpolitikai ösztönzőknek következetesnek és kiszámíthatónak kell lenniük: az EU Fit for 55 csomagja és a Green Deal megadta az irányt, de végrehajtásuk során ügyelni kell a versenyképességre és a társadalmi igazságosságra is.

Fontos kiemelni, hogy nem egyetlen csodamegoldás, hanem a technológiák ötvözte vezet eredményre: a villamosítás, a hidrogén, a bio- és szintetikus üzemanyagok mind részei lesznek a jövő közlekedésének, különböző arányban az egyes szektorokban. Az EU számára különösen fontos az átállás gazdasági és geopolitikai dimenziója: vezető szerepet kell megőrizni az autógyártásban és a közlekedési innovációkban, miközben teljesíteni kell a klímacélokat. Ha ez sikerül, Európa egy alacsony karbonkibocsátású, energiahatékony és gazdaságilag fenntartható közlekedési rendszerrel rendelkezhet, amely a polgárok mobilitási igényeit magas színvonalon szolgálja ki.

Hivatkozott források

- Amaro, S. (2023): Shipping giant Maersk unveils world's first vessel using green methanol. <https://www.cnbc.com/2023/09/14/shipping-giant-maersk-unveils-first-vessel-operating-on-green-methanol.html>
- Basma, H. – Zhou, Y. – Rodríguez, F. (2022): *Fuel-cell hydrogen long-haul trucks in Europe: A total cost of ownership analysis*. <https://theicct.org/publication/eu-hvs-fuels-evs-fuel-cell-hdvs-europe-sep22/>
- Catsaros, O. (2023): Lithium-ion battery pack prices hit record low of \$139/kWh. <https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-hit-record-low-of-139-kwh/>
- City of Amsterdam (2025): Emission-free zone for pleasure craft. <https://www.amsterdam.nl/en/traffic-transport/boating/emission-free-zone/>
- Council of the European Union (2023a): Regulation (EU) 2023/1804 of 13 September 2023 on the deployment of alternative fuels infrastructure, and repealing Directive 2014/94/EU. *Official Journal of the European Union*, L234, 1–47.
- Council of the European Union (2023b): RefuelEU aviation initiative: Council adopts new law to decarbonise the aviation sector. <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/10/09/refueleu-aviation-initiative-council-adopts-new-law-to-decarbonise-the-aviation-sector/>
- DB Schenker (2024): DB Schenker deploys 40 new Volvo FM Electric into its German fleet. <https://www.dbschenker.com/global/insights/news-and-stories/press-releases/db-schenker-deploys-40-new-volvo-fm-electric-into-its-german-fleet-1822826>
- eFUEL-TODAY (2023): Efficiency of e-fuels – How effective are synthetic fuels? <https://efuel-today.com/en/efficiency-of-e-fuels/>
- El-Kharouf, A. (2024): Sustainable aviation fuel – The size of the challenge and opportunity. <https://www.ghd.com/en/insights/sustainable-aviation-fuel---the-size-of-the-challenge-and-opportunity>
- Enerdata (2025): Renewables reached 45% of EU's gross energy consumption in 2023. <https://www.enerdata.net/publications/daily-energy-news/eu-renewables-share-increase-2023.html>
- European Automobile Manufacturers' Association (ACEA) (2023): Fuel types of new trucks: electric 0.6%, diesel 96.6% market share full-year 2022. <https://www.acea.auto/fuel-cv/fuel-types-of-new-trucks-electric-0-6-diesel-96-6-market-share-full-year-2022/>

