

Elektromos jármű akkumulátorok paraméter-eltéréseinek fuzzy elemzése

Pokorádi László*. Menyhárt József**

* Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, 1081 Budapest, Népszínház utca 8.
(e-mail: pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu)

** Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, 4028 Debrecen, Ótemető utca 2-4.
(e-mail: jozsef.menyhart@eng.unideb.hu)

Kivonat: A cikk egy elektromos hajtású jármű akkumulátorainak paraméter-eltéréseit vizsgálja. Bemutásra kerül a vizsgálat során felhasznált lítium polymer akkumulátor főbb tulajdonságai. Szemléltetésre kerülnek a tapasztalati és elméleti üzemeltetési paraméterek. A Szerzők a paraméter eltéréseket fuzzy vizsgálatnak vetik alá, amely segítségével a gyakorló szakemberek tapasztalatait felhasználva egy olyan üzemeltetési paraméter-intervallumokat állapítanak meg, melyek az akkumulátorok még megfelelő biztonsággal tovább üzemeltethetőek.

1. BEVEZETÉS

A modern járművek energiafelhasználása kiemelkedő témaként jelenik meg műszaki kutatások területén. A járművek a különböző környezeti normák miatt egyre inkább új alternatív energiaforrásokat alkalmaznak. Napjainkban az egyik legfontosabb és talán legígéretesebb energiaforrás a villamos áram.

Villamos áramot nem csak autonóm járművek használnak, hanem egyre inkább elterjedtebb ipari alkalmazásoknál és a mindennapos közlekedési eszközökben is. Közismert, hogy a ma használatos elektromos hajtású járművek a hagyományos fosszilis energiaforrással működő járművek hatékonyságát nem képesek elérni. Ennek érdekében a kutatások fő fókuszja az akkumulátorok teljesítményének és kihasználtságának biztonságos növelése.

Kwo Young (Kwo et al., 2013) és szerzőtársai az akkumulátor töltésének különböző stratégiáit ismerteti, valamint a hozzá kapcsolódó töltési rendszert. Részletesen kitér az akkumulátor cellák használatára és a cellák balanszírozásának fontosságára. Hasonló megközelítést ismertet Ehsani (Ehsani et al, 2010) szerzőtársaival. A Boston Consulting Group (Consulting Group, 2010) és Emödi (Emödi et al., 2006) bemutatást engednek a hajtás-kombinációk és energiaforrások technikai kérdéseibe. Az általuk leírtak alapján a lítium polimer akkumulátorok kiemelkedően jó tulajdonsággal rendelkeznek. Bill Canis (Canis, 2013) a lítium ion hajtáslánc kiemelkedő tulajdonságait szemlélteti a munkájában.

A fuzzy halmazelmélet alapjait Lofti A. Zadeh fektett le a 60-as évek közepén. A különböző igazságtartományok elmosódott határait vizsgálta, amelynek során a „fuzzy” nevet adta a kutatási területének. A magyar nyelvű szakirodalomban minősítő logikának is szokás nevezni (Tóthné Laufer, 2016). A fuzzyság alapvetően nem más, mint a pontatlanság egy típusa (Varga, 2010).

Pokorádi (Pokorádi, 2008) egy átfogó képet ad a fuzzy logika felhasználásával történő paraméter eltérések vizsgálatára repülőgépek esetében. Ez alapján megállapítható, hogy a fuzzy logika alkalmas paraméter eltérések és kockázatelemzési eljárások modellezésére. Johanyák (Johanyák & Kovács, 2011), (Johanyák, 2013) kis komplexitású fuzzy modelleket alkalmazott sikeresen különböző folyamatok eredményeinek becslésére többdimenziós esetekben.

Szabolcsi (Szabolcsi, 2004) és (Szabolcsi, 2011) könyvei, illetve a (MathWorks, 2013) irodalom kellő segítséget biztosítottak a feladat MATLAB szimulációjához.

