

Hancsók Jenő

■ Pannon Egyetem, MOL Ásványolaj- és Széntechnológiai Intézeti Tanszék | hancsokj@almos.uni-pannon.hu

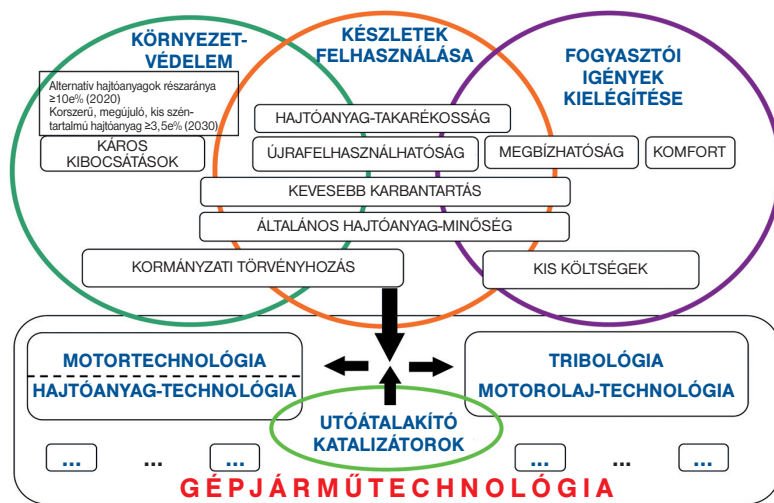
# Mobilitás és klímaváltozás (környezetszennyezés) rendszerszemléletben

## Bevezetés

A mobilitás a fenntartható fejlődés egyik, a teljes szárazföldi, vízi és földközeli légtérre kiterjedő alappillére. A mobilitás tárgyi eszközeit – több mint 100 éve és jelenleg is – döntő részarányban belső égésű motorok hajtják, megfelelő áttételeken (hajtásláncon) keresztül. Természetesen a mobilitás megvalósítására több más erőgép és azok kombinációja is alkalmas, de ezek egyértelműen számos műszaki, gazdasági és komfort-hátránnyal működnek. Az utóbbi kb. 20 évben a fenntarthatósági kritériumok között egyre inkább előtérbe került a teljes életciklusú emisszió figyelembevétele. Ennek fő oka a fokozódó mobilitással (közlekedés és szállítás) járó, állandóan növekvő teljes életciklusú (összes) károsanyag-kibocsátás, és így az egyre nagyobb környezetterhelés. Történt ez annak ellenére, hogy a mobilitás területén számos, környezetvédelmi szempontot alapvetően figyelembe vevő intézkedés született és a tárgyi eszközökön is jelentős műszaki fejlesztéseket végeztek.

A károsanyag-kibocsátás számos tényező összességéből tevődik össze, illetőleg azok függvényében alakul (például belső égésű motorok esetében lásd az **1. ábrát** [1]). A szárazföldi mobilitás esetében ilyenek például:

- a mobilitás tárgyi eszközeinek meghajtási láncja, ezen belül:
- a motor kialakítása,
- a motorhajtóanyag minősége,
- a motorolaj minősége,
- az előzőek kölcsönhatása,
- a fékrendszer kopási gyakorisága stb.,
- a jármű kialakítása,
- az utóátalakító katalitikus rendszerek,
- a szállítás/közlekedés külső feltételei,
- az utak minősége (egyenletesség, megfelelő tapadás),



1. ábra. A károsanyag-kibocsátást befolyásoló fontosabb tényezők belső égésű motorok alkalmazásakor [1]

- az utak tisztasága (hozzájárulás a károsrészecske-képződéshez, porképződéshez; fő alkotók: gumiabroncs és fékbetét, aszfaltkopadék, nagyméretű égéstermékek lerakódása stb.),
- a közlekedési szabályok,
- a megengedett sebesség,
- a forgalom és a közlekedés irányításának korszerűsége,
- a gépjármű és alkotóinak újrahasznosíthatósága (gumiabroncsok stb.).

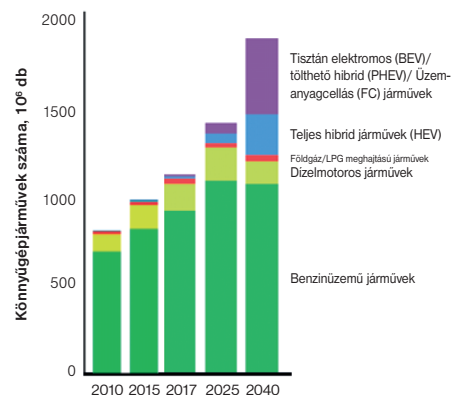
A gyakorlatban a felsoroltak közül több tényezőt még nem vesznek figyelembe, mivel jelenleg még nem tartják őket fontosnak vagy gazdaságilag kezelhetőnek.

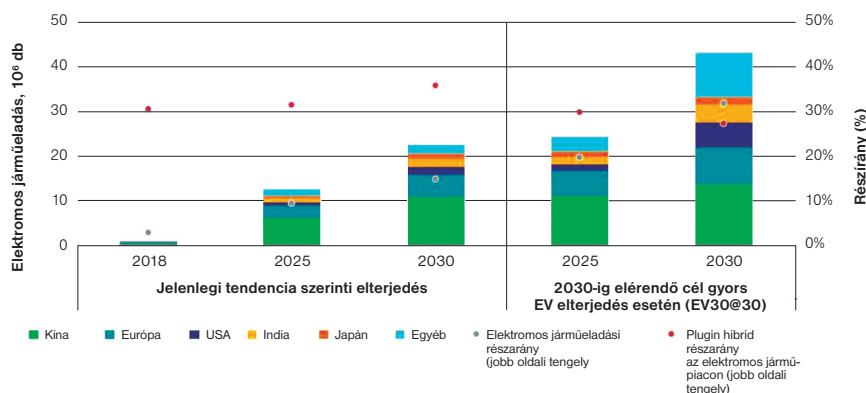
## A mobilitás gépjármű-állományának alakulása

A világon jelenleg a szárazföldi, a légi és a vízi közlekedésben/szállításban döntő részarányban (> 80–85%) a belső égésű motorokkal meghajtott járműveket használják, és ez a tendencia megmarad kb. 2040-ig. Ér-

zékkelhető változás csupán a könnyűgépjárművek (főleg személygépjárművek) esetén várható az elektromos meghajtás elterjedésének függvényében. A személygépjárművek/könnyűgépjárművek esetén ezt jól tükrözi a **2. és 3. ábra** [2, 3] és az **1. táblázat** [4]. A világon eladott új személygépjárművek száma a 2009. évi kb. 70 millióról 95 millió

2. ábra. A könnyű gépjárművek számának változása típusok szerint a világon [2]





3. ábra. Az elektromos járművek értékesítése és részaránya a kiválasztott régiókban és országokban [3]

Év	Kína	USA	Norvégia	Németország	Nagy-Britannia	Franciaország	Hollandia
2017	577 000	194 500	62 300	54 500	48 000	36 800	9 000
2018	1 155 000	361 000	73 000	68 000	52 000	46 000	27 000

1. táblázat. Az új elektromos személygépjárművek értékesítése a fontosabb piacokon [akkumulátoros gépjárművek és hálózatról tölthető hibrid (PHEV) gépjárművek együtt] [4]

főlé nőtt 2018-ban. A korábbi, közel kizárólagosan belső égésű motorokkal meghajtott személygépjárművek mintegy 50%-a valamilyen elektromos meghajtás felé tolódott el. Ugyanakkor az új elektromos meghajtás (NEV) részaránya a világ teljes személygépjármű-értékesítésének csak 2%-a.