- European Commission (EC) (2011): White Paper: Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52011DC0144>
- European Commission (EC) (2020): Clean Vehicles Directive. https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/clean-transport/clean-and-energy-efficient-vehicles/clean-vehicles-directive_en
- European Commission (EC) (2023): Decarbonising maritime transport – FuelEU Maritime. https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/maritime/decarbonising-maritime-transport-fueleu-maritime_en
- European Commission (EC) (2025a): Landmark agreement towards achieving net-zero emissions from global shipping by 2050. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_25_1037
- European Commission (EC) (2025b): Supporting clean hydrogen. https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/hydrogen_en
- European Commission (EC) (2025c): Biofuels. https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/biofuels_en
- European Environment Agency (EEA) (2024a): Greenhouse gas emissions from transport in Europe. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emissions-from-transport>
- European Environment Agency (EEA) (2024b): New registrations of electric vehicles in Europe. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/new-registrations-of-electric-vehicles>
- Füri, P. (2024): A megújuló energiaforrások és az atomenergia szerepe a klímacélok elérésében. *Nukleon*, 17(2024), 260.
- H2Accelerate (2025): Paving the way for large scale deployment of hydrogen trucks and the expansion of a hydrogen refuelling network throughout Europe. <https://h2accelerate.eu/trucks/>
- Hepher, T. (2025): Airbus postpones development of new hydrogen aircraft. <https://www.reuters.com/business/aerospace-defense/airbus-postpones-development-new-hydrogen-aircraft-2025-02-07/>
- Herczeg, B. (2024): *A fenntartható energiaátmenet nyomában, az energiatrilemma megítélése az EU villamosenergia-piacának tükrében*. Doktori értekezés, Pécsi Tudományegyetem. <https://pea.lib.pte.hu/server/api/core/bitstreams/c57156df-bb7c-4969-b2d1-454f02113f82/content>
- Holtze, B. (2023): World's first hydrogen-powered ship is powered by Ballard fuel cells. <https://blog.ballard.com/marine/worlds-first-liquid-powered-hydrogen-ship-mf-hydra-is-powered-by-ballards-fuel-cells>
- International Maritime Organization (IMO) (2025): IMO's work to cut GHG emissions from ships. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx>
- International Renewable Energy Agency (IRENA) (2022): *Sector coupling: A key concept for accelerating the energy transition*. https://coalition.irena.org/-/media/Files/IRENA/Coalition-for-Action/Publication/IRENA_Coalition_sector_coupling_2022.pdf
- Jensen, M. (2024): Will future container ships sail on electricity? <https://www.dtu.dk/english/newsarchive/2024/06/will-future-container-ships-sail-on-electricity>
- Jolly, J. (2024): Will hydrogen overtake batteries in the race for zero-emission cars? <https://www.theguardian.com/business/2024/feb/13/will-hydrogen-overtake-batteries-in-the-race-for-zero-emission-cars>

- Lerh, J. (2024): World's first ammonia-fuelled PSV ship to operate in 2026, says Wartsila. <https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/worlds-first-ammonia-fuelled-psv-ship-operate-2026-says-wartsila-2024-08-26/>
- Lits, C. (2023): The rise of solar PV in the EU – key facts. <https://www.solarpowereurope.org/insights/interactive-data/total-eu-27-solar-pv-capacity-a-growth-story>
- Makronóm Intézet (2025): Áttörés a tórium terén: az atomenergia új korszakán állunk. <https://makronom.eu/2025/04/25/torium-uj-korszak-atomenergia/>
- Meintz, A. (2025): *Electric vehicle grid impact analysis and smart-charge management*. <https://www2.nrel.gov/transportation/managed-electric-vehicle-charging>
- Molliere, M. (2025): Half of new EU city buses were zero-emission in 2024. <https://www.transportenvironment.org/articles/half-of-new-eu-city-buses-were-zero-emission-in-2024>
- Navarrete, A. – Zhou, Y. (2024): The price of green hydrogen: How and why we estimate future production costs. <https://theicct.org/the-price-of-green-hydrogen-estimate-future-production-costs-may24/>
- NORLED (2025): MF Ampere marks its 10th anniversary – a world first that started a green revolution. <https://www.norled.no/en/nyhet/mf-ampere-marks-its-10th-anniversary-a-world-first-that-started-a-green-revolution/>
- Osipova, L. – Carraro, C. (2023): Shore power needs and CO₂ emissions reductions of ships in European Union ports: Meeting the ambitions of the FuelEU Maritime and AFIR. <https://theicct.org/publication/shore-power-eu-oct23/>
- SkyNRG (2023): Disentangling ReFuelEU: How will it shape the SAF market? <https://skynrg.com/refueleu-how-it-will-shape-the-saf-market/>

Szerző(k)

Harján Dávid

ORCID [0009-0005-0835-7033](https://orcid.org/0009-0005-0835-7033)

PhD hallgató

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gazdaság - és Regionális Tudományok

Doktori Iskola

E-mail: harjan.david@phd.uni-mate.hu

Nagy Mónika Zita

ORCID [0000-0003-0847-190X](https://orcid.org/0000-0003-0847-190X)

PhD

egyetemi docens

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Agrár- és Élelmiszergazdasági Intézet

E-mail: Nagy.Monika.Zita@uni-mate.hu

Bertalan Péter

ORCID 0000-0002-3736-2334

PhD

tudományos főmunkatárs

VERITAS Történetkutató Intézet és Levéltár

E-mail: drbertalanp@gmail.com

A műre a Creative Commons4.0 standard licenc alábbi típusa vonatkozik:

[CC-BY-NC-ND-4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

This work is licensed under a

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