Jelen kutató munkánk célja egy elektromos hajtású jármű lítium ion akkumulátorai paraméter eltéréseinek vizsgálata fuzzy halmazelmélet és MATLAB Fuzzy Logic Toolbox segítségével. A kidolgozott vizsgálati módszerrel kapott eredmények alapján meghatározható, hogy mekkora mértékű paraméter eltérés engedhető meg a lítium ion akkumulátorok feltöltöttségével kapcsolatban, ha azok üzemeltetése nem laboratóriumi körülmények közt történik (Pokorádi & Menyhárt, 2016).

A tanulmány az alábbi fejezetekből áll: A 2. fejezet az elektromos hajtású járművekhez használt akkumulátorok főbb tulajdonságait mutatja be. A 3. fejezet a paraméter eltéréseket vizsgálja fuzzy leírással, míg a 4. fejezetben a paraméter eltérések meghatározása kerül bemutatásra. A tanulmány az 5. fejezetben összefoglalással zárul.

2. AZ ELEKTROMOS JÁRMŰVEK AKKUMULÁTORAI

Tanulmányunk fókuszja az elektromos hajtású autonóm járművek, robotok akkumulátorai paraméter eltéréseinek vizsgálata. A Szerzők fontos energetikai kérdést vizsgálnak, mégpedig azt, hogy a járművek hajtásához használt akkumulátorokat az előírt paramétereken „túl” meddig lehet biztonságosan üzemeltetni.

Paraméter eltérésnek nevezzük egy rendszer szerkezeti, üzemeltetési és üzemi jellemzőinek névleges értékeitől való eltérést. Ennek oka lehet a gyártási pontatlanság, valamint az előírt üzemeltetési szabályoktól való eltérés. De, miért térünk el az előírásos üzemeltetéstől. Például azért annak pontos, egyértékű betartása lehetetlen. Gépjárművek esetén például a kötelező szervizmunkák nem végezhetőek el csak akkor, amikor a jármű a műszaki kiszolgáló helyre érkezik. Termelő vállalatoknál a tervszerű karban tartási munkák késésének oka például a fellépő extrém vevői igény, melynek kiszolgálása adott esetben a vállalat számára stratégia fontosságú kérdés.

Elektromos jármű-, és robothajtásoknál az egyik legfontosabb kérdés a megfelelő akkumulátor kiválasztás. Ennek kiválasztása során Emödi és szerzőtársai (Emödi et al., 2006) szerint a következő paraméterek a legfontosabbak [4]:

- ~ teljesítménysűrűség [kW/l] vagy [kW/kg];
- ~ energiasűrűség [kW·h/l] vagy [kW·h/kg];
- ~ kisütési/feltöltési ciklusok száma;
- ~ hatásfok [%];
- ~ önkisütés mértéke [%/nap];
- ~ környezetbarátság;
- ~ beszerzési ár;
- ~ előfordulás.

Fontos, hogy az energiatároló lehetőleg kis mérettel és tömeggel bírjon. Képes legyen elviselni a töltési és a kisütési folyamatokat. A teljesítménysűrűségtől függ a jármű dinamizmusa.

Az energiasűrűségtől függ, hogy a jármű mekkora utat tud megtenni tisztán csak villamos hajtással. A hibrid és villamos rendszerek milyenségétől, a járműtől megkövetelendő maximális hatótávolságtól és az alkalmazott villanymotor teljesítményétől függ, hogy milyen energiatárolót szükséges beépítenünk. Teljesítménysűrűség és energiasűrűség szempontjából a nikkelalapú akkumulátorok igen kedvezőek. Amíg az ólomakkumulátorok olcsóságuk miatt versenyképesek, addig a bipoláris ólomakkumulátorok teljesítményadatai kedvezőbbek.

A lítium-ion akkumulátorok teljesítménysűrűség és energiasűrűség szempontjából is kiemelkedőek, és élettartamuk is megfelelőnek bizonyul. A lítium-ion akkumulátorainak fejlesztése elsősorban az önköltség csökkentésére törekszik.

