

## NAPELEMCELLA LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATA

**Bodnár István**

egyetemi adjunktus, Miskolci Egyetem, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,  
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [vegybod@uni-miskolc.hu](mailto:vegybod@uni-miskolc.hu)

### **Absztrakt**

A tanulmány egy napelemcella laboratóriumi körülmények közötti mérést mutatja be az MSZ EN 60904-9:2008 szabványnak megfelelő Napszimulátor alkalmazásának segítségével. A mérések 600; 800 és 1.000 W/m<sup>2</sup> megvilágítási intenzitásnál négy különböző cellahőmérséklet mellett történtek. A cella hőmérséklete hűtés nélkül 1.000 W/m<sup>2</sup>-nél elérte a 78 °C hőmérsékletet. Erős hűtésnél ez az érték csak 47 °C. Hűtés nélkül a napelemcella hőmérséklete 31 °C melegebbé szelődött el, a hűtött esethez képest, amely következtében 23%-kal kisebb teljesítményt szolgáltatott. A mérések során az U-I, az U-P és az R-P görbék kerültek felvázolásra.

**Kulcsszavak:** Napszimulátor, napelemcella, hőmérsékletfüggés, napelem karakterisztika

### **Abstract**

This paper presents the laboratory measurements of a solar cell with the MSZ EN 60904-9:2008 standard Sun simulator. The measurements were made 600; 800 and 1,000 W/m<sup>2</sup> intensity of light by four different cell's temperature. The cell's temperature without cooling is 78 °C by 1,000 W/m<sup>2</sup> intensity of light. The cell's temperature with cooling is 47 °C. The temperature of non-cooled cell 31 °C more than that cooled cell, as a result of this the power of the solar cell was decreased by 2%. During the measurements the U-I, U-P and R-P curves were plotted.

**Keywords:** Sun simulator, solar cell, temperature dependence, cell characteristics

### **1. Bevezetés**

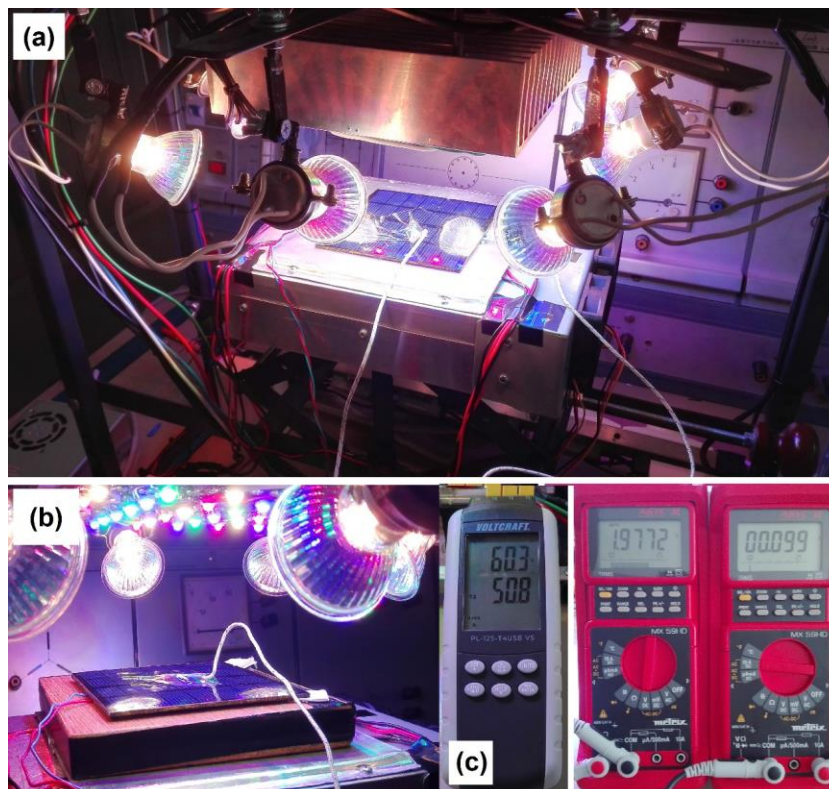
A napelemek vizsgálata egyre fontosabbá vált napjainkban, egyrészt mert a napelemek üzemi hatásfokát számos környezeti tényező befolyásolja, másrészt pedig mert azok a tényezők egyben visszahatást gyakorolnak a közcélú hálózatra. Ahhoz, hogy minél optimálisabban tudjunk üzemeltetni egy napelemes rendszert (hatásfokmaximum, hosszú élettartam, minimális hálózati visszahatás) minél pontosabban kell ismerni a napelemek és az abból felépített rendszerek működését. A megismerés folyamata a kísérletezgetés, amely nem csak a mérések elvégzését, hanem szimulációk készítését is egyaránt jelenti. Jelen tanulmányban a mérési úton történő viselkedés-elemzés kerül bemutatásra. Mivel az összehasonlíthatóság és a megismételhetőség nélkülözhetetlen az ilyen jellegű méréseknél, ezért a mérési sorozatot egy erre a célra kifejlesztett Napfény-szimulátorral végeztem. A napelemcellát sztenderd és nem sztenderd mérési körülmények mellett egyaránt vizsgáltam. A sztenderd mérési körülmények 1.000 W/m<sup>2</sup> intenzitást írnak elő, amit a Napszimulátor tud teljesíteni [1, 2].

