

Műhelytanulmány

# Folyékony hajtóanyagok fejlesztési tendenciái

Beküldve: 2022.10.13.  
Elfogadva: 2022.10.14.  
Online közzététel: 2022.10.24.

- ID VIRT MÁRTON** PhD hallgató, BME Gépjárműtechnológia Tanszék, Innovatív Járműhajtások Kompetenciaközpont, marton.virt@gmail.com
- ID DR. ZÖLDY MÁTÉ** tudományos főmunkatárs, BME Gépjárműtechnológia Tanszék, Innovatív Járműhajtások Kompetenciaközpont, zoldy.mate@kjk.bme.hu

**Absztrakt:** A 21. század egyik mobilitási kihívása az energiaellátás biztosítása. A középpontba kerülő környezetterhelés, a Covid miatti logisztikai nehézségek és az Európában zajló háború új kihívás, már-már sokk elé állították a mobilitás energiaellátását. Cikkünkben alágazatonként áttekintjük, hogy a terjedő elektromobilitás mellett miért van szükség a folyékony hajtóanyagokra. Bemutatjuk az alternatív hajtóanyag-fejlesztéseket első-, másodgenerációs és fejlett hajtóanyagok területén.

*Kulcsszavak: folyékony hajtóanyagok; mobilitás; fejlett hajtóanyagok*

## Development trends of liquid fuels

**Abstract:** One of the challenges of the 21st century towards mobility is the provision of energy supply. The environmental burden coming into focus, the logistical difficulties caused by the virus and the new challenge of the ongoing war in Europe almost brought the energy supply of mobility to a shock. In our paper, we review by sub-sector why liquid fuels are needed in addition to the spreading electromobility. We present the alternative fuels developments in the field of first-, second-generation and advanced fuels.

*Keywords: liquid fuels; mobility; advanced fuels*

## Bevezetés

Van-e élet a mobilitáson belül a villamos energián túl? A közlekedés intenzív elektrifikálása megoldást jelent a mobilitás egyes területeire, de a jelenlegi technológia nem lesz képes teljes mértékben kiváltani a kőolaj alapú energiaforrásokat. Az egyes közlekedési alágazatokban eltérő az elektromobilitás térnyerése.

A vasúti alágazatban régóta zajlik az elektromos vontatás terjedése, elsősorban a teherszállítás által vezérelve. Magyarországon az első villamosított vonal 1911-ben nyílt meg, váltakozó áramú egyfázisú villamosítással, 10 kilovolt feszültséggel (Károly, 2015). Az évtizedek alatt a villamos vontatás elterjedése lassú, de folyamatos volt, napjainkra a pálya több mint 40%-a villamosított. A villamos üzem alternatívája a vasút esetében a dízelvontatás. Itt a közúti járművek által is használt szabványos gázolajat használják (Zobory, 2014).

A vízi alágazatban az elsődleges hajtóanyag a gázolaj, illetve a fűtőolaj. Utóbbi szinte kizárólag nyílt tengeri alkalmazásoknál találjuk. A magas kéntartalmú hajtóanyagok használatának feltétele ebben az alágazatban is folyamatosan szigorodik. Alternatívaként, történelmileg is ismert megoldásként, a szélenergia használata merül fel. Az elektromos akkumulátor alapú hajtások száma lassan növekszik, közben megjelentek a hidrogén alapú hajtások is (Zalacko et al., 2020).

A légiközlekedésben mind a repülőbenzinek, mind a kerozin széleskörben elterjedt, mint hajtóanyag, de folyamatosan zajlanak a fejlesztések a közlekedés elektrifikálása felé (Adu et al., 2022). Az akkumulátor alapú technológia jelenlegi színvonala erős korlátot jelent a légi közlekedésben, szélesebb villamosításra ennek fejlődése, valamint az elektromotorok fejlesztése és az aerodinamika javulása mellett kerülhet sor (Rohács – Rohács, 2020). A légiközlekedésben alternatívát jelenthetnek a megújuló alapon fejlesztett üzemanyagok, az ún. bio-jetek. Ezek a meglévő hajtásláncokban használhatók, de kisebb környezetterhelést jelentenek.