Létezik úgynevezett cink-levegő akkumulátor, amely úgynevezett primer akkumulátor. Nem tölthető, lemerülés esetén cseréje szorul. Használata hibrid járműveknél nem lehetséges (Emödi et al., 2006).

Az egyik legígéretesebbek a Lítium-polimer akkumulátorok, melyeket egyre szélesebb körben alkalmaznak nem csak a modellezők, hanem az jármű és robot iparban is (Canis,

2013). A lítium-polimer akkumulátor fontosabb paramétereit az 1. táblázat szemlélteti.

1. Táblázat Lítium-polimer akkumulátor főbb jellemzői
 forrás: (Emödi et al., 2006)

Energiasűrűség		Teljesítménysűrűség	
W·h/kg	W·h/l	W/kg	W/l
150	220	kb. 300	450
Élettartam		Ár	
ciklusszám	év	Eur/(kW·h)	
<1000	-	<225	

A legtöbb alternatív hajtású járművel kapcsolatos kutatások egyik alapvető kérdése, hogy mennyi energiát (energiasűrűség) tud magával szállítani a jármű, valamint ezt az energiát milyen intenzitással tudja a jármű rendelkezésére bocsátani (teljesítménysűrűség). Az előbbbitől a hatótávolság, az utóbbiától a menetdinamikai tulajdonságok függenek (Emödi et al., 2006).

A lítium-polimer akkumulátorok 60–100 °C üzemi hőmérsékleten működnek. Teljesítménysűrűségük közepes, energiasűrűségük kiemelkedő. Fontos kritérium náluk túltöltöttség és a nullára való lemerítés. Ilyen esetekben az akkumulátorok használhatatlanná válnak, túlmelegedhetnek és esetlegesen fel is robbanhatnak. Ezért kell fontos kérdésként kezelnünk az ilyen típusú akkumulátorok feltöltési, illetve kisütési fokainak meghatározását, és ellenőrzését.

Korszerű hibrid és elektromos járművekben elektronikus vezérlő egység biztosítja, hogy az akkumulátorok ne legyenek túltöltve és ne merüljenek teljesen ki. Az így használt akkumulátorok élettartama meglehetősen hosszú. A gyártók az akkumulátorokra 100000 – 200000 km garanciát vállalnak, attól függően, hogy a járművet hol értékesítették. Ha mégis cserélni kell az akkumulátorokat, akkor sem kell mindent, elég csak azokat a cellákat, amelyek tönkre mentek (Emödi et al., 2006).

3. PARAMÉTER-ELTÉRÉSEK FUZZY LEÍRÁSA

Elektromos hajtás során alkalmazott akkumulátorok fő megfigyelt paramétere a V feszültség, valamint az Ah teljesítmény. Ez a két paraméter nem csak az elektromos járművek hajtását biztosító motorok teljesítménye miatt fontos, hanem biztonságtechnikai kérdések is felmerülnek velük kapcsolatban. Lítium-polimer akkumulátorok esetében a megengedett legnagyobb és legkisebb értékek felfelé, illetve lefelé történő túllépése az akkumulátorok túlmelegedéséhez, majd az esetleges robbanásához vezethet. A cél a megengedhető paraméter eltérések meghatározása.

A lítium-polimer akkumulátorok gyakorlati használata során megfigyelhető, hogy a tapasztalati és az elméleti alsó és felső töltöttségi értékek nem egyeznek. Gyakorlati tapasztalatok alapján az akkumulátorokat tágabb tűréshatárok között lehet üzemeltetni, mint ahogy azokat labor körülmények között meghatározták. Az elméletileg meghatározott maximális,

névleges értéket 100 %-nak véve megállapítható, hogy akár 105 % feltöltés is megengedhető. Valamint a 76 %-os elméleti lemerítettség helyett akár 61 % is megengedhető. Ennek több oka is lehet. Az akkumulátorok élettartamát nagymértékben befolyásolják az üzemeltetési körülmények úgy, mint hőmérséklet, páratartalom, motorok terhelése, rezgések stb. Jelen tanulmányunknak nem célja ezeknek a paramétereknek a befolyásoló képességének vizsgálata.