Kínában a 2018-ban eladott több mint 23 millió személygépjárműből az új elektromos autók száma már 1 millió feletti, megközelíti az értékesítés 5%-át. Észak-Amerikában az eladott 17 millió személygépjármű alig 1,5%-a volt új elektromos autó 2018-ban. Európában 2018-ban a dízelgépjármű-

vek kereskedelme csökkent, de az eladott személygépjárművek több mint 92%-ának meghajtására csak hagyományos belső égésű motort használnak. Az elektromosan tölthető járművek részaránya csak 2% volt. A benzín-üzemű személygépjárművek részaránya 55,8%, a dízeleké 36,7%, a tisztán elektromos (BEV) járművéké 0,9%, a hálózatról tölthető hibrideké (plug-in hybrid) 1,1% volt, míg a többi hibridjárművé (HEV) 4,7% [5].

A haszongépjárművek és az áruszállító hajók (vízi szállítás) továbbra is döntő részarányban (> 98–99%) szakaszos, a repülőgépek pedig folyamatos működési elvű bel-

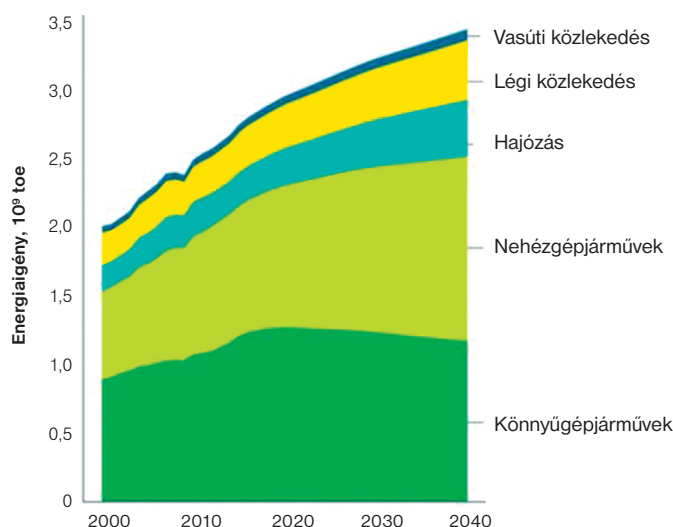
ső égésű motorokkal járnak. Ez a tendencia lesz jellemző kb. 2040-ig. Mindhárom szállítási móddal szemben folyamatosan nőnek az igények, ezzel együtt nő a járműflották nagysága is [6–8]. A légi forgalomban nemcsak a személy-, hanem az áruszállítás is – természetesen ingadozásokkal – növekedni fog [9–10].

## A mobilitás energiaigénye

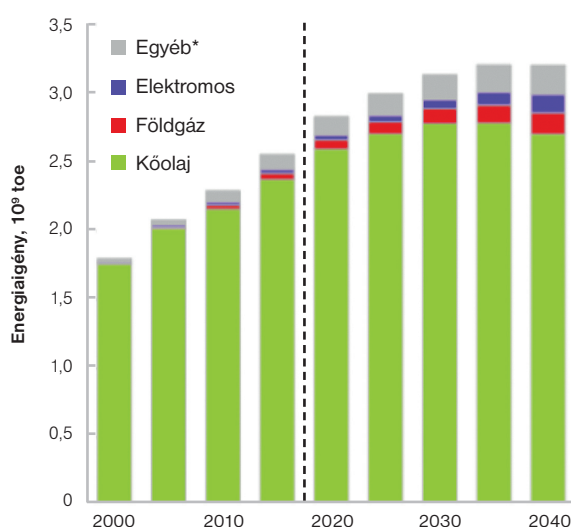
Az előzőknek megfelelően alakul a közeljövőben (kb. 2040-ig) a mobilitás károsanyag-kibocsátását alapvetően meghatározó elsődleges, másodlagos és harmadlagos energia-hordozók felhasználása is. A különböző szállítási módok motorhatóanyag-energiaigényének alakulásából (4. ábra) [2] megállapítható, hogy mindegyik esetben egyértelmű növekedés várható, kivéve a könnyű gépjárműveket kb. 2020–2025 után. Az energiaigény legnagyobb mértékben várhatóan a nehézgépjárműveknél, valamint a légi és vízi szállításban nő 2018 és 2040 között. A 2020 évi világválság miatti átmeneti visszaesés után értéke elérheti a 40%-ot is. A kereskedelmi célú szállítás a világ valamennyi régiójában növekedni fog, különösen Ázsia, Óceánia térségében. A legkisebb változás Európában és Észak-Amerikában várható [2].

Az elsődleges energia-hordozók szállítási célú felhasználását tekintve továbbra is egyértelműen a kőolaj a vezető szerep (5. ábra) [11]; részaránya elérheti, illetőleg meghaladhatja a 80%-ot is. Az alternatív motorhatóanyagok részaránya várhatóan 10% körüli lesz 2040-re (noha a biohatóanyagoké – a legnagyobb mennyiségben alkalmazott bioetanolé és biodízelé – 2019-ben még nem érte el a 4%-ot) [12].

4. ábra. A szállítási módok energiaigényének alakulása a világon [2] toe: tonna kőolaj-egyenérték



5. ábra. A szállítás energiaigénye/felhasználása energia-hordozók szerint a világon [11] Egyéb\*: biohatóanyagok, szénhidrogének megújuló elektromos árammal előállított H<sub>2</sub> és CO/CO<sub>2</sub> reakciótermékei



## A mobilitás környezetszennyező hatásai

Az előzőekben áttekintett különböző szállítási módok eltérő környezetszennyezéssel járnak. Ezt számos tényező együttes hatása befolyásolja, illetőleg határozza meg. Ezek közül a legfontosabbak a következők:

- a járművek száma, teljesítménye és általános korszerűsége,
- a motorok/hajtáslánc korszerűsége, utóátalakító katalitikus rendszerek (ha egyáltalán ezek alkalmazása szükséges),
- a jármű kialakítása (pl. alak, tömeg),
- a hajtóanyagok és kenőanyagok minősége,
- a gumiabroncsok minősége (ha van ilyen),
- a jármű karbantartottsági állapota,
- a jármű újrahasznosíthatósága, esetleges részleges megsemmisítése,
- direktívák, irányelvek, szakmai szervezetek ajánlásai, szabványok, törvények, rendeletek stb.