A közúti és az úton kívüli off-road mobilitásban nagyon intenzív az elektromobilitás térnyerése, azonban a technológia korlátai miatt nem várható a teljeskörű elterjedés. A mostani mobilitás és társadalmi berendezkedés alapja a távolsági áruszállítás és a nagyüzemi mezőgazdaság. Jelenleg ezek energiaigényének kiváltására nem alkalmas a villamos hajtás. A személyi közlekedésben is elsősorban a rövidtávú, városi használat az, amelyben – elsősorban a megosztott járműparkokban – valóban fenntartható módon lehetséges ezen járművek használata (Nyerges,

2022). A közúti közlekedésben is zajlik az alternatívák kutatása, keresése, amelyek különböző folyékony dízel és benzinhelyettesítők kifejlesztésére szolgálnak.

Áttekintve a közlekedési alágazatokat, kijelenthető, hogy minden területen látható elmozdulás az áram intenzívebb felhasználására, azonban a jelenlegi technológiai szinten egyik területen sem várható rövidtávon teljes áttörés. Emiatt is fontos az alternatívák kutatása. Ezek közül az egyik lehetőség, amely a meglévő motorokkal és hajtásláncokkal való kompatibilitása miatt vonzó megoldás, a folyékony alternatív hajtóanyagok fejlesztése. Cikkünk az ezekben rejlő lehetőségeket tárja fel.

## Folyékony hajtóanyag-alternatívák a közlekedés számára

A folyékony hajtóanyagok a 20. század eleje óta dominálják a közlekedést. A közvilágítást szolgáló petróleumgyártás melléktermékéből a benzin, a kerozin és a gázolaj a mobilitás legfontosabb energiahordozóivá váltak. Az alternatívák keresése a hetvenes években indult, az első olajválság hatására. A szakirodalom megkülönböztet elsőgenerációs, másodgenerációs és fejlett hajtóanyagokat, így ebben a rendszerben mutatjuk be a fejlődés irányait.

### Elsőgenerációs hajtóanyagok

Az alternatív hajtóanyagok alkalmazása visszanyúlt a belsőégésű motorok kialakulásának a kezdetéhez: az első vizsgálatok – amelyeken alapuló fejlesztések a mai napig folytatódnak – az etanolra, a növényi olajokra és a gázokra fókuszáltak. Az elsőgenerációs hajtóanyagok jellemzője, hogy rendelkezésre állnak, több alternatív felhasználásuk ismert.

A gázolaj esetében, bár történtek kísérletek tiszta növényi olaj alkalmazására, hamarosan a biodízel – átészterezett növényi olaj – került a fejlesztések fókuszába. Az átészterezéssel a gázolajéhoz nagyon hasonló tulajdonságok érhetőek el. (Jevakumar et al., 2022). Bekeveréssel a szabványnak megfelelő hajtóanyag állítható elő. Ez minden alternatív hajtóanyag használata szempontjából kritikus fontosságú, mert a járművek oldaláról az az elvárás, hogy a szabvány előírásait teljesítsék az üzemanyagok. A biodízelek esetében kritikus az alapanyag minősége, amely befolyásolja a végtermék minőségét (Alahamer et al., 2022). A használt műtrágya mennyisége, az öntözés vagy az esős napok száma mind hatással van a végtermék tulajdonságaira. Az alkalmazástechnikai korlát ezért jelenleg 7 v/v%, amelyet az injektorgyártók határoztak meg (Lulic et al., 1998).