A tapasztalati értékek főbb statisztikai adatait a 2. táblázat szemlélteti.

2. Táblázat Lítium-polimer akkumulátor paramétereinek relatív eltérései

		Tapasztalati értékek
V_{max} [%]	Min	100%
	Max	105,67%
	Átlag	104,85%
Ah_{max} [%]	Min	100%
	Max	105,57%
	Átlag	104,75%
V_{min} [%]	Min	76,19%
	Max	61,19%
	Átlag	61,9%
Ah_{min} [%]	Min	76,2%
	Max	61,37%
	Átlag	61,85%

A fenti statisztikai adatok alapján a paraméter eltérések fuzzy tagsági értékei a

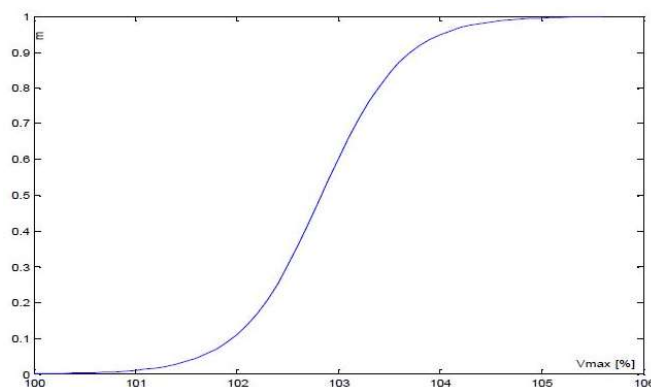
$$\mu_i(x) = \frac{1}{1 + e^{a_i(b_i - x)}} \quad (1)$$

általános alakú szigmoid függvényvel adjuk meg.

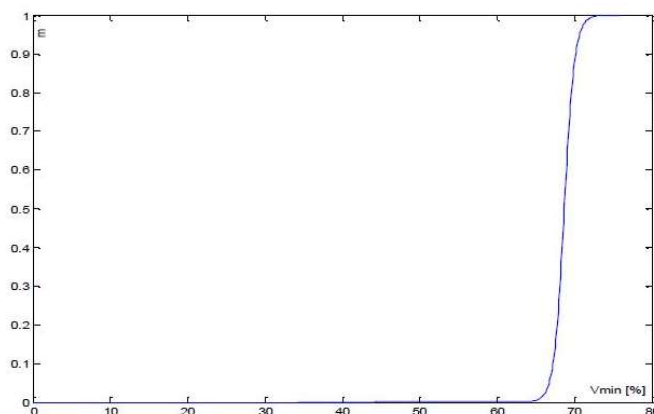
3. Táblázat Az (1) egyenlet függvényének együtthatói

Paraméter (i)	a_i	b_i
V_{max}	2.5	102.835
Ah_{max}	2.0	101.785
V_{min}	1.5	68.690
Ah_{min}	1.8	67.785

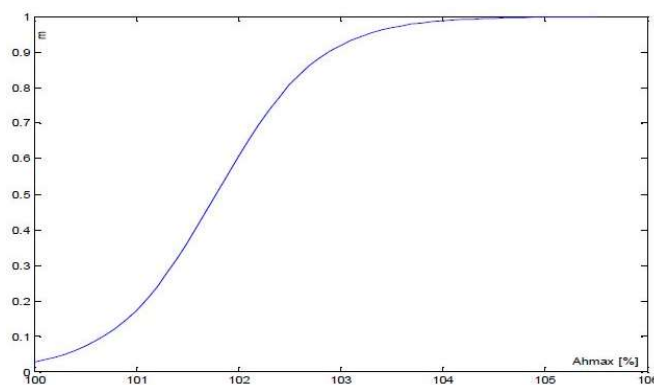
A függvények együtthatóit a 3. Táblázat tartalmazza. A tagsági függvényeket az 1. – 4. ábrák szemléltetik.



