

Gépjárművek fedélzeti energiatároló rendszerei

On-board energy storage of road vehicles

Dr. ZÖLDY Máté

BME Gépjárműtechnológia Tanszék,
1111 Budapest Stoczek u 6 mate.zoldy@auto.bme.hu

Abstract

One of the development issues of the first decades of the 21st century is to reduce the environmental impact of transport. External regulators see this as one of the most suitable for this, pushing back vehicles powered by internal combustion engines and supporting the development of alternative powertrains. The purely electric drive currently stands out among the alternative drivetrains, witnessing a rapid pace of advancement. One of the development points of the new propulsion system's spread is the on-board storage of energy. Our research presents and compares the potential energy storage systems of vehicles used in the short term.

Keywords: alternative mobility, innovative energy storage, fuel cell, battery

Kivonat

A XXI század első évtizedeinek egyik fejlesztési kérdése a közlekedés környezetterhelésének csökkentése. A külső szabályzók erre ez egyik legalkalmasabbnak a belsőégésű motorokkal hajtott járművek visszaszorítását és alternatív hajtásláncok fejlesztésének támogatását látják. Az alternatív hajtásláncok közül jelenleg kiemelkedik a tisztán elektromos hajtás, amelynek nagy ütemű előretörésének lehetünk szemtanúi. Az új hajtásrendszer elterjedésének egyik fejlesztési pontja az energia fedélzeti tárolása. Kutatásunkban rövid távokon használt járművek potenciális energiatároló rendszereit mutatjuk be és hasonlítjuk össze.

Kulcsszavak: alternatív mobilitás, innovatív energiatárolás, tüzelőanyagcella, akkumulátor

1. BEVEZETÉS

A XXI. század hajnalán a mobilitás és a járműtechnika nagy változásának lehetünk szemtanúi. Nem csak az életünket alaposan átformáló COVID-19 vírus miatt, hanem az évek, évtizedek óta tartó kibocsátás csökkentést célzó törvényi szabályozások miatt. Ezt egészíti ki a fejlődő informatika, amely a járművezetőket egyre magasabb szinten támogató rendszerekkel fessegeti az önvezető autózás kérdéseit. Már az 1970-es évek óta hallhatjuk Zamani megfogalmazásában, hogy a kőolajkorszak, hasonlóan a kőkorszakhoz, nem azért fog véget érni, mert elfogy a nevé is szolgáltató erőforrás [1], hanem mert megerősödnek az alternatívák. A hajtásláncok fejlődésének egyik izgalmas területe a fedélzeti energia tárolás kérdése, hiszen a járműveknek az útválasztás szabadságának megőrzéséhez fedélzeti energiára van szükségük, mégpedig lehetőleg gyorsan és sok helyen utántölthetőre, kis térfogaton és tömegben és biztonságosan szállíthatóra. Erre a motorizáció első 150 évében a benzin és a gázolaj tűnt a legjobb megoldásnak [2]. Az ezredfordulót megelőző és követő években a bioüzemanyagok tűntek műszakilag elfogadható alternatívának. Először a biodízel [3], mint a gázolaj keverőkomponense és az etanol [4], mint a benzin részbeni helyettesítésére alkalmas üzemanyag került a figyelem középpontjába. Az előállíthatóság korlátos volta [5] és nehezen csökkenthető ár miatt [6] azonban hamarosan alternatív megoldások is feltűntek, mint az etanol alapú hármaskeverékek [7,8] vagy a magasabb rendű alkoholok keverékei [9,10]. A XXI század második évtizede során a kutatások azonban egyértelműen a belsőégésű motor alternatívái felé fordultak [15, 16]. Ezekben az esetekben az energiafelhasználás korábban keveset vagy autóiparban nem használt megoldások alkalmazását igényli az energiatárolás során is. Cikkünkben rövid áttekintést adunk a szóba jöhető megoldásokról.

2. INNOVATÍV FEDÉLZETI ENERGIATÁROLÓ RENDSZEREK

Az energia tároló rendszer bemutatása során sok technológiai megoldás merülhet föl, azonban kiválasztásukkor figyelembe kell venni a járműves alkalmazás sajátosságait: kompaktnak kell lennie, amely mind a tömeg mind a térfogat dimenzióra értendő, gyorsan tölhetőnek/cserélhetőnek kell lennie, megfelelő hatótávot kell biztosítani és biztonságosnak kell lennie. Rövid elemzésben ezekre a szempontokra kitérve kerülnek a lehetséges alternatívák bemutatásra.

2.1. Lítium alapú cellák

A lítium alapú megoldások tartanak jelenleg legelőrébb, egy részük már elérhető a felhasználók számára. Többféle elektróda és elektrolit összetételű lítium alapú cella elérhető, melyek elektrokémiai úton képesek energia tárolására [11].