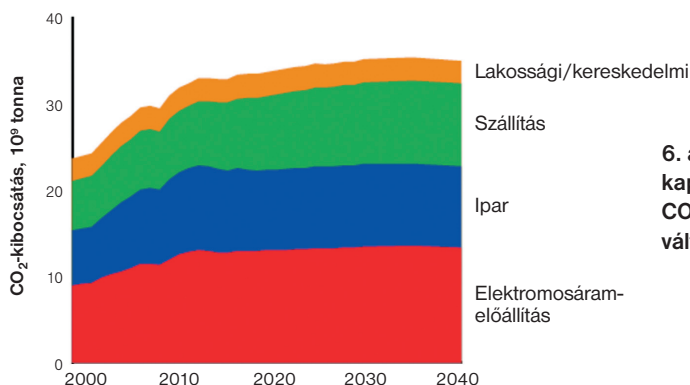
A **6. ábra** jól érzékelteti, hogy a szállítási szektor is hozzájárul a szén-dioxid-kibocsátás növekedésének fékezéséhez [2]. Ez az ábra egyértelműen szemlélteti azt is, hogy 2040-re a szállítás okozza a második legnagyobb CO<sub>2</sub>-kibocsátást (az elektromos áram előállítása után). Részaránya kb. 25% lesz. A mérsékelt emelkedés oka egyértelműen a kereskedelmi (áru)szállítás növekedése.

A könnyűgépjárművek CO<sub>2</sub>-kibocsátásának csúcsát 2020–2025-re jósolják. Ezt kb. 15%-os csökkenés követi, a sokkal hatékonyabb hagyományos járművek és az elektromos személygépjárművek részarányának növekedése miatt.

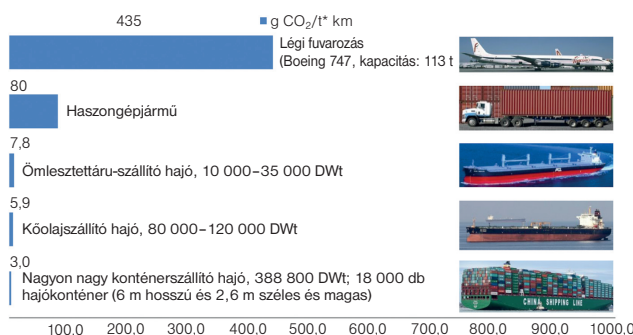
A légi fuvarozás (légi szállítás) tonnára és kilométerre (t × km) vonatkoztatott CO<sub>2</sub>-kibocsátása a legkisebb (**7. ábra**) [13]. Természetesen nemcsak a CO<sub>2</sub>-kibocsátást kell figyelembe venni a káros anyagok közül, hanem például a kén-oxidokét (**2. táblázat**) [1,14], a nitrogén-oxidokét és a részecskéket is. Ezek mind károsak az élőlényekre és a környezetre.

**2. táblázat. A különböző motorhajtóanyagok kéntartalma a fejlett régiókban (szabványok és egyéb előírások)**

Motorhajtóanyag	Kéntartalom, mg/kg(legfeljebb)
Motorbenzin	10,0
Dízelgázolaj	10,0
Sugárhajtóműüzemanyag	3000
Áruszállító hajók	35 000 (2019-ig), 5000 (2020-tól)



**6. ábra. Az energiához kapcsolódó CO<sub>2</sub>-kibocsátás változása a világon [2]**



**7. ábra. CO<sub>2</sub>-kibocsátás különböző szállítási módok esetén (jellemző adatok) [13]**

DWT: dead-weight ton = hordképesség (tonna). Az a tömeg (beleértve az üzemanyagot, a ballasztvizet, személyzetet stb., de a hajótest tömegét nem), amit a hajó képes elszállítani

A vízi és légi szállítás üzemanyagainak szabványokban és szakmai szervezetek által előírt kéntartalma (legfeljebb 3,5%, újabban 0,5%, illetőleg 0,3% = 3000 mg/kg) lényegesen nagyobb, mint a szárazföldi szállítás hajtóanyagaié (motorbenzinek/dízelgázolajok kéntartalma a világ fejlett régióiban, így az EU-ban is legfeljebb 10,0 mg/kg). Ezért nagyon jelentős is lehet a vízi és légi szállítás kén-dioxid-kibocsátása.

A kőolajeredetű hajtóanyagokon túl egyre nagyobb mennyiségben használnak különböző alternatív alapanyagokból, olykor nagyon eltérő kémiai elveken működő eljárásokkal (**8. ábra**) előállított, megújuló motorhajtóanyagokat [15].

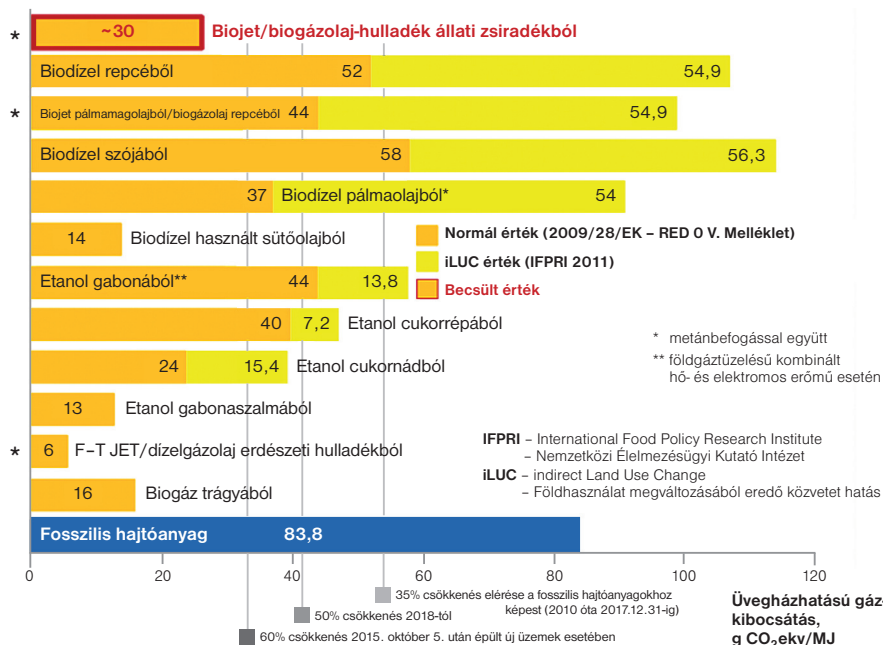
A **9. ábrán** [16] néhány mezőgazdasági

eredetű hajtóanyag teljes életciklusra vonatkoztatott, üvegházhatásúgáz-kibocsátásának adatai láthatók. Az adatok szerint a motorhajtóanyagok károsanyag-kibocsátása lényegesen kisebb a fosszilis nyersanyagokból előállított hajtóanyagokénál. A földhasználat megváltozásából eredő közvetett negatív hatás is csak az étkezési célú alapanyagokból előállított hajtóanyagok esetén kedvezőtlen. Az erdészeti hulladékokból származó szintézisgázból Fischer–Tropsch-szintézissel előállított sugárhajtómű-üzemanyag (JET) és/vagy dízelgázolaj károsanyag-kibocsátása a legkisebb, amit az egyéb hulladékokból kapott termékeké követ. Az adatok alapján a biológiai, ezen belül elsősorban a hulladékeredetű hajtóanyagok alkalmazása

