

## Az elektromos járművekben használatos lítium-polimer akkumulátorok kisütés során fellépő hőmérsékleti hatások vizsgálata

Kocsis Szürke Szabolcs\*, Dr. habil Lakatos István Ph.D.\*\*

\*Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutató Központ, 9026. Győr, Egyetem tér 1.

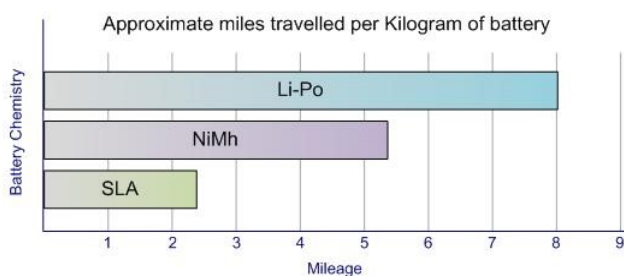
\*\*Széchenyi István Egyetem, Közúti és Vasúti Járművek Tanszék, 9026. Győr, Egyetem tér 1.

Abstract: A Járműipari Kutatóközpont kutatásai jelentős részben az elektromos hajtású gépjárművekkel kapcsolatosak. Ezen a területen belül a szerzők az elektromos és hibrid autókban használatos nagy kapacitású lítium-polimer akkumulátorok kisütése során fellépő hőmérséklet változását tanulmányozzák. Vizsgálják a hőmérséklet-változás kiváltó okait, hatását és kémiai hátterét. Kutatás célja egy olyan feszültség határ megválasztása, amely a kapacitás és élettartam függvényében optimális. <sup>[7]</sup>

### 1. BEVEZETÉS

Az elektromos közlekedés terjedése aktuális trend, amely az egész világon egyaránt megfigyelhető. A jelenleg futó számos hazai és nemzetközi projektek azt jelzik, hogy az elektromos gépjárművek a közel jövőben egyre nagyobb számban jelennek meg az utakon. A robbanásszerű elterjedés legfőbb gátja, hogy az akkumulátor-fejlesztésben továbbra sem történt olyan érdemi áttörés, amely az elektromos hálózatra csatlakoztatható gépjárművek technikai korlátait jelentősen csökkentette volna (pl. hatótávolság, élettartam és megbízhatóság terén). <sup>[1]</sup>

Az elmúlt években kialakult óriási igények és az ennek köszönhetően befektetett jelentős összegek, valamint a nyilvánvaló technikai előnyök (sokkal nagyobb energiasűrűség, nagyobb terhelhetőség, hosszabb élettartam, könnyebb kezelhetőség) következményeként a lítium bázisú akkumulátorok egyre nagyobb teret hódítanak maguknak. Egyre elérhetőbbek, gazdaságosabbak valamint nem utolsósorban megbízhatóbbak. <sup>[7]</sup>

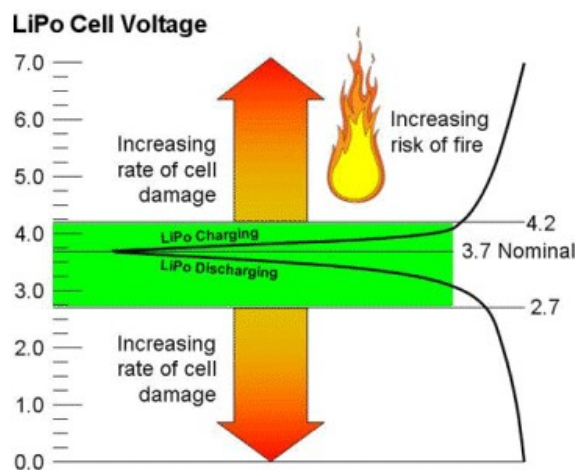


1. ábra Akkumulátor összehasonlítás <sup>[4]</sup>

Jelenleg elterjedt lítium akkumulátorok alkalmazásában számos fejlesztési és használati/üzemi probléma merül fel. Ezek a legtöbbször a következőkből adódhatnak:

- Túltöltés vagy a névlegesnél magasabb feszültséggel való töltés.
- Öregedési és elhasználódási probléma

A gyártók által megadott ideális töltés és kisütési szakasz látható a következő ábrán:



2. ábra Gyári töltési és kisütési értékek <sup>[5][6][9]</sup>

A lítium-polimer akkumulátorok jelenleg használatos és gyári értéként megadott 2,7V (3V)-4,2V-os tartományának optimalizálása a kutatás egyik főcélja. Az optimalizáció során nem kizárólag az akkumulátorok élettartama és hatékonysága a lényeges pont, hanem azok magas biztonsági foka és hosszú távú stabilitása legalább olyan fontos szerepet játszik.