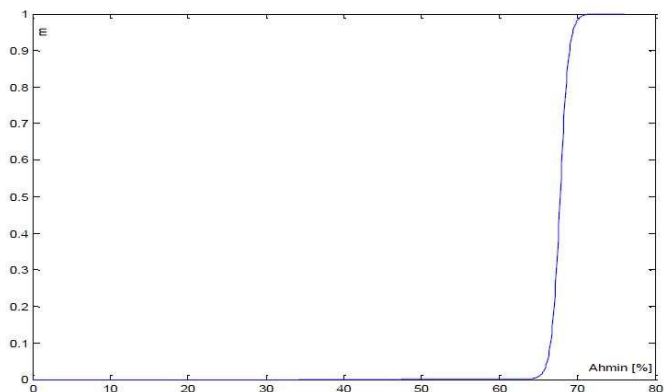
1. ábra V_{max} tagsági függvénye



2. ábra V_{min} tagsági függvénye



3. ábra Ah_{max} tagsági függvénye



4. ábra Ah_{\min} tagsági függvénye

HA a V eléri az alsó V_{\min} határt;
VAGY az Ah eléri az alsó Ah_{\min} határt;
AKKOR az akkumulátor töltését meg kell kezdeni. (4)

logikai kifejezést kell alkalmaznunk. Mivel a feltételek között itt is VAGY logikai kapcsolat áll fent, elegendő csak az egyik feltétel teljesülése is a kifejezés igaz voltához. Ezen logikai szabály igazságérték-felületét a

$$\mu(V_{\min}; Ah_{\min}) = \text{MAX} \left(\frac{1}{1 + e^{aV_{\min}(bV_{\min} - V)}} ; \frac{1}{1 + e^{aAh_{\min}(bAh_{\min} - Ah)}} \right) \quad (5)$$

függvénnyel tudjuk megadni, melyet a 6. ábra szemléltet.

4. A MEGENGEDHETŐ PARAMÉTER-ELTÉRÉSEK MEGHATÁROZÁSA

Az akkumulátoroknak két állapota van, amelyet a jármű energiaellátó rendszere figyel. Az egyik egy maximális szint, amelyet töltés során az akkumulátor elérhet, és egy alsó, minimális szint ameddig az akkumulátor lemerülhet. Mindkét szint elérése esetén beavatkozás szükséges. A töltést vagy meg kell kezdeni vagy abba kell hagyni. A megengedhető paraméter eltérések meghatározásához a következő logikai kifejezéseket kell szem előtt tartanunk:

4.1 Az akkumulátor feltöltéséhez kapcsolódó szabály

Ha az akkumulátor feltöltött, akkor a töltési folyamatot meg kell szakítanunk. Ekkor a

HA a V eléri a felső V_{\max} határt;
VAGY az Ah eléri a felső Ah_{\max} határt;
AKKOR az akkumulátor töltését meg kell szakítani. (2)

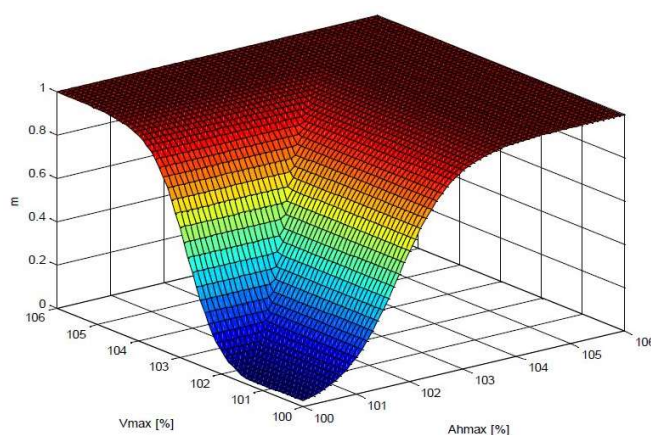
logikai szabályt kell alkalmaznunk. A feltételek között VAGY logikai kapcsolat áll fent, tehát legalább az egyik feltételnek teljesülnie kell, azaz a fuzzy logika alkalmazása esetén a MAXimum operátort kell használnunk. Ezen logikai szabály igazságérték-felülete a