**8. ábra. Az alternatív motorhajtóanyagok javasolt osztályozása felismerésük és alkalmazásba vételük időpontja szerint, a teljesség igénye nélkül [15]**

GENERÁCIÓ			
első	második	harmadik	negyedik
<ul style="list-style-type: none"> <li>• bioetanol</li> <li>• növényolajok</li> <li>• biodízelek</li> <li>• előzőek + kőolaj-alapú hajtóanyagok elegyei</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bioparaffinok (zsírsavak/zsírsav-észterek hidrogénezése és izomerizálása)</li> <li>• bioetanol lignocellulózból</li> <li>• biobutanol</li> <li>• biokomponensek molekulaalkotóként (bio-ETBE)</li> <li>• biometán (biogáz)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• szintetikus bio-motorhajtóanyagok szintézisgázból (bioetanol is)</li> <li>• szintetikus benzin és gázolaj (lepárlási bioolajok hidrokraakolása)</li> <li>• bioparaffinok szénhidrátokból</li> <li>• dimetil-éter (DME)</li> <li>• szintetikus biometán</li> <li>• elektromos áram alternatív forrásokból</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• biohidrogén</li> <li>• biometanol</li> <li>• e-motorhajtóanyagok (megújuló elektromos áram felhasználásával)</li> <li>• γ-valero-lakton</li> <li>• még nem ismertek</li> </ul>





9. ábra. Agráreredetű motorhajtóanyagok teljes életciklusú üvegházhatásúgáz-kibocsátása

tekinthető fenntarthatónak. Ugyanakkor az agrárnyersanyagok szűkös rendelkezésre állása miatt, ami alól csak a lignocellulózok kivételek, még több évtizedig fontos lesz a kőolajból történő előállítás is.

A közlemény további részében a mobilitás megvalósításának néhány fontosabb elemét tekintjük át – a teljesség messzemenő igénye nélkül.

### Az elektromobilitásról röviden

Az elektromobilitás, azaz élőlények és áruk szállítása részben vagy kizárólag elektromos meghajtással, napjaink egyik népszerű és sok vitát kiváltó témaköre. Az elektromos járművek főbb típusait – a műszaki ismeretek jelenlegi szintjén – a 3. táblázat sorolja fel.

Az elektromos járművek elterjedését közismert módon az akkumulátorok kis teljesí-

tőképessége és magas ára korlátozza és még ma is korlátozza. Némi áttörést tett lehetővé a lítiumion-akkumulátorok (viszonylag nagy tárolási kapacitás/energiasűrűség, kis mértékű önkisülés stb.) felismerése és folyamatos fejlesztése. Természetesen az elektromobilitás megvalósításának és széles körű elterjedésének további előfeltételei is vannak:

- a meghajtástechnológia magas színvonalú kifejlesztése,
- a töltésinfrastruktúra és a hálózati integráció megléte,
- szabványosítás és dokumentálás,
- anyagok és újrahasznosítás,
- fejlesztések és minősítés,
- a keretfeltételek megléte.

Az elektromos járműmeghajtás főbb előnyei a következők:

- energiahatékony (> 90%, belső égésű motoroké legfeljebb 40%),

- az alkalmazás közvetlen környezetében emissziómentes,
- az első fordulatoktól kezdve nagy forgatónyomatékkal rendelkezik és nagy fordulatszám-tartományt ölel fel,
- csendes (ez hátrány is lehet),
- a tisztán elektromos járművek egyszerű felépítésűek, könnyen szabályozhatók és kis karbantartásigényűek,
- ideális esetben, ha az akkumulátor feltöltéséhez megújuló forrásból előállított elektromos áramot használunk, akkor az elektromos jármű teljes életciklusú emissziója sem jelentős (10. ábra) [17].

Az elektromos járművek/meghajtások főbb hátrányai az alábbiak:

- beruházási (bekerülési) költségei nagyok,
- a hatótávolság korlátozott, és viszonylag hosszú az akkumulátorok töltésének ideje (de általában elegendő az egy-napos városi/rövid távú közlekedéshez).

### A hibridjárművek

#### (Hybrid Electric Vehicle: HEV)

A hibridjárművek (pontosabban az EU-irányelv szerint hibrid-elektromos járművek) az IEC/TC69 szerinti definíció értelmében:

- két különböző energiaátalakítót, tehát például egy elektromotort és egy belső égésű motort vagy ez utóbbi helyett üzemanyagcellát, valamint
- két különböző energiatárolót, például akkumulátort és benzintartályt vagy akkumulátort és hidrogéntartályt tartalmaznak meghajtás céljából.

Ezzel a „vegyes” meghajtással ki lehet használni a két különböző elv előnyeit, és egyidejűleg el lehet kerülni a rájuk jellemző hátrányokat. Így a belső égésű motor garantálja a nagy hatótávolságot, ami a tisztán elektromos járműveknél még hiányzik.

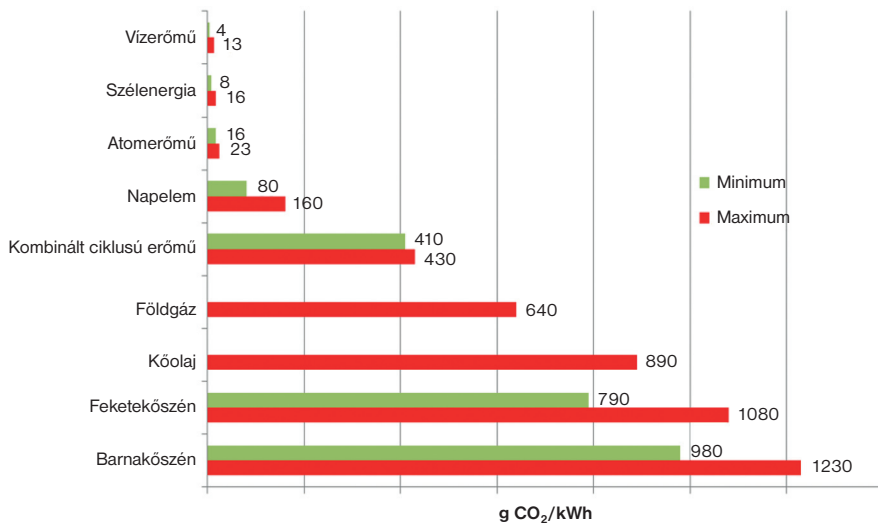
3. táblázat. Az elektromos járművek főbb típusai