A nem jól megválasztott feszültség tartomány az akkumulátor gyorsabb tönkremeneteléhez vezethet. Túltöltés esetén a legrosszabb esetben az akkumulátor akár ki is gyulladhat.



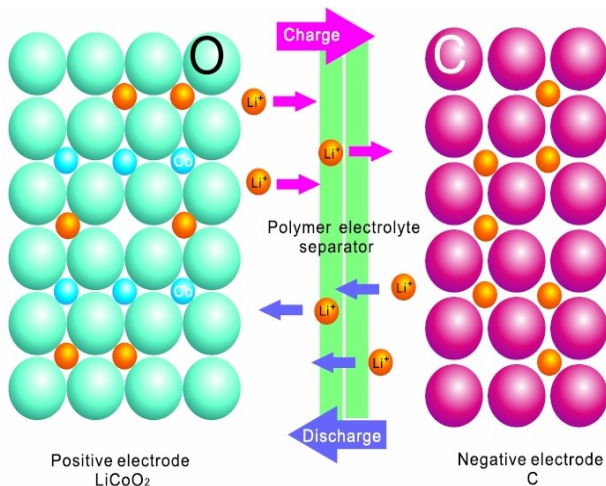
3. ábra Túltöltés [5][6]

Túlmerítés szintén nagymértékben károsítja a cellákat, jelentős kapacitás veszteséget okoz és egyes esetekben az akkumulátor teljes tönkremeneteléhez vezethet. Az akkumulátor cellák illetve pakkok hosszú üzemidejéhez szükséges tehát megtalálni azt a feszültség tartományt, ami legkevésbé roncsolja a cellákat. A gyártók által meghatározott alsó merítési tartomány hatására az akkumulátorok túl melegsznek és elkezdnek púposodni. Cél egy olyan feszültség tartomány megválasztása, amely nem jár melegedéssel, de a kapacitásának megközelítőleg a 100% felhasználható.

## 2. A LÍTIUM-POLIMER AKKUMULÁTOROK ÁLTALÁNOS KÉMIAI FELÉPÍTÉSE

Előnyük a hagyományos lítium akkumulátorokkal szemben, hogy nem vagy csak nagyon kis mennyiségben tartalmaznak folyékony elektrolitot. Helyette egy speciális szilárd polimer választja el az anódot és a katódot. Ez nagyon vékony és nagyon rugalmas cellákat eredményezhet, mivel nem kell vastag falú burkolattal védekezni a folyadék kifolyása ellen. [2][3]

A lítium polimer akkumulátorok töltés és kisütésének folyamata látható a következő ábrán:



4. ábra Lítium-polimer akkumulátor töltés és kisütése [12]

Az akkumulátor felépítése:

- katód:  $\text{LiCoO}_2$  vagy  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$
- szeparátor: vezetőképes polimer-elektrolit (polyethylene oxide, PEO)
- anód: Li vagy karbon-Li

Tipikus reakció:

- anód:  $\text{carbon-Lix} \rightarrow \text{C} + x\text{Li}^+ + x\text{e}^-$
- szeparátor:  $\text{Li}^+$
- katód:  $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2 + x\text{Li}^+ + x\text{e}^- \rightarrow \text{LiCoO}_2$

## 3. A TESZTELÉSHEZ SZÜKSÉGES EGYSÉGEK DEFINIÁLÁSA ÉS ÖSSZEKAPCSOLÁSA

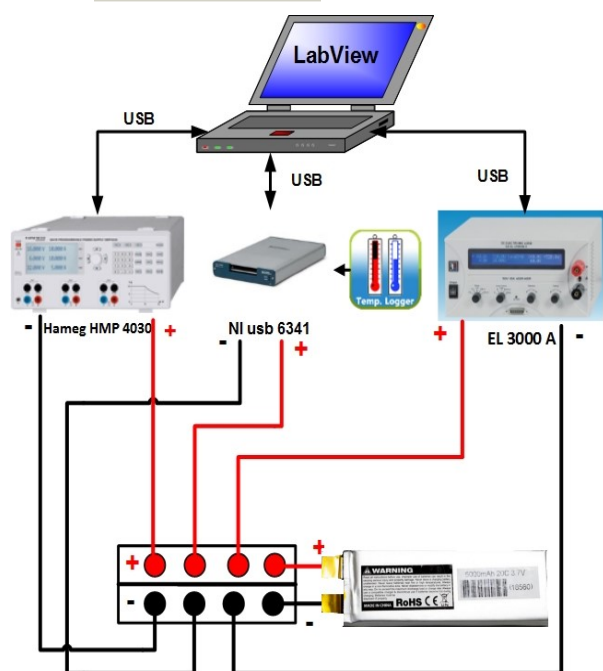
A tesztelési folyamatok végrehajtásához szükséges főbb egység az alábbiak:

- Tápegység: Hameg HMP 4030
- Műterhelés: EL-3000
- Adatgyűjtő: NI USB 6341
- Hőmérséklet szenzorok: LM35 CAZ
- A teszt levezérlésért felelős központi számítógép, LabView szoftver csomaggal
- Akkumulátor típusa: Turnigy nano-tech LiPo
  - Max feszültség: 4,2 V
  - Min feszültség: 2,7 -3,5V
  - Kapacitás: 5.000 mAh

A tesztek során felhasznált akkumulátor cella egy Turnigy nano-tech 5.000 mAh-as, amely előtte még nem volt használva.

A tápegység és a műterhelés egyaránt USB-porton keresztül képes csatlakozni a számítógéphez, melyeknél a lehetséges maximális beállítható baud sebesség 115 k. Az NI USB 6341 adatgyűjtő kártyaként funkcionál, feszültség és hőmérséklet értékeket gyűjt.

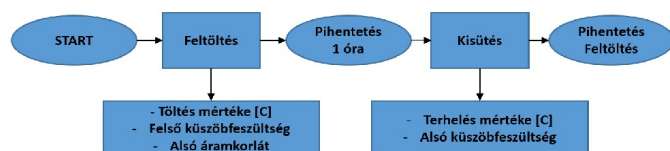
A töltő és kisütő áramkör és az akkumulátor összekötése az 5. ábrán látható blokk séma szerint került kialakításra. [7]



5. ábra Az akkumulátor-tesztelő kör blokkvázlata

#### 4. AUTOMATIZÁLT TÖLTÉSI ÉS KISÜTÉSI CIKLUS MEGVALÓSÍTÁSA

A töltési és kisütési ciklusok végrehajtásáért egy LabView szoftver csomagban fejlesztett program a felelős. A program képes a különböző paraméterek beállítása után levezényelni a teszteteket. A tesztelés a következő blokk vázlat szerint valósult meg:



6. ábra Tesztelési eljárás

A program a következő főbb paraméterekkel rendelkezik:

- töltéskor: töltőáram, alsó áramkorlát és felső feszültség korlát,
- a szünet ideje;
- kisütéskor: kisütési áram érték és alsó feszültség határ.

A külső és a cella hőmérsékletét folyamatosan monitorozzuk. Ha bizonyos határ fölé lép az akkumulátor hőmérséklete a teszt azonnal leáll.

A teszt működési alapelvei (sorrendje) a következők:

1. Az akkumulátor töltése konstans árammal, amíg az teljesen fel nem töltődik, és ezt követően a töltőáram a minimális áramkorlát alá nem esik.

2. A feltöltött akkumulátor pihentetése 1 órán keresztül.
3. Kisütés, amíg az előre meghatározott érték alá nem esik a küszöbfeszültség.
4. Pihentetés 1 órán keresztül és tárolási szintre töltés

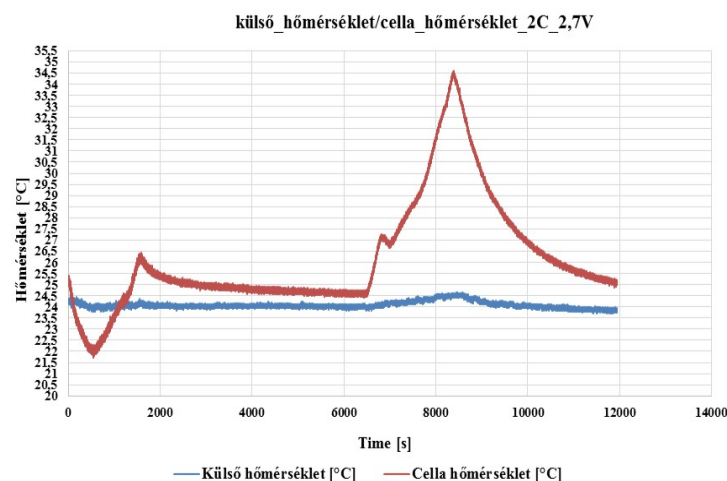
#### 5. HŐMÉRSÉKLETI-HATÁSOK

A hőmérséklet vizsgálatok során feltűnt, hogy a kisütési szakaszban a cella hőmérséklete nagymértékben megemelkedik. Ennek a hatásnak a vizsgálatára két szenzort helyeztünk el a rendszerben:

1. egyet a magára az akkumulátorra, a cella hőmérséklet mérésnek érdekében,
2. a másikat pedig a távolabb tőle a külső hőmérséklet figyelésére.