$$\mu(V_{\max}; Ah_{\max}) = \text{MAX} \left(\frac{1}{1 + e^{aV_{\max}(bV_{\max} - V)}} ; \frac{1}{1 + e^{aAh_{\max}(bAh_{\max} - Ah)}} \right) \quad (3)$$

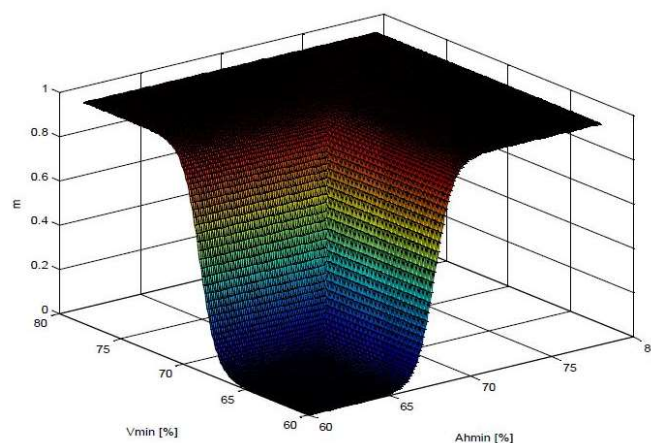
függvénnyel adható meg, mely az 5. ábrán látható.

4.2 Az akkumulátor merítéséhez kapcsolódó szabály

Ha az akkumulátor lemerített állapotba kerül, akkor a töltési folyamatot el kell indítanunk. Ebben az esetben a



5. ábra Az akkumulátor feltöltéséhez kapcsolódó szabály (4) igazságértékeinek felülete



6. ábra Az akkumulátor lemerítéséhez kapcsolódó (5) szabály igazságértékeinek felülete

4.3. A megengedhető paraméter eltérések értékei

Az akkumulátorok megengedhető töltési és kisütési értékeinek meghatározásakor figyelembe kell venni a szabályzó rendszer pontatlanságait, melyek hatása következtében nem a megfelelő időben (paraméter esetén) történhet töltés megszakítása, illetve indítása. Ezért a (2) – (3), illetve (4) – (5) logikai szabály és tagsági függvény alapján kell a töltési-kisütési folyamatot irányítanunk. A gyakorlati tapasztalatok alapján célszerű a megengedett igazságértékeket 0,7 – 0,8 között meghatározni. Ez azt jelenti, hogy 0,8-as igazságérték felett az akkumulátorok túltöltése vagy kisütöttsége veszélyessé válhat. A 4. Táblázat az akkumulátor feltöltöttségéhez, az 5. Táblázat pedig a merítéséhez kapcsolódó, 0,7 és 0,8 igazságértékhez tartozó értékeket szemlélteti.

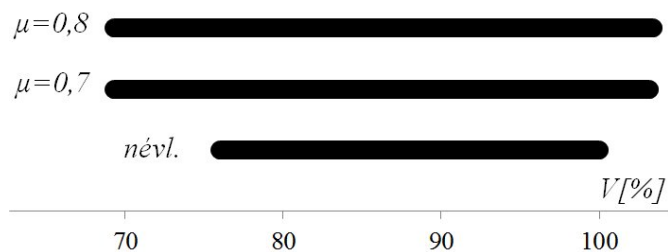
4. Táblázat V_{max} és Ah_{max} igazság értékei

δV_{max} [%]		δAh_{max} [%]	
$\mu=0,7$	$\mu=0,8$	$\mu=0,7$	$\mu=0,8$
103,2 %	103,4 %	102,2 %	102,5 %