A jármű típusa	Leírás
(„Tiszta”) Elektromos jármű (BEV: Battery Electric Vehicle)	Meghajtás elektromotorról és hálózatról feltölthető akkumulátorral
Elektromos jármű hatótávolság-növeléssel (REEV: Range Extended Electric Vehicle)	Elektromos jármű kiegészítő belső égésű motorról vagy üzemanyagcellával az akkumulátor (menet közbeni) feltöltésére
Hibridjármű (HEV: Hybrid Electric Vehicle)	Belső égésű motor és elektromotor egy járműben; az akkumulátor hálózatról nem tölthető
Hálózatról tölthető hibridjármű (PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicle)	Elektromotoros és belső égésű motoros meghajtás kombinációja; az akkumulátor hálózatról feltölthető
Üzemanyagcellás jármű (FCEV: Fuel Cell Electric Vehicle)	Elektromos áram előállítása üzemanyagcellával a jármű fedélzetén
Üzemanyagcellás hibridjármű (FCHEV: Fuel Cell Hybrid Electric Vehicle)	Elektromotor és üzemanyagcella az energiaellátáshoz

### Az Európai Unió előírásai a CO<sub>2</sub>-kibocsátás csökkentésére

Az Európai Bizottság (EC) hosszú távú stratégiát alakított ki az átfogó klímaakcióra, és felismerte annak a fontos szerepét, hogy a kis szénatomtartalmú (tulajdonképpen a teljes életciklus alatt kis karbonkibocsátású) hajtóanyagok, főleg a biohajtóanyagok fontos szerepet játszanak a szállítási szektor szénkibocsátásának csökkentésében.

A 2009-ben bevezetett Megújuló Energia Direktíva/Irányelv (Renewable Energy Directive: RED I.) a tagállamoktól – jellemzően nemzeti energiacélként – kérte a megújuló energia legalább 10% részarányának elérését a közúti és vasúti szállításban 2020-ra.



10. ábra. Különböző energiahordozók CO<sub>2</sub>-mérlege elektromos áram előállításakor [17]

EU-átlagban 2019-ben ettől még kb. 2% volt az elmaradás.

A RED II. irányelv új kihívásokat tartalmaz. A Párizsi Egyezmény a CO<sub>2</sub>-kibocsátás csökkentésére vonatkozó klímacéljával összhangban megalkották a Renewable Energy Directive II. (RED II.) leírását. Ebben a fejlett biohajtóanyagok célértéke 3,5%, amit közel húszféle, előre definiált alapanyagból lehet előállítani. Ezek főleg biomassza-maradékok és -hulladékok, de nincs köztük a használt sűtőolaj, valamint az 1 és 2 kategóriájú zsiradék.

Az elektromobilitás egyik fő hajtóereje a légkör CO<sub>2</sub>-tartalmának csökkentése. A széndioxid közismert üvegházhatású gáz (ÜHG), amely az atmoszférába jutva hozzájárul a káros klímafelmelegedéshez. A mobilitás lényegesen növeli a légköri CO<sub>2</sub>-koncentrációt, ezért 2008 decemberében az EU rendeletet hozott az új személygépjárművek CO<sub>2</sub>-emissziójának csökkentésére, amit 2009. április 23-án véglegesítettek. 2013-ban az előírásokat tovább szigorították: valamennyi újonnan eladott gépjárműnél flottaátlagként legfeljebb 95 g CO<sub>2</sub>/km szén-dioxid-kibocsátás a megengedett határérték.

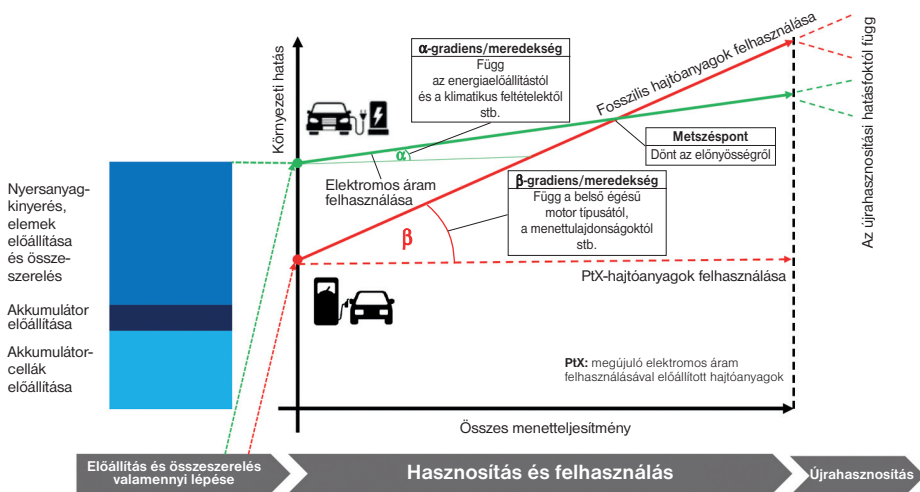
A szakemberek véleménye szerint új műszaki megoldásokkal az ilyen mértékű csökkentés gyorsan nem biztosítható. Ezen a problémán segít az elektromos járművek eladása: az EU ugyanis rögzítette, hogy a tisztán elektromos autókat a flottaátlagérték számításakor 0 g CO<sub>2</sub>/km kibocsátással kell figyelembe venni. E vonatkozásban a „plug-in” hibridjárműveknek is lényeges előnyei vannak, mivel ezeknél is csökkenteni lehet a CO<sub>2</sub>-emissziót az elektromos autóként való alkalmazás hatótávolságának függvényében. Ez tehát azt jelenti, hogy minél nagyobb egy járműgyártó által előállított tisztán elektromos gépjárművek és „plug-in” hibridek rész-

aránya az újonnan gyártott gépkocsik között, annál könnyebb biztosítani az előírt CO<sub>2</sub>-határértékeket.

Az EU-személygépjárművek flottaátlagos károsanyag-kibocsátása 2012-ben 130 gramm CO<sub>2</sub>/km volt. 2020/2021-re a már említett 95 gramm CO<sub>2</sub>/km flottaátlag cél, ami a világon az egyik legszigorúbb. Ennél kisebb értéket csak Japánban írtak elő (90 gramm CO<sub>2</sub>/km). Az EU-ban 2025-re 70 gramm CO<sub>2</sub>/km értéket, majd hosszú távon 50 gramm CO<sub>2</sub>/km kibocsátást terveznek. Ezek a határértékek egyértelműen a gépjárművek és építőelemeik technológiai változását is jelentik. Ez természetesen magában foglalja a hajtó- és kenőanyagok fejlesztését is [5].