Ezt a két adatot összehasonlítva tudtuk megállapítani a cella melegedésének kezdetét és annak a mértékét. A szenzorok típusa: LM35CAZ. [7]

A 7. ábrán a külső hőmérséklet és cella hőmérséklet közötti különbség figyelhető meg 2C (10A)- és terhelés mellett, az alsó küszöbfeszültség 2,7V.

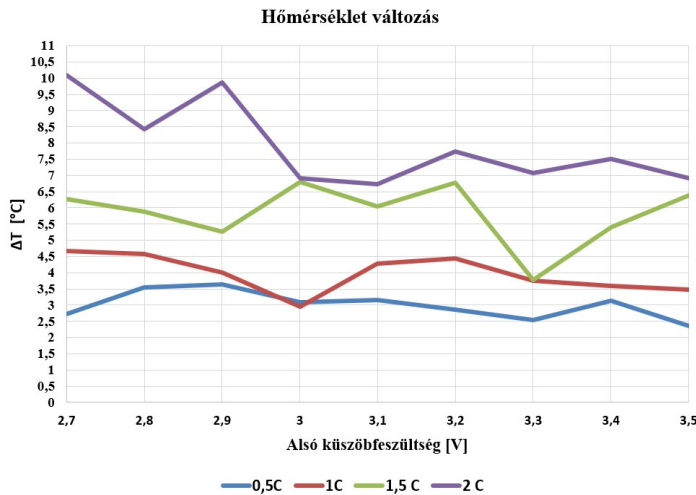


7. ábra Külső hőmérséklet/ cella hőmérséklet

A mérések során itt tapasztaltunk a legnagyobb hőmérséklet változást. A melegedés a külső hőmérsékletéhez képest itt: 10.1 °C volt.

Tesztek során „teljes” alsó küszöbfeszültség elemzést végeztünk. Tehát a kapacitás teszteket elvégeztük az alsó feszültség határ: 2,7V-3,5V közötti tartományban. Továbbá a terhelés mértéke: 0,5C (2,5A), 1C (5A), 1,5C (7,5A) és 2C (10A) között volt változtatva.

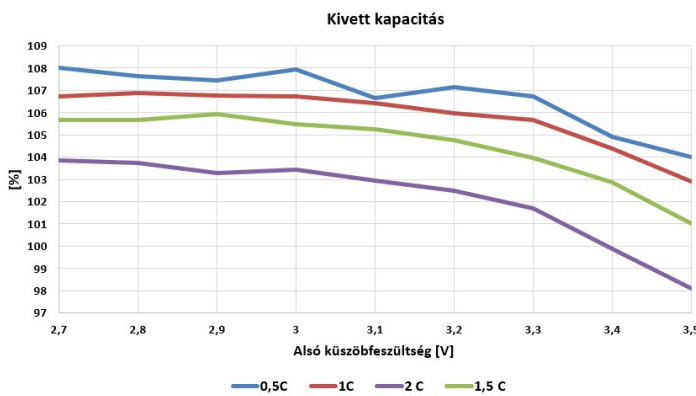
A következő ábrán a különböző terhelések mellett mért hőmérséklet-változás látható.



8. ábra Hőmérséklet-változás

Nagyobb terhelés mellett a hőmérséklet-változás  $\Delta T$  is jelentősen emelkedett. Továbbá az eredményekből az is látszik, hogy átlagosan, az alacsonyabb alsó küszöbfeszültség választás alacsonyabb hőemelkedéssel is járt.

A következő ábrán a különböző alsófeszültség korlát beállításának a hatása látható a kivett kapacitás függvényében.