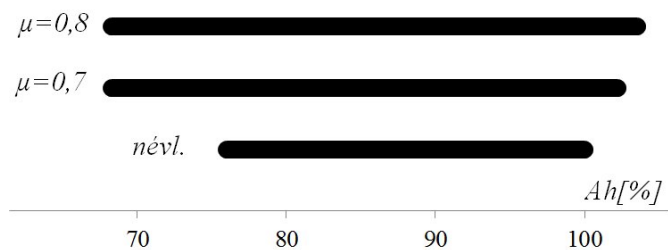
5. Táblázat V_{min} és Ah_{min} igazság értékei

δV_{min} [%]		δAh_{min} [%]	
$\mu=0,7$	$\mu=0,8$	$\mu=0,7$	$\mu=0,8$
69,62 %	69,26 %	68,56 %	68,26 %

A 4. Táblázat az akkumulátor feltöltöttségéhez, az 5. Táblázat pedig a merítéséhez kapcsolódó, 0,7 és 0,8 igazságértékhez tartozó értékeket szemlélteti. A 4. és 5. Táblázatok alapján a V feszültség, illetve Ah töltöttségi intervallumokat szemlélteti a 7., illetve 8. ábra.



7. ábra A V feszültség intervallumok összehasonlítása



8. ábra Az Ah töltöttség intervallumok összehasonlítása

Az akkumulátorok megengedhető töltési és kisütési értékeinek meghatározásakor figyelembe kell venni a szabályzó rendszer pontatlanságait, melyek hatása következtében nem a

megfelelő időben (paraméter esetén) történhet töltés megszakítása, illetve indítása. Ezért a (2) – (3), illetve (4) – (5) logikai szabály és tagsági függvény alapján kell a töltési-kisütési folyamatot irányítanunk. A gyakorlati tapasztalatok alapján célszerű a megengedett igazságértékeket 0,7 – 0,8 között meghatározni. Ez azt jelenti, hogy 0,8-as igazságérték felett az akkumulátorok túltöltése vagy kisütöttsége veszélyessé válhat.

4.4. Következtetések

A diagramokból és táblázatokból látható, hogy az akkumulátorok használata eltérő lehet az előirtaktól. Megfigyelhető, hogy az akkumulátorok merítési feszültsége (0,36 %) nagyobb tűréshatáron belül mozog, mint a töltési feszültsége (0,2 %). A feltöltési és lemerítési kapacitás azonos tűrési intervallummal bír.

A számítások alapján megállapítható, hogy az akkumulátorok egy töltésének kihasználtsága jelentősen növelhető a laboratóriumi körülmények közt meghatározott üzemeltetéshez képest. Ezen értékeket szemlélteti a 6. Táblázat, 100 %-nak tekintve a névleges kihasználtságot.

6. Táblázat A kihasználtságok az igazság érték függvényében

	$\mu=0,7$	$\mu=0,8$
V	139,9 %	142,25 %
Ah	140,02 %	142,67 %

A cikkben bemutatott módszerrel meghatározott töltési-kisütési intervallumok alkalmazásával növelhető az egy töltéssel megtehető távolság, valamint csökkenthető az akkumulátorok élettartam költsége.