A lítium alapú akkumulátor cellák alkalmazásának elsődleges oka a nagy fajlagos energiasűrűségük. Emiatt a jármű akkumulátorának tömege is jóval kisebb lehet, mint azonos mennyiségű energiát tárolni képes más technológiák. A merítési karakterisztikájukat konstans feszültség szint jellemzi, így a tárolt energia nagymértékben felhasználható a járműhajtásra. A cellákra jellemző továbbá, hogy belső ellenállásuk kicsi, amely miatt a feszültségcsökkenés nagyáramú merítés közben is kismértékű marad. A hajtás energia folyamába inverterrel köthetőek be, alkalmasak regeneratív töltésre. Ez utóbbi további előnyük a járműves alkalmazás esetén. A hajtás szempontjából fontos előnyös tulajdonsága a lítium alapú celláknak, hogy tárolt energia azonnal a hajtás rendelkezésére bocsátható. Fontos alkalmazástechnikai tulajdonságuk, hogy nem jellemzi a cellákat néhány hét állás után sem önkisülés és jelentős feszültségvesztés [12].

A lítium alapú energiatároló cellákat nagy hőmérsékleten merítve, illetve magas feszültségen tárolva a veszítenek kapacitásukból. Ennek kezelésére az akkumulátor csomagot egy úgynevezett BMS (Battery Management System) rendszerrel látják el, amely méri cellák aktuális feszültség szintjét, merítő áramát és hőmérsékletét, illetve képes a hajtás energia folyamának megszakítására. A BMS feladata, hogy túlterheléses helyzetekben a termális hőterhelés elkerülhető legyen. Ugyanis a ilyen esetben a cella elektródáin a nagy terhelés hatására részecskék jelenhetnek meg, amelyek képesek átszűrni az anód és katód oldalakat elkülönítő szeparátort. Ilyen esetben rövidre zárt cellán átfolyó áram erőssége elérheti akár a több ezer amper is, amelyet nagy intenzitású hőmérséklet emelkedés kísér. ennek veszélye, hogy a rendszer eléri a lítium olvadáspontját. A fagypontra körüli töltés esetében csak kisebb árammal, lassabban lehet tölteni a lítium bázisú cellákat [12].

A lítium-ion akkumulátorok a jelenleg legelterjedtebb alternatív energiatároló eszközök, akár 400 kilométeres hatótáv elérését is lehetővé teszik, és töltési idejük is relatíve rövid. Elegendően nagy teljesítményű gyorstöltővel 20-30 perces töltési idővel az eredeti hatótáv 80 százaléka visszanyerhető.

2.2. Ultrakapacitás

Az akkumulátor elvű energia tárolás mellett más lehetőségek is vannak az áram közvetlen fedélzeti tárolására. Erre az egyik lehetőség az ultrakapacitás vagy szuperkapacitás. Ez egy olyan kondenzátor, melynek kapacitása Farad nagyságrendű, azaz akár több mint ezerszerese egy köznap elektrosztatikus kondenzátornak. Működése és felépítése megegyezik a kisebb kapacitású kondenzátorokéval, az energiát elektrosztatikus töltés formájában tárolja. A kondenzátorok esetében is lehetőség van speciális elektródák és elektrolit alkalmazására, így növelve a berendezés fajlagos energiasűrűségét. Az ilyen megoldással rendelkező kondenzátorokat elektrokémiai energiatárolás is jellemezi [11].

Az ultrakapacitások egyértelmű előnye, hogy fajlagos teljesítménysűrűségük nagy, az általuk tárolt energiát nagyon rövid idő alatt képesek leadni. További előnyük, hogy nagy árammal terhelhetők, másodpercek alatt feltölthetők. A nagy töltőáramnak köszönhetően a rendszer rövid idő alatt tölthető fel. A nagy terhelhetőség miatt biztosítani tudja a maximális áramerősséget, valamint motorfék üzemben a nagy áramimpulzusú visszatáplálást is garantálni tudja. Az élettartamuk az 1 millió töltési ciklust is meghaladhatja. A regeneratív fékezés jelentette intenzív töltést kisütést jól bírják, így ez a tulajdonságuk jól felhasználható elektromos és hibrid járművekben. A hajtásrendszer energia folyamába közvetlenül beköthető. DC/AC inverterre szükség van váltóárammal működő motorok és fedélzeti berendezésekkel való összekapcsolás esetén. Az akkumulátor celláknál kevésbé érzékenyek külső hatásokra és túlterhelésre [13].