Az etanol benzinekben való alkalmazása párhuzamosan zajlott a fenti folyamattal (Emőd et al., 2005). Az alkohol gyártástechnológiája sztenderd termékminőséget biztosít, így a bekeverési korlátot inkább a futó járművek motorkatrészeinek felkészítettsége jelentheti. Az alkohol felkeményíti a gumi és műanyag alkatrészeket, illetve tisztító hatása révén a korábbi szennyeződésekkel eltömítheti a szűrőket. Jelenleg már 10 v/v%-ig kevernek Európában tiszta alkoholt a motorbenzinbe, s ennek a további növekedése várható. Etanolt nem csak közvetlenül, hanem vegyületeiben is bekevernek, például ETBE (etil-tercier-butil-éterként), így a kedvezőtlen tulajdonságai megkevlhetővé válnak. Alkalmazásának további hátránya az alacsony sűrűsége, amely fogyasztásnövekedést okoz. Az etanol gázolajkeverő komponensként való használatára is történtek kutatások, elsősorban azt kihasználva, hogy alkalmazása kedvező a kibocsátásokra (Zöldy et al., 2007, Tutak et al., 2015).

A CNG (Compressed Natural Gas – komprimált földgáz) és a PB (Propán-bután) alkalmazása a motorok átalakítását követeli meg, elterjedésüknek ez erős korlátja. CNG-t inkább haszongépjárművek zárt járműparkjai használnak (Matijosius, 2022), míg a PB vagy az autógáz kedvező adózása miatt a magánszemélyek által használt hajtóanyag.

### Másodgenerációs hajtóanyagok

A másodgenerációs hajtóanyagok elsősorban alapanyagaikban különböznek az elsőgenerációs társaiktól. Az elsődleges cél ezek esetében a hajtóanyag és az emberi fogyasztás versenyének megszüntetése volt. A növényi olajoknál a repce és a napraforgóolaj kiváltására szinte minden növényi olaj kipróbálása megtörtént. A fejlesztések során az újrahasznosított olajokat is bevonták az alapanyagok közé, mint például a használt sütőolaj. Ennek előnye, hogy hulladék kerül hasznosításra, hátránya azonban, hogy minőségét komplex eljárással lehet csak biztosítani.

Az etanol alapanyagai közül a cukor, azaz termény alapú alkohol előállítás mellett a keményítő és cellulóz alapú gyártás került a kutatások középpontjába. Ezek az alapanyagok, illetve gyártástechnológiák lehetővé teszik, hogy ne versenyezzenek az emberi fogyasztással (Emőd et al., 2005).

## Fejlett üzemanyagok

A fejlett üzemanyagok leginkább kutatott területének a szintetikus üzemanyagok tekinthetők. A Fischer-Tropsch eljárás segítségével szintézisgáz és hidrogén segítségével sokféle üzemanyag előállítható. A „hibrid hidrogén-szén” (H<sub>2</sub>CAR) eljárást javasolják (Agrawal et al., 2007) folyékony szénhidrogén üzemanyagok előállítására, ahol a biomassa a szénforrás, és a hidrogént szénmentes energiából szolgáltatják. A szintetizált folyadék nyílt hurkú rendszerben H<sub>2</sub> tárolást biztosít. A szénből folyadékokká alakítás a H<sub>2</sub>CAR előnye, hogy a kőolaj szénrel való helyettesítése miatt nincs további CO<sub>2</sub>-kibocsátás a légkörbe, így nincs szükség CO<sub>2</sub> megkötésére.

Az oximetilén-éter (OME) ígéretes alternatív üzemanyag a dízelmotorokhoz. Fenntarthatóan állítható elő, égése tiszta és hatékony. Jó példa a kutatásokra Virt és Ulrich tanulmánya, amely a különböző OME<sub>3-5</sub> keverékek kibocsátásra és égésre gyakorolt hatását vizsgálja. A méréseket kipufogógáz-visszavezető rendszerrel (EGR) felszerelt, négyhengeres, közös nyomócsöves kereskedelmi dízelmotoron végezték. Öt különböző OME<sub>3-5</sub> és B7 dízel keveréket alkalmaztak 0, 7, 15, 25 és 45 térfogat% OME<sub>3-5</sub> tartalommal négy terhelésnél. Az NO<sub>x</sub>-PM kompromisszumot 11 EGR rátánál vizsgálták minden keveréknél, 3 terhelési szinten. Az OME<sub>3-5</sub> keverési arányának növelése csökkentette a PM-kibocsátást, javította az NO<sub>x</sub>-PM kompromisszumot, és növelte az effektív hatásfokot. A maximálisan elért PM-kibocsátás-csökkenés 86,8% volt nagy terheléseknél. Az NO<sub>x</sub>-kibocsátás azonban nőtt, és a viszkozitás jelenthet alkalmazástechnikai nehézséget.