A tisztán elektromos és a belső égésű motorral szerelt személygépjárművek teljes életciklusú elemzésének vázlatos összehasonlítása a CO<sub>2</sub>-semleges mobilitás megvalósítása szempontjából a 11. ábrán látható [18].

11. ábra. Akkumulátoros és belső égésű motorral szerelt személygépjárművek teljes életciklusának elemzése [18] Átállás a teljes életciklus alatt (LCA) semleges üvegházhatású gáz-kibocsátással megvalósuló mobilitásra szén-dioxid-semleges hajtóanyagok bevezetésével (a CO<sub>2</sub>-semleges előállításra/gyártásra való párhuzamos áttérés mellett)

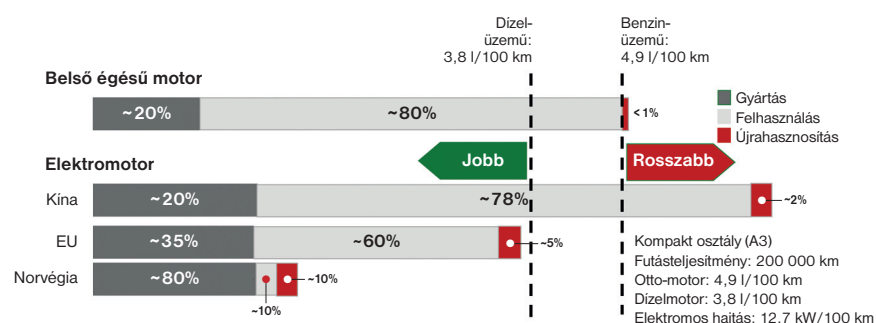


A 11. ábrából egyértelműen megállapítható, hogy a káros környezeti hatások alapvetően a jármű gyártásának ÜHG-hatásától, továbbá a meghajtáshoz szükséges energiahordozótól függenek. Hosszú távon sok esetben döntő lehet az α és β szög értéke. (Természetesen az akkumulátor előállításának környezeti hatása még számos más tényezőtől is függ.)

A kis, közepes és nagyméretű személygépjárművek teljes életciklusú gázkibocsátásának összehasonlításakor megállapították, hogy a személygépjárművek méretének növelésével a különböző elektromos meghajtási módok esetében (PHEV, BEV) egyre nagyobb mértékben csökken a CO<sub>2</sub>-kibocsátás. A megtakarítás értéke megközelíti a 70%-ot a belső égésű motorral szerelt személygépjárművekéhez képest. Sőt a BEV teljes életciklusú üvegházhatásúgáz-kibocsátásának megtakarítása a kisebb méretű gépjárművek esetén is kedvezőbb [3].

A belső égésű motorral, illetve elektromotorral meghajtott személygépjárművek károsanyag-kibocsátásának megoszlását a gyártástól az újrahasznosításig a 12. ábra szemlélteti. Az elektromotorok esetében a hajtóanyag-felhasználás miatti kisebb emissziót (EU, Norvégia) az elektromos áram előállításának növekvő megújuló és nagyobb hatásfokú előállítása okozza. Ez az ábra is azt sugallja, hogy nem a meghajtás a döntő a fenntarthatóságot illetően, hanem a gépjármű előállításának költsége és ÜHG-hatása, továbbá a meghajtáshoz szükséges energiahordozó milyensége [19].

A felhasználók számára rendelkezésre álló elektromos áram különböző forrásokból származhat. Az egyes országokban és térségekben (EU) általában egy „áramegylet” (áram-



12. ábra. A különböző járművek fenntarthatósága (ÜHG-részarányok) [19]

palettára) érvényes átlagos hatásfokot és fajlagos CO<sub>2</sub>-kibocsátást határoznak meg.

### A szén-dioxid mint a megújuló hajtóanyag-előállítás egyik alapanyaga

A hagyományos hajtóanyagok különböző szénhidrogének komplex elegyei; ezek felhasználásakor – többek között – CO<sub>2</sub> is keletkezik. Ha ezt a „terméket” ismét be tudják vinni a hajtóanyag-előállítás folyamatába, akkor egy zárt körfolyamat, ezáltal üvegházhatásúgáz-semlegesség alakul ki. A CO<sub>2</sub> ekkor fenntartható nyersanyagként tekinthető.

A nap- és szélenergia alkalmazása az elektromosáram- és hőelőállításban versenyképes technológiák fejlesztéséhez járult hozzá. Ezen megújuló energiaforrások felhasználásával víz (hidrogén) és CO<sub>2</sub> kémiai átalakításával szintetikus hajtóanyagokat lehet előállítani. A rendszeranalízisek során kiderült, hogy a CO<sub>2</sub> rendelkezésre állása lényegesen drágább, mint a vízé, és döntő tényező a klímaegyensúlyban [20].

Egyes vélemények szerint a szintetikus hajtóanyagok csak akkor lehetnek fenntarthatók, ha az égéskor keletkező szén-dioxidot előzetesen az atmoszférából nyerték ki. A szektorkapcsolatok területén élénk vita van, hogy vajon előnyös CO<sub>2</sub>-mérleg adódik-e akkor is, ha a megújuló energiával egy hajtóanyagot szintetizálunk, és ehhez az erőmű füstgázából származó fosszilis szén-dioxidot használunk fel. Vannak pozitív [21] és negatív [20] válaszok is. Mindenesetre az igaz, hogy a CO<sub>2</sub>-körfolyamat csak a CO<sub>2</sub> levégőből történő leválasztása esetén lesz zárt.

### Összefoglalás és jövőkép

A jövőben a személygépjárművek által felhasznált motorhajtóanyagok energiatartalomra átszámított mennyisége jelentősen csökkenni fog a technológiai fejlesztések következtében, ugyanakkor az áruszállítás nö-

vekedése összességében növeli a mobilitás energiafelhasználását.

Az alternatív energiák tárolását feltétlenül meg kell oldani mind a szél-, mind a naperőművek esetében; az állandó, megszakításmentes energiaellátás biztosítására az időszakonkénti felesleges energiát hatékonyan tárolni kell. Ez többnyire napokat, heteket és különleges esetekben hónapokat is igényelhet. Fontos szempont, hogy az elektromos energia tárolásakor mindig valamilyen anyagátalakítás (Power-to-X; például hidrogén, metán, metil-alkohol, cseppfolyós szénhidrogének) szükséges [18].

Minden átalakító eljárás esetén biztosítani kell a környezeti összeférhetőséget. Az energiatárolás sűrűségét tekintve valamilyen jelenlegi hajtóanyag, a hidrogén, a metán, a metanol vagy a hagyományos cseppfolyós hajtóanyagok kedvezőbbek, mint az akkumulátorok. Az akkumulátorok tömege, szemben a hajtóanyagtartályok tömegével, nem csökken a jármű használatakor, mert valamilyen reakciópartner és termék abban van. Ugyanakkor a jármű fékezésekor az energiát vissza lehet nyerni és tárolni lehet. Kisebb gravimetrikus és térfogati energiasűrűsége miatt a járműüzemhez szükséges energia tárolása egy akkumulátorban a jármű tömegét nagyon jelentősen megnöveli.