A napelemek névleges villamos paraméterei a sztenderd mérési körülmények között történő mérésekkel határozható meg. Mivel a napelemek a működési idejük legnagyobb részében nem sztenderd

mérési körülmények között üzemelnek, ezért más megvilágítási intenzitás és hőmérséklet alkalmazásánál is végeztem vizsgálatokat. Ezen vizsgálati eredmények összességében adnak információkat a napelemek valós működéséről és a várható energiatermelésről, hatásfokról és nem utolsósorban az élettartamról [1, 2].

## 2. A mérések során használt Napfény-szimulátor

A laboratóriumi vizsgálatok elvégzésére szükség volt egy Napszimulátorra. Kutatómunkánk előzményeként sikerült kifejlesztenünk egy szabványos Napszimulátort. A napfény-szimulátorokra érvényes követelményekkel az *American Standard for Testing and Materials (ASTM) E972-es* szabványa foglalkozik. Magyarországon MSZ EN 60904-9:2008 jelöléssel és *Fotovillamos eszközök. 9. rész: Napszimulátorok teljesítőképességi követelményei (IEC 60904-9:2007)* jelent meg. E szabvány három szempont alapján három különböző osztályba sorolja a szabványos szimulátorokat, azonban a készülékeknek mindhárom kategória esetén biztosítani kell tudni a földfelszíni (AM 1,5), maximálisan  $1.000 \text{ W/m}^2$ -es átlagos fényintenzitás értéket. Az általunk tervezett és megvalósított napfény-szimulátor C osztályú, tehát mind a térbeli, mind pedig a frekvenciabeli inhomogenitás 10%-nál kisebb értéket képvisel [1, 2, 3, 7].



1. ábra. Mérési összeállítás (a), vizsgált napelem (b), hőmérséklet-, feszültség- és áramerősség mérés (c).

A laboratóriumi vizsgálatoknál a hőmérsékleti tranziens során vizsgáltam a terheletlen napelem elektronikai jellemzőinek változását. A napelem cella hőmérsékletének befolyásolását egy Peltier elem felhasználásával készített hűtőmodul biztosítja. A napelem hőmérsékletének mérését egy Voltcraft PL-125-T4 típusú négycsatornás digitális hőmérővel oldom meg, amely másodpercenként méri, illetve menti az eredményeket. Az áramerősség és feszültség méréseket két darab, METEIX MX 59H típusú digitális multiméter végeztem el. Az 1. ábrán megfigyelhető a kialakított mérő-apparátus.

### 3. A mérési eredmények

A laboratóriumi vizsgálatok két részre bonthatók, egyrészt hőmérsékleti tranziens során vizsgáltam a terheletlen napelem elektronikai jellemzőinek változását, másrészt állandó hőmérséklet és besugárzási értékek mellett vizsgáltam a terhelt napelem karakterisztikáit [1, 5].

A mérések minden esetben a korábban ismertetett napszimulátor megvilágítása mellett készültek el, amely szabályozhatósága lehetőséget ad különböző megvilágítási fényintenzitások kialakítására. A mérések során vizsgált polikristályos napelem típusa: *XINPUGUANG Mini module*, adattábláját az 1. táblázat foglalja össze.