Fajlagos energiasűrűségük a lítium alapú cellákhoz képest jóval alacsonyabb és lineáris feszültségcsökkenési karakterisztikájuk miatt a tárolt energiájuk közel felét tudják csak leadni. További hátrányos jellemzőjük, hogy az ultrakapacitásokra jellemző az önkisülés, a feltöltött kondenzátorok veszítenek tárolt energiájukból állás

során. Hosszabb idő után ez azt jelenti, hogy a kizárólag ultrakapacitással felszerelt jármű nem képes önállóan elindulni [13].

2.3. Tüzelőanyagcella és hidrogén tárolás

A tüzelőanyagcellák a Galván elemek csoportjába tartoznak olyan elektrokémiai elven működő áramforrások, amelyek egy lépésben alakítják át a betáplált vegyületekből a kémiai energiát elektromos energiává, hőfelszabadulás közben. A tüzelőanyag-cella folyamatos üzemű, azaz mindaddig képes folyamatosan villamos energiát szolgáltatni, amíg az üzemanyagok és az oxigén betáplálása folyamatosan történik.

A fedélzeti energiatárolást vizsgálva a tüzelőanyagcellák esetén a leggyakoribb üzemanyagot a hidrogén kell megvizsgáljuk. A hidrogén mellett előfordulhatnak más betáplált vegyülettel, például metanol, metán vagy akár földgáz is. A hidrogén tárolására sokféle megoldási lehetőség kínálkozik, a két legnagyobb csoport a fizikai tulajdonságokon alapuló tárolás, mint a komprimált gázként, lehűtve vagy folyékony formában. Másik lehetőség, ha elnyelve tároljuk, ebben az esetben abszorbeálva, hidridként, komplex hidridként vagy kémiai kötésben tudjuk tárolni.

A járműves alkalmazás során a PEMFC rendszerű cellák a legalkalmasabbak, ezeknek rövid az előmelegítési időszükségletük, jól kezelik a dinamikus energiafolyam változásokat [14]. A hidrogén alapú közlekedés a közeljövő egyik nagy áttörési lehetősége. A fejlődő hidrogén tárolás mind a belsőégésű motorban való felhasználás mind a tüzelőanyag cellás felhasználás elterjedésének lehetőségét vetíti elő.

2.4 Szilárdtest-akkumulátor

A szilárd test akkumulátorok fejlesztése a folyékony elektrolitos technológiák egyes problémáira igyekszik megoldást kínálni. Ez a megoldás növelt energiasűrűséget, sokkal gyorsabb feltölthetőséget és hosszabb élettartamot lehetőségét rejti magában. További előnye, hogy várhatóan a gyártása is olcsóbb lesz, mint a jelenlegi akkumulátoroké. A szilárd elektrolit révén a határfokra és az élettartamra egyaránt negatívan ható melegedést csökkenteni lehet és elérhető, hogy az elektródák ne érintkezzenek.

A szilárdtest-akkumulátor nagy előnye, hogy nincs benne gyúlékony alkotóelem és esetleges sérülés esetén sem folyik ki belőle elektrolit. Az eltérő elektrolit révén a pozitív elektróda továbbra is lítium és más ötvöző fémek oxidja. Ezt szilárd elektrolittal keverik össze. Ezen egy szilárd állapotú, ionokat befogadni képes kerámiaréteg található.

Az autópárhazban a hétszáz az általánosan elfogadott töltési-merítési ciklus a belépési küszöb az energiatároló egységek számára, erre azonban a szilárd elektrolitos akkumulátor még nem képes. A töltések-merítések során a kerámiaréteg másik oldalán képződő lítiumréteg dendriteket növeszt. Ezek egy idő után átütik a teljes kerámiaréteget ezzel zárlatot okoz. A szilárd elektrolitos akkumulátor további előnye, hogy működési tartománya -30 °C és $+100\text{ °C}$ között található [17].

3. ÖSSZEGRZÉS

Táblázat fedélzeti energiatárolási módok összevetése

1. táblázat

Szempon	Lítium akkumulátor	Ultrakapacitás	Tüzelőanyag-cella + H ₂	Szilárdtest akkumulátor
Töltési idő	10 - 60 perc	1 - 10 másodperc	10-60 perc	15 perc
Élettartam	~ 500 ciklus	~ 1 millió ciklus	200-800 ciklus	~ 100 ciklus
Fajlagos energiasűrűség	150-250 Wh/kg	5 Wh/kg	40-180 Wh/kg	400-950 Wh/kg
Cellafeszültség	3.6 V (nominális)	2.3-tól 2.75 V-ig	1,8-2 V	5 V
Töltési hőmérséklet	0 – 45 °C	-40 – 65 °C	-30°C – 100 °C	-30°C – 100 °C
Merítési hőmérséklet	-20 – 60 °C	-40 – 65 °C	-30°C – 100 °C	-30°C – 100 °C