Ez is fontos oka annak, hogy a részben vagy teljesen a szintetikus hajtóanyagok jó ideig nélkülözhetetlenek lesznek. Különösen a cseppfolyós, nagy hidrogéntartalmú hajtóanyagoknak nagy az energiasűrűségük, amit a szállítási szektor számos esetben megkövetel és meg is fizet. Ez különösen érvényes a nehézgépjárművekre és a hosszú távolságon történő felhasználásra, továbbá a tengeri hajószállítás és a repülőgépek esetében. Ennek megfelelően a szintetikus motorhajtóanyagokat úgy kell előállítani, hogy azok minőségi és anyagi tulajdonságai a fosszilis hajtóanyagokéhoz viszonyítva a motorikus égés szempontjából előnyösebbek legyenek (alapemisszió – a katalizátor előtt –, hatékonyság), és így csökkentik a károsanyag-kibocsátást.

Gazdasági szempontból e hajtóanyagok kiemelkedő előnye, hogy a jelenlegi járműflottában is alkalmazhatóak. Ez lehetőséget ad az üvegházhatású gázok csökkentésére, és hozzájárul a meglévő járműállomány értékének megőrzéséhez is. További előny a meglévő, teljes lefedettséget biztosító infrastruktúra, a logisztika, az ellátási hálózat és a biztonságtechnika.

A megújuló hajtóanyagokat különböző eljárásokkal lehet előállítani. Több esetben a hidrogén előállítására is elektromos áramot használnak. Ha a hidrogén előállítására használt elektromos áram megújuló forrásból származik, akkor a keletkező hajtóanyag klíma-semleges. További előny: az így előállított „zöld” hidrogént fel lehet használni vagy további E-hajtóanyagokat lehet belőle gyártani.

A napenergia energetikai hasznosítására alkalmas, nagyipari berendezések létesítése a megfelelő európai helyeken, illetve Európához közel észszerű és kézenfekvő alternatíva lehet. Európa déli területein kívül Észak-Afrika nagy, beépítetlen szabad részei is szóba jöhetnek. Részletes elemzések szerint egy kb. 300 km × 300 km-es észak-afrikai területről fedezni lehetne a világ teljes energiaigényét [18]. Az átalakított napenergiát gázként (hidrogén) vagy folyadékként (metanol, E-hajtóanyag) a meglévő szállítórendszerekkel (csővezetékek, hajók stb.) el lehetne juttatni a felhasználási helyek közelébe, ahol a hajtóanyagokat – további átalakításokkal – a mindenkori piaci igényekhez lehetne igazítani.

Az EU Bizottság klímacéljait, az infrastrukturális és gazdasági peremfeltételeket, továbbá a végfelhasználók oldaláról felmerülő piaci követelményeket is figyelembe véve, az alkalmazási esetektől függően részben időben eltolt, három súlyponti meghajtólánc-technológia rajzolódik ki [18]:

- az új könnyű és közepes méretű járművek esetén tisztán akkumulátoros és hibridizált meghajtórendszerekre való áttérés,
- az új és nagyobb/nehezebb járműveknél a hidrogénalapú üzemanyagcellák mint hosszú távú megoldások (a hidrogénnel üzemelő belső égésű motorok is szóba jöhetnek átmeneti megoldásként),
- más széles felhasználási területek és a meglévő járműflották esetén a CO<sub>2</sub>-semleges hajtóanyagok felhasználása tűnik a legmegfelelőbbnek, adott esetben továbbfejlesztett belső égésű motorokkal való kombinációban.

Összességében a jövő elektromosan akkumulátorokkal, üzemanyagcellákkal és E-hajtóanyagokkal megvalósított, vegyes meghajtású mobilitással képzelhető el. Csak szé-



les energia- és technológiapalettával lehet a szállítást és a közlekedést korszerűen átállítani, az új rendszert hatékonyan bevezetni és a piac által elfogadtatni. Ugyanakkor egyre többen sürgetik a személygépjárművek számának csökkentését, hogy elkerüljük a „közlekedési és klímainfarktust”. Ehhez természetesen sokkal több tömegközlekedési lehetőségre és lényegesen bővített infrastruktúrára van szükség, különösen kerékpárok részére. A szállítási szektorban a fő hangsúly a *vasútra* helyeződhet át. *Ennél a szállítási formánál persze hosszabbak a változtatási ciklusok is.*

Természetesen addig is, amíg ezek az elképzelések megvalósulnak, a lehető legnagyobb mértékben csökkenteni kell az üveg-házhatásúgáz-kibocsátást. Ez alapvetően az eddig széles körben elterjedt és meglévő, belső égésű motorokat alkalmazó járműflották esetében nagy hidrogéntartalmú motorhajtóanyagok felhasználását feltételezi. Ezek részben vagy teljes egészében a meglévő kőolajfinomítói technológiákkal és/vagy azok célirányos módosításával, másrészt kisebb mértékben zöldmezős beruházásokkal (amelyek a későbbi jövőben átalakíthatóak PtX-üzemekké) állíthatók elő.

Az elektromobilitás nagyon jó megoldás olyan országokban, amelyek készen állnak megújuló vagy nukleáris úton történő elektromos áram környezetbarát és olcsó előállítására. Más országok számára, amelyekben nagy szénintenzitású energiaforrások állnak rendelkezésre, a belső égésű motorok hatásfokának növelése és a kisebb széntartalmú hajtóanyagok alkalmazása a leginkább hatékony és a megfizethető megoldás. Ez utóbbi általánosan is igaz rövid és középtávon egyaránt.

Magyarországon mind a két lehetőség rendelkezésre áll: az elektromos áram jelenleg meglévő és a jövőben elkészülő, új paksi atomerőművel viszonylag olcsón rendelkezésre állhat. A megújuló alapanyagforrásokat és az ezekből előállított keverőkomponenseket tartalmazó motorhajtóanyagok részben már ma is rendelkezésre állnak a nagyobb hatásfokú belső égésű motorokkal szerelt járművek üzemeltetésére (motorbenzin: bioetanol, bio-ETBE; dízelgázolaj: biodízel- és újabb, 2020-tól bioparaffin-tartalmú gázolaj; ez utóbbi magyar fejlesztés eredményeképpen).

Megjegyezzük, hogy a belső égésű motorok esetében elvárt kb. 50%-os hatékonyságnövelés nagy kihívás, ami nemcsak motor-, hanem kőolajfinomítói fejlesztéseket is igényel. Ezzel kapcsolatban 4 kulcsterületet lehet megjelölni az ÜHG-csökkentés eszközeként [22]:

- a kőolaj (kutatás, fúrás, kitermelés) szénintenzitásának csökkentése,
- a feldolgozásban és előállításban esz-közölt fejlesztések a kis széntartalmú, alapanyagok (pl. bioeredetűek, megújuló hidrogén stb.) és termékek biztosítására,
- a motorhatékonyság növelése,
- mobilis szénleválasztó technológiák alkalmazása a gépjárműben.