Pirolízis olajok a körforgásos gazdaság keretrendszerében, mint hulladéktovább-hasznosítási opció kerültek a kutatások fókuszába (Kondor et al., 2021). A pirolízis olaj víztartalma magasabb a gázolajéhoz képest, illetve aromástartalma is magasabb, ezek a tényezők növelik az emissziós értékeket. A másik két nagy eltérés, hogy a pirolízis olaj magas kéntartalommal rendelkezik, ez szintén az emissziós értékeket rontja a gázolajhoz képest. A Cetán-index alacsonyabb a pirolízis olaj esetén, amely alacsonyabb szén-hidrogén jelenlétet jelent, a tesztek során ez csökkentette a szén-hidrogén emissziós értékét. Alkalmazástechnikai kihívást jelent a hidegsűrűségénél a magas dermedéspontja, hiszen az 20° C körül alakul. Ezek alapján a pirolízis olajok inkább harmadik keverőkomponensként képzelhetők el, semmint önállóan vagy elsődleges keverőkomponensként.

Elsősorban a növényi olajok, de a legtöbb olajszármazék motorikus alkalmazásának egy új módja a HVO, a hidrogénezett növényi olaj alkalmazása. A hidrogénezési technika révén egy nagyon jó tulajdonságokkal rendelkező komponens érhető el, amelynek a hidegtulajdonságai akár a téli gázolajét is meghaladhatják. A HVO gyártása észak-Európában már piacérett szakaszban van, a kutatások elsősorban a gyártási költségek csökkentésére fókuszálnak.

A magasabbrendű alkoholok alkalmazása motorhajtóanyagként is intenzíven kutatott terület. A butanol mellett a propanol a kutatások fő területe, több más alkohol mellett. Ezen alkoholok alkalmazása elsősorban dízel komponensként kutatott, mert csökkentik az emissziót, és tulajdonságaik jobban közelítenek a gázolajhoz, mint az etanol (Longwic et al., 2020).

Az olajból származó repülőgépjármű-üzemanyagotól való folyamatos függés tagadhatatlan környezeti következményei ösztönözték a légiközlekedési ágazatban az alternatív megoldások felé irányuló nemzetközi erőfeszítéseket (Doliente et al., 2020). Az áttekintésben a hidrogénnel feldolgozott észterek és zsírsavak előállítási módja, a második generációs olajos magvak és fáról olajok felhasználásával, hatékony azonnali megoldást jelenthet, amely jelentős üvegházhatású gázok kibocsátását csökkentheti. A mikroalgaolaj potenciálisan sokkal nagyobb bio repülőgépjármű-üzemanyag-hozamot és az üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának csökkentését kínálná, de a nagy léptékű algatermesztés technológiája jelenleg még nem eléggé kiforrott. A lignocellulóz biomasszát használó Fischer-Tropsch gyártási út a legnagyobb megtakarítást rejti magában az üvegházhatásúgáz-kibocsátás terén, ami potenciális megoldás lehet a légiközlekedési ipar közép- és hosszú távú tervei között, de további kutatásra és optimalizálásra van szükség a nagymértékű kibocsátás előtt.

## Összegzés

A fokozott elektrifikáció minden közlekedési ágazatban tapasztalható, de a jelenlegi technológia nem lesz képes teljes mértékben kiváltani a belsőégésű motorokat. A folyékony fosszilis üzemanyagok kiváltására sok fejlesztés tesz kísérletet. A már piacon lévő elsőgenerációs etanol és biodízel mellett a másodgenerációs és fejlett üzemanyagok is megjelennek a piacon. Ezek közül a magasabbrendű alkoholok, az OME és a szintetikus üzemanyagok kutatása ígéretes.