A 1. táblázatban kerültek összefoglalásra az egyes bemutatott energia tároló módok felhasználás releváns paraméterei. Ez alapján látható, hogy a mindhárom bemutatott lítium-ion akkumulátor alternatíva rendelkezik potenciális előnyös tulajdonságokkal. Az ultrakapacitások használata kiegészítő hajtásként javasolt, ahol a rekuperáció során jelenthet előnyt töltési ideje. A szilárdtest akkumulátor – amennyiben az élettartama eléri a

kívánatos szintet – egy biztonságos alternatívát jelenthet. A tüzelőanyagcella és hidrogén kombinálásának kulcsa pedig a hidrogéntárolás és töltés ipari szintű megoldása.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A 2019-1.3.1-KK-2019-00004 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a 2019-1.3.1-KK pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Köszönet Al-Hafez Csaba BSc szakdolgozata keretében elvégzett gyűjtőmunkájáért.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Friedman T. L. *The Energy Harvest*, New York Times, Quote Page A25, Column 5, New York. (ProQuest) 2006
- [2] Zöldy M *Improving Heavy Duty Vehicles Fuel Consumption With Density And Friction Modifier*, Int J Automot Technol. 2019;20 (5): 971-978.doi:<https://doi.org/10.1007/s12239-019-0091-y> 2019
- [3] Rimkus A, Matijošius J, Bogdevičius M, Bereczky Á, Török Á : An investigation of the efficiency of using O2 and H2 (hydroxile gas -HHO) gas additives in a ci engine operating on diesel fuel and biodiesel, Energy, Vol 152, 2018, Pages 640-651, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.087>.
- [4] Emőd I, Füle M, Tánzos K, Zöldy M (2005) *A bioetanol magyarországi bevezetésének műszaki, gazdasági és környezetvédelmi feltételei*, Magyar Tudomány 2005/03. szám, 278o. 2005
- [5] Hunicz J, Matijošius J, Rimkus A, Kilikevičius A, Kordos P, Mikulski M: Efficient hydrotreated vegetable oil combustion under partially premixed conditions with heavy exhaust gas recirculation, Fuel, Volume 268, 2020, 117350, ISSN 0016-2361, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117350>.
- [6] Török, Á: Elhárítási határköltésgörbék alkalmazása a járműgépészeti fejlesztések prioritizálásában OGÉT 2018 (EMT) (2018) 544 p. pp. 508-511. , 4 p.
- [7] Zöldy M. *The changes of burning efficiency emission and power output of a diesel engine fueled by bioethanol – biodiesel-diesel oil mixtures*. In: FISITA 2006, 2006.10.22, Yokohama, Japán. 2006
- [8] Barabás, I. and Todoruț, A., *Key Fuel Properties of Biodiesel-diesel Fuel-ethanol Blends*, SAE Technical Paper 2009-01-1810, 2009, <https://doi.org/10.4271/2009-01-1810>.
- [9] Szabados, G. and Bereczky, Ákos 2015. Comparison Tests of Diesel, Biodiesel and TBK-Biodiesel. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*. 59, 3 (Jan. 2015), 120-125. <https://doi.org/10.3311/PPme.7989>.
- [10] Zöldy, M. *Fuel Properties of Butanol – Hydrogenated Vegetable Oil Blends as a Diesel Extender Option for Internal Combustion Engines*, Periodica Polytechnica Chemical Engineering, 64(2), pp. 205-212, 2020. <https://doi.org/10.3311/PPch.14153>
- [11] Al Hafez Csaba, BME Gépjárműtechnológia tanszék, 2020
- [12] Battery University - BU-204: How do Lithium Batteries Work? (legutóbbi frissítés: 2018.06.01.) https://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries
- [13] Battery University - BU-209: How does a Supercapacitor Work? (legutóbbi frissítés: 2019.04.17.) https://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_role_of_the_supercapacitor
- [14] Emőd I, Tölgyessi Z, Zöldy M: Alternatív járműhajtások, Maróti Könyvkereskedés és Könyvkiadó Kft., Budapest, 2006 ISBN 9639005738
- [15] Péter, Tamas ; Lakatos, István ; Szauder, Ferenc ; Dániel, Pup Complex analysis of vehicle and environment dynamics, 2016 12TH IEEE/ASME MESA IEEE (2016) Paper: 34 , 7 p
- [16] Tamás, Péter ; István, Lakatos ; Ferenc, Szauder Analysis of the Complex Environmental Impact on Urban Trajectories ASME 2015 New York (NY), USA DETC2015-47077; V009T07A071 , 7 p.
- [17] Kurzweil P, Garche J: Overview of batteries for future automobiles, Lead-Acid Batteries for Future Automobiles, Elsevier, 2017, Pages 27-96, ISBN 9780444637000, <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63700-0.00002-7>.