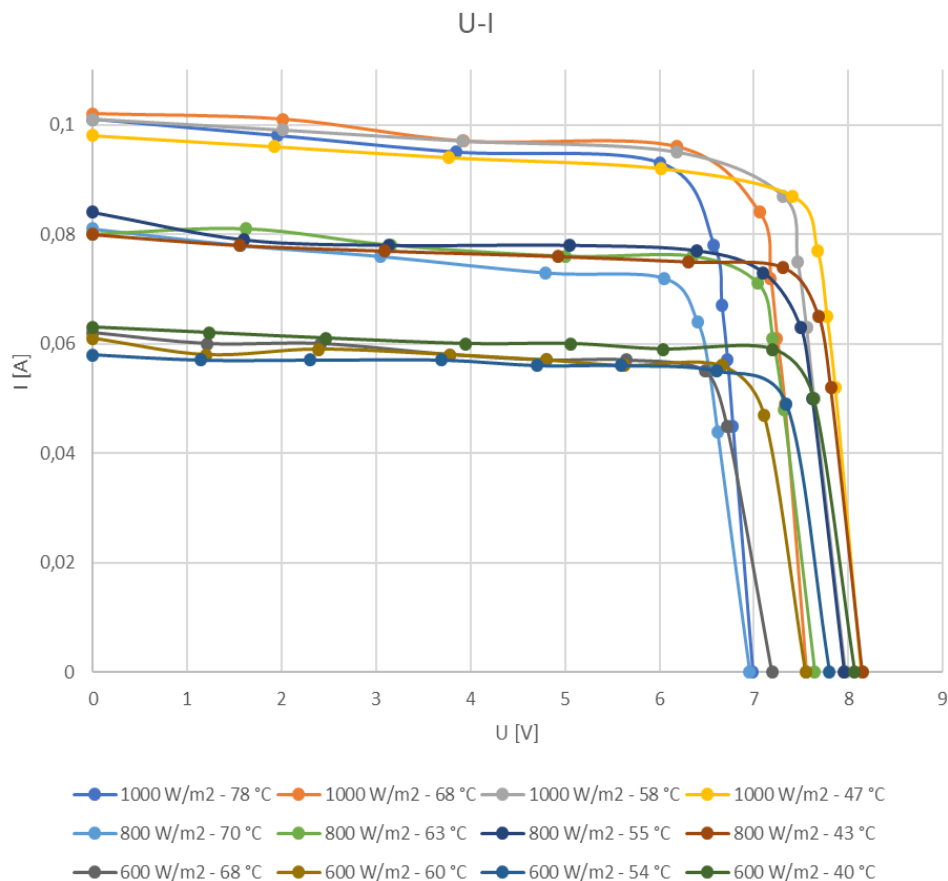
1. táblázat. *XINPUGUANG Mini module (napelem cella) adattáblája.*

Megnevezés	Jele	Értéke
Maximális valós teljesítmény	$P_{max}$	0,68 W
Maximális Teljesítményű Pont áramerőssége	$I_{mpp}$	0,094 A
Maximális Munka Pont feszültsége	$U_{mpp}$	7,2 V
Rövidzárási áramerősség	$I_{rz}$	0,115 A
Üresjárási feszültség	$U_{üj}$	8,4 V
Rövidzárási áramerősség hőmérsékleti állandója	$K_{I_{rz}}$	0,047 %/°C
Üresjárási feszültség hőmérsékleti állandója	$K_{U_{üj}}$	-0,32 %/°C

A napelem karakterisztikák meghatározása különböző terhelések esetén mért áramerősség és feszültség értékek alapján történik. A méréseket három fényintenzitás és négy stabilizált hőmérséklet esetére végeztem el. A 3. ábra az áramerősséget mutatja a feszültség függvényében az összes hőmérséklet/fényintenzitás érték esetére. A hőmérséklet értékek esetén eltérések tapasztalhatók adott hűtési mód esetére a megvilágítás intenzitásának függvényében. A négy hőmérséklet értéket a következő módokon biztosítjuk: a legmagasabb hőmérséklet elérése érdekében a napelemet egy falap segítségével elszigeteljük a hűtőmodultól, hisz az a Peltier-elemek működése nélkül is hőt von el a hűtőborda által; a következő hőmérséklet érték elérésekor a hűtőmodulon helyezkedik el a napelem, de az nem működik; a hűtés első fokozata során a hűtőmodul maximális teljesítményen működik; a legalacsonyabb hőmérséklet eléréséhez a hűtőmodul hűtését a napelem felületének ventilátoros hűtésével biztosítjuk. (Jelen mérések elvégzése esetén a léghőmérséklet meghaladja a 32 °C-ot, ez okozza a hűtőmodul teljesítményének drasztikus visszaesését.)

Az U-I jelleggörbéit megfigyelve egyértelmű trendeket vehetünk észre. Egyrészt látható, hogy a hőmérséklet csökkenése az üresjárási feszültség növekedését eredményezi, illetve az áramerősség

kismértékű csökkenése is észrevehető. Látható, hogy amikor előfordul közel azonos hőmérséklet különböző fényintenzitás értékek esetén akkor az üresjárás feszültségek szinte megegyeznek. Ez az üresjárás feszültség hőmérséklet függésének erős- és fényintenzitás függésének gyenge mivoltával magyarázható. Egyértelmű trendként jelenik meg, hogy az üresjárás feszültség nagymértékben függ a fényintenzitástól és ez a függés lineáris, hasonlóan az üresjárás feszültség hőmérsékletfüggéséhez. Hasonló eredményeket láthatunk Skoplaki és szerzőtársainál [5].