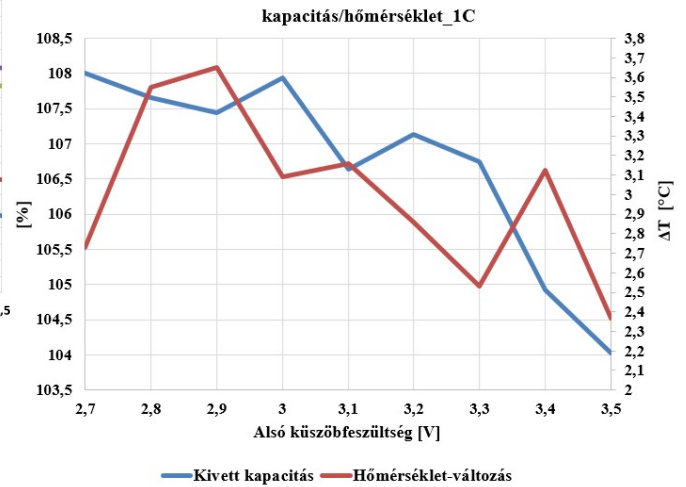


9. ábra Kivett kapacitás

A várt kapacitás 66.600 Joule, azaz 18,5Ah, az ehhez képest kivett Joule érték százalékos aránya látható, az alsó küszöbfeszültség függvényében az ábrán. Az eredményekből látható, hogy nagyobb terhelés mellett a kivethető kapacitás is csökken, a Peuker hatás végett ez várható jelenség. A Peukert-érték közvetlenül összefüggésben van az akkumulátor belső ellenállásával. Minél magasabb az akkumulátor belső ellenállása, annál nagyobb a kisütés/töltés közbeni veszteség, különösen nagyobb áramerősségnél. Ez azt jelenti, hogy minél gyorsabban sütünk ki egy akkumulátort, annál kisebb kapacitás vehető ki. Ellenben minél lassabban sütjük ki az akkumulátort, annál nagyobb a kivett kapacitás. [11]

Továbbá megfigyelhető, hogy átlagosan az alsó küszöbfeszültség emelésével a kivett kapacitás drasztikusan nem csökkent. Egy mérés kivételével az összes többi esetben a várt kapacitás mindég rendelkezésre állt.

A következő ábrán 1C (5A) terhelés mellett kivett kapacitás és a hozzá tartozó hőmérséklet emelkedés látható, az alsó küszöbfeszültség függvényében:



10. ábra Kivett kapacitás/ hőmérséklet

Az ábrán látható értékek alapján megfigyelhető, hogy a kivett kapacitás szintenként arányosan 1-2% csökken az alsó küszöbfeszültség emelésével. A hőmérséklet emelkedés is csökken, leszámítva néhány mérési hibának tűnő esetet. Ilyen lehet a 2,7V-os alsó küszöbfeszültségnél mért 2,4° C-os  $\Delta T$ , hőmérséklet emelkedés. Ezért érdemes minden tesztet többször elvégezni, hogy az esetleges ilyen és hasonló jellegű hibákat ki tudjuk szűrni.

## ÖSSZEGZÉS

A mérési eredményekből megállapítható, hogy érdemes nagyobb alsó küszöbfeszültséget választani. A kivett kapacitás romlás a legrosszabb esetekben is 5%-on belül maradt. A melegedés mértéke viszont akár 4 °C is lehet. (A mérések egy, ugyanazon cellán lettek elvégezve.) Tehát a gyártók által javasolt 2,7-3V (gyártó függő ajánlás) határ túl alacsony, különösebb kapacitás romlás nélkül választható 3,5V is alsó határként.

Nagyobb pakkok esetén ez a változás még jelentősebb is lehet. A mérés pontosságának és az esetleges hibák kiszűrésének érdekében érdemes a tesztet többször elvégezni. Továbbá más típusú, kapacitású és feszültségű akkumulátorokkal is elvégezni ezeket a méréseket. Az élettartamra gyakorolt hatás megállapításához, azonban további hosszú távú tesztek szükségesek a valós járműdinamika<sup>[16]</sup>, a valós közlekedési folyamatok<sup>[17,18]</sup> nagyméretű közlekedési hálózatok<sup>[19]</sup> és a speciális új járműtechnika figyelembevételével<sup>[20]</sup>. Csak így tudjuk meghatározni mennyi töltés/kisütés ciklussal lehet javítani a LiPo akkumulátorok élettartalmát a magasabb alsó küszöbfeszültség választással.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kiadvány a TÁMOP-4.2.1.C-14/1/Konv-2015-0005 azonosító számú, „Győri Tudás-Park-Kutatási-, innovációs és tudástranszfer tevékenységek kialakítása a győri növekedési zónában a Széchenyi István Egyetem és Győr Megyei Jogú Város Önkormányzatának együttműködésében” című projekt

keretében a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

#### IRODALOMJEGYZÉK

[1] PWC: A plug-in elektromos hibrid és a tisztán elektromos gépjárművek jövője Magyarországon