Jelenleg a személygépjárművek belső égésű motorjainak hatásfoka mintegy 36%, míg a nehéz motorok esetében ez 47%. Ezek növelésére nagyon jelentős pénzügyi támogatással több fejlesztési irányban folyik K+F tevékenység (motorfejlesztés – [benzinüzemű kompressziógyújtású motor (GCI), korszerű ellendugattyús motorok], „mobil részecskeleválasztás”).

A GCI új elv, amely az égés előtti tökéletesített elegyképzéssel növeli a motor hatásfokát és megkönnyíti az emisszió szabályozását. Nemcsak a hajtóanyag-felhasználást lehet csökkenteni (ami 25%-os CO<sub>2</sub>-emissziócsökkentést jelent), hanem 90%-os NO<sub>x</sub>-csökkentést is el lehet érni. A nagyobb hatékonyságú és a kisebb emissziójú járművet várhatóan 2021-ben fogják bemutatni.

Az ellendugattyús motorban hengerenként két dugattyú működik ellentétes mozgással. Ez csökkenti a súrlódást és a hővesztést, ezáltal javítja a hatásfokot, elősegíti a hajtóanyag-megtakarítást és csökkenti az emissziót. Ez nagyon sokoldalú megoldás, és alkalmazni lehet mind a szikragyújtású, mind a kompressziógyújtású motoroknál, így hagyományos motorbenzinekkal és dízelgázolajokkal is üzemeltethető.

A legújabb, harmadik generációs mobil szén- (részecske-) leválasztó technológiával (MCC: Mobile Carbon Capture) például a Volvo kamionok esetében 50%-os CO<sub>2</sub>-csökkentést értek el. A gépjárműben összegyűjtött részecskekeletelt például energiaelőállításra lehet felhasználni.

Általánosan megállapítható, hogy a mobilitás megvalósításakor már részben ma is rendelkezésre állnak azok a megújuló energiaforrások és technológiai megoldások, ame-

lyek egyértelműen csökkenthetik az üveg-házhatású gázok emisszióját és a fosszilis energiaforrások felhasználását. ●●●

**Köszönetnyilvánítás.** A publikáció az Európai Regionális Fejlesztési Alap által támogatottGINOP-2.3.2-15-2016-00053 projekt [„Molekulaszervezetében nagy hidrogéntartalmú, cseppfolyós üzemanyagok kifejlesztése (hozzájárulás a fenntartható mobilitáshoz)”] keretében készült.

#### IRODALOM

- [1] Srivastava, S. P., Hancsók, J., Fuels and Fuel-Additives. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA (ISBN: 978-0-470-90186-1), 376 oldal, 2014.
- [2] [https://corporate.exxonmobil.com/-/media/Global/Files/outlook-for-energy/2019-Outlook-for-Energy\\_v4.pdf](https://corporate.exxonmobil.com/-/media/Global/Files/outlook-for-energy/2019-Outlook-for-Energy_v4.pdf), megtekintve: 2020. 03. 05.
- [3] IEA Global EV Outlook 2019. Scaling up the transition to electric mobility, 2019. május.
- [4] <https://www.welt.de/wirtschaft/article187209256/Elektromobilitaet-Fuer-E-Auto-Durchbruch-fehlt-der-9000-Euro-Vor-teil.html>, megtekintve: 2020. 06. 12.
- [5] ACEA Report, Vehicles in use, Europe, 2019.
- [6] <https://www.adroitmarketresearch.com/industry-reports/heavy-duty-trucks-market>, megtekintve: 2020. 06. 20.
- [7] United Nations Conference on Trade And Development (UNCTAD): Handbook of Statistics 2019, Genova, 2019.
- [8] <https://www.statista.com/statistics/262971/aircraft-fleets-by-region-worldwide/>, megtekintve: 2020. 06. 25.
- [9] Chuck, Ch. J. (szerk.), Biofuels for Aviation. Feedstocks, Technology and Implementation. Academic Press, London, 2016.
- [10] <https://www.iata.org/en/publications/economics/>, megtekintve: 2020. 06. 21.
- [11] BP Energy Outlook, 2018.
- [12] BP Statistical review of world energy, 2020.
- [13] IMO GHG Study, 2009; \*Meilew Maersk, 2014.
- [14] Hancsók, J., Fuels for Internal Combustion Engines, in Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2016, 21.
- [15] Hancsók, J. et al., Fuels with high hydrogen content in their molecular structures, Istanbul 22<sup>nd</sup> World Petroleum Congress (Forum title: F11 Products of the future), 2017, július 09–13., ppt: 18 slide.
- [16] Baladincz, P., Hancsók, J., Fuel from waste animal fats. Chemical Engineering Journal (2015) 282, 152–160.
- [17] Hedrich, K., Kuczera, M., Plass, L., Was kostet klimaneutraler Straßenverkehr: Erdöl, Erdgas, Kohle (2018) 134 (10), 362–370.
- [18] Körfer, T., Intelligente Sektorkopplung – Ein substantieller notwendiger Baustein zur schnellen Energiewende im Transportsektor. Erdöl, Erdgas, Kohle (2020) 136(2), 24–27.
- [19] Hagemann, B., Gosalia, A., DrivElectric, Decarbonisation, Digitalization. Neste Uniti Pre-Seminar, Stuttgart, 2019. április.
- [20] <https://www.bauhaus-luftfahrt.net/forschung/alternative-kraftstoffe/co2-als-rohstoff-fuer-die-erneuerbare-kraftstoffproduktion/>, megtekintve: 2020. 06. 22.
- [21] Jungmeier, G., Pkw-Umweltbilanz nur mit Erneuerbaren top. Die Ökoenergie (2020) 115.
- [22] <https://www.infineuminsight.com/en-gb/articles/passenger-cars/shaping-future-mobility/>, megtekintve: 2020. 05. 14.

## ÖSSZEFOGLALÁS

HANCSÓK JENŐ: MOBILITÁS ÉS KLÍMAVÁLTOZÁS (KÖRNYEZETSZENNYEZÉS) RENDSZERSZEMLELETBEN

A mobilitás a fenntartható fejlődés egyik alappillére; kiterjed a teljes szárazföldi, vízi és földközeli légtérre. Az írás a mobilitást és annak környezetkárosító hatását mutatja be rendszerszemléletben, a klímaváltozáshoz való hozzájárulás teljes, tudományos mélységű elemzése nélkül. Tényszerűen megadja és értékeli a szárazföldi, a légi és a vízi közlekedés/szállítás járműállományát, összetételét és alakulását, a mobilitás energiaigényét, károsanyag-kibocsátását, kiemelten a személygépjárművekre. Az összefoglaló értékelés lehetőségeket feltáró jövőképet vázol.