## Köszönetnyilvánítás

A projekt eredményei a KTI által biztosított KTI\_KVIG\_8-1\_2021 támogatással, az Innovatív Mobilitás Program finanszírozásában valósultak meg. A kutatásokat az AVL Hungary Kft. támogatta.

## Felhasznált irodalom

- Adu-Gyamfi, Bright Appiah – Good, Clara (2022). „Electric Aviation: A review of concepts and enabling technologies.” *Transportation Engineering*: 100134. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2022.100134>
- Agrawal, Rakesh et al. (2007): Sustainable fuel for the transportation sector, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104:12, 4828–4833. <https://doi.org/10.1073/pnas.0609921104>
- Alahmer, Ali et al. (2022): Modeling and Optimization of a Compression Ignition Engine Fueled with Biodiesel Blends for Performance Improvement. *Mathematics*, 10(3), 420.8.
- Doliente, Stephen S. et al. (10 July 2020): A bioetanol magyarországi bevezetésének műszaki, gazdasági és környezetvédelmi feltételei. *Magyar Tudomány*, 50, 278-286. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.00110>
- Emőd István et al. (2005): A bioetanol magyarországi bevezetésének műszaki, gazdasági és környezetvédelmi feltételei. *Magyar tudomány*, 50, 278-286.
- Horváth Péter – Nyerges Ádám (2022): “Design Aspects for in-Vehicle IPM Motors for Sustainable Mobility”. *Cognitive Sustainability* 1, no. 1 (March 18, 2022). <https://doi.org/10.55343/cogsust.5>
- Jeyakumar, Nagarajan et al. (2022): Experimental evaluation over the effects of natural antioxidants on oxidation stability of binary biodiesel blend. *International Journal of Energy Research*.
- Károly Szabolcs: Indul a hivatalos villamos üzem a Csorna-Porpác vonalon! <http://iho.hu/hir/indul-a-hivatalos-villamos-uzem-a-csorna-porpac-vonalon-150610> (2015.6.11.)
- Longwic, Rafał et al. (2020): Self-ignition of rapeseed and n-hexane mixtures in diesel engine. *Przemysł Chemiczny*, 99(2), 206-210.
- Lulić, Zoran – Mavrin, Ivan – Mahalec, Ivan (1998): Aspects of Using Biological Regenerative Fuels in Internal Combustion Engines. *Promet-Traffic&Transportation*, 10(1-2), 75-80.
- Matijošius, Jonas et al. (2022): “Investigation of the Concentration of Particles Generated by Public Transport Gas (CNG) Buses”. *Cognitive Sustainability* 1, no. 1 (March 30, 2022). <https://cogsust.com/index.php/real/article/view/10>.
- Rohács József – Rohács Dániel (2020): „Energy coefficients for comparison of aircraft supported by different propulsion systems.” *Energy* 191 : 116391. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116391>
- Tutak, Wojciech et al. (2015): Alcohol–diesel fuel combustion in the compression ignition engine. *Fuel*, 154, 196-206.
- Virt Márton – Ulrich Arnold (2022): “Effects of Oxymethylene Ether in a Commercial Diesel Engine”. *Cognitive Sustainability* 1, no. 3 (August 17, 2022). <https://doi.org/10.55343/cogsust.20>
- Zalacko Roland – Zöldy Máté - Simongáti Győző (2020): „Comparative study of two simple marine engine BSFC estimation methods.” *Brodogradnja: Teorija i praksa brodogradnje i pomorske tehnike* 71.3: 13-25. <https://doi.org/10.21278/brod71302>
- Zobory Istvan (2014): Hungarian Contributions to the Railway Market, *INNORAIL MAGAZIN Special edition for Innitrans 2014* pp. 6-7. , 2 p.
- Zöldy Máté – Emőd István – Oláh Zsolt (2007): „Lubrication and viscosity of the bioethanol-biodiesel-diesel blends.” *Proceedings of EAEC 2007 Budapest*
- Zöldy Máté – Kondor István Péter (2021): „Simulation and injector bench test validation of different nozzle hole effect on pyrolysis oil-diesel oil mixtures.” *Energies* 14.9 (2021): 2396. <https://doi.org/10.3390/en14092396>