[2] <http://www.vilaglex.hu/Kemia>

[3] <http://www.physics.ttk.pte.hu/>

[4]

[http://batteryuniversity.com/learn/article/whats\\_the\\_best\\_battery](http://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_best_battery)

[5] [http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium\\_polymer\\_battery](http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_polymer_battery)

[6] <http://www.lipolbattery.com/>

[7] K. Sz. Szabolcs és D. h. L. István. Ph.D: "Akkumulátor tesztelési ciklusok kifejlesztése elektromos meghajtású járművekhez," in Innováció és fenntartható felszíni közlekedés, Budapest, 2014. augusztus 25-27.p.93-97.

[8] B. Lawson: The Electropaedia (<http://www.mpoweruk.com/>)

[9] Zhe Hao, Wei: Lithium Polymer Battery DATA SHEET

[10] Benger, R., Wenzl, H., Beck, H.P, Jiang, M., Ohms, D., Schaedlich, G.: Electrochemical and thermal modeling of lithium-ion cells for use in HEV or EV application, World Electric Vehicle Journal Vol. 3 - ISSN 2032-6653 (2009)

[11] D. Doerffel és S. A. Sharkh, „A critical review of using the Peukert equation for determining the remaining capacity of lead-acid and lithium-ion batteries,” in Journal of Power Sources 155 p.395–400, 2006

[12] <http://www.hypercellbattery.com/>

[13] Kocsis Szürke Szabolcs, Szuromi Csaba, Lakatos István: Nagy kapacitású lítium-ion akkumulátorok közötti használatát szimuláló rendszer tervezése: Implementation and design of a high-capacity in-vehicle lithium-ion battery simulation system

In: Csibi Vencel József (szerk.), OGÉT 2015: XXIII. Nemzetközi Gépészeti Találkozó - OGÉT 2015. Konferencia helye, ideje: Csíksomlyó, Románia, 2015.04.23-2015.04.26. Kolozsvár: Erdélyi Magyar Tudományos Társaság, pp. 195-199.

[14] Kocsis Szürke Szabolcs, Lakatos István: Akkumulátor tesztelési ciklusok kifejlesztése elektromos meghajtású járművekhez, In: Péter Tamás (szerk.), Innováció és fenntartható felszíni közlekedés, IFFK 2014. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2014.08.25-2014.08.27. Budapest: Magyar Mérnökakadémia, 2014. pp. 93-97., (ISBN:978-963-88875-3-5 ; 978-963-88875-2-8)

[15] Szabolcs Kocsis Szürke, István Lakatos: Thermo effect examination of the Lithium-polymer batteries during discharge, STUDIA OECOLOGICA 8:(1) pp. 31-39. (2014)

[16] T. Péter (1992) Reduction of parameters of spatial nonlinear vehicle swinging systems, for identification and purposes, PERIODICAPOLYTECHNICATransportation Engineering (ISSN: 0303-7800) (eISSN: 1587-3811) 36: (1) pp. 131-141. (1992)

[17] Zs., Bede, Sz. Géza, T. Péter (2010) Optimalization of road traffic with the applied of reversible direction lanes, PERIODICA POLYTECHNICA: TRANSPORTATION ENGINEERING 38:(1) pp. 3-8.

[18] T. Péter; S., Fazekas (2014) Determination of vehicle density of inputs and outputs and model validation for the

analysis of network traffic processes, PERIODICA POLYTECHNICA TRANSPORTATION ENGINEERING (ISSN: 0303-7800) (eISSN: 1587-3811) 42:(1) pp. 53-61.

[19] Péter T. (2007) Nagyméretű nemlineáris közlekedési hálózatok modellezése, Közlekedéstudományi szemle LVII. (9) pp.322-331. (2007)

[20] P. Bauer, Z. Preitl, T. Péter, P. Gáspár, Z. Szabó, J. Bokor (2006) Control oriented modelling of a series hybrid solar vehicle, Proceedings of WHSV International Workshop on Hybrid and Solar Vehicles. Salerno, Olaszország, 2006.11.05-2006.11.07. Univ. Salerno, 2006. pp. 19-26.