A gyakorlati tapasztalatok alapján felvett igazságértékeknek köszönhetően az akkumulátorok töltési ciklusainak száma csökkenhet. Mivel az akkumulátoroknak nem csak a minimum szintjei, de a maximum értékei is változnak, ebből kifolyólag a jármű hatékonysága megnövekszik. Egy feltöltéssel nagyobb út megtételére lesz képes a jármű. Hosszú távon az üzemeltetési költségek csökkenhetnek, ha a tűréshatárokat megfelelő mértékben változtatjuk meg. Az üzemeltetési költségek túlmutatnak az akkumulátor pusztán töltésén. A karbantartási munkák száma csökken, és ezzel javul a járművek rendelkezésre állása. A rendelkezésre állás kifejezetten fontos lehet veszélyes feladatokat ellátó autonóm járművek esetében vagy ipari létesítményeknél, ahol a vevő és a különböző munkaállomások kiszolgálása elsődleges feladat. Az akkumulátorok élettartamának növekedése globális mértékben csökkenti a kiselejtezésük utáni inkurrencia költségeket és környezetterhelést is. A fentiek alapján kijelenthető, a fuzzy szabálybázisú döntésnek komoly lehetőségei vannak energetikai kérdések megválaszolásában, legyen az jármű, robot vagy épületenergetika.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A Szerzők rövid áttekintést adnak a vizsgálat tárgyát képező lítium polymer akkumulátorok főbb jellemzőiről és tulajdonságairól. Táblázatos formában szemléltetik a gyártó és a tapasztalati értékekből adódó akkumulátor paramétereit. Megállapításra került, hogy felhasználói oldalról a jármű akkumulátorai szélesebb tűréshatárok között használhatóak, mint ahogy azt a gyártó előírta. A szerzők fuzzy leírással szemléltetik a paraméter eltéréseket. Az értékeket 2 és 3 dimenziós ábrán is szemléltetik. A megfelelő szabálybázis segítségével a szerzők javaslatot tesznek olyan ideális üzemi paraméterekre, amelyek mellett a jármű akkumulátorai biztonságosan üzemeltethetők.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Canis, B. (2013). *Battery Manufacturing for Hybrid and Electric Vehicles: Policy Issues, Specialist in Industrial Organization and Business*, Congressional Research Service. 7-5700, R41709.
- Ehsani, M., A. Emadi, and Y. Gao (2010). *Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles*. In: CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA.
- Emődi I., Tölgyesi Z. and Zöldy M. (2006) *Alternatív járműhajtások*. Maróti Könyvkereskedés és Könyvkiadó Kft., Budapest.
- Johanyák Zs. Cs. and Kovács J. (2011) Fuzzy Model based Prediction of Ground-Level Ozone Concentration. *Acta Technica Jaurinensis, Series Intelligentia Computatorica*, Vol. 4. No. 1. 113-126.
- Johanyák Zs. Cs. (2013) Fuzzy Modeling Of Thermoplastic Composites' Melt Volume Rate. *Computing and Informatics*, Vol. 32, No. 4. 845-857.
- MathWorks, Fuzzy Logic Toolbox*
<http://www.mathworks.com/products/fuzzy-logic/>
(Letöltve: 2013.11.28).
- Pokorádi L. (2008) *Rendszerek és folyamatok modellezése*. Campus Kiadó, Debrecen.
- Pokorádi, L., Menyhárt, J. (2016). Electric Vehicles' Battery Parameter Tolerances Analysis by Fuzzy Logic, In: Proceedings of the 11th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics SACI 2016., (Ed. Szakál Anikó) 361-364.
- Szabolcsi R (2004). *A MATLAB programozása*. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest.
- Szabolcsi R (2011) *Korszerű szabályozási rendszerek számítógépes tervezése*, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest.
- The Boston Consulting Group (2010). *Batteries for Electric Cars, Challenges, Opportunities and outlook to 2020*. (<http://www.bcg.com/publications>)
- Tóthné Laufer E. (2016) *Forgácsolási paraméterkombinációk jósági tényezőjének fuzzy modell alapú becslése*, In: A XXI. Fialat Műszakiak Tudományos Ülésszaka előadásai, (Ed. Bitay E.) 409-412.
- Varga T. (2010) A Fuzzy logika alkalmazási lehetőségei a minőségtervezésben. *Debreceni Műszaki Közlemények*, vol. 2010/1. 43-51.
- Young, K., C. W. C. Wang, Y. Le Yi and K. Strunz (2013) *Electric vehicle Battery Technologies*, Springer, *Electric vehicle Inetgration into Modern Power Networks*, Brown, F., M.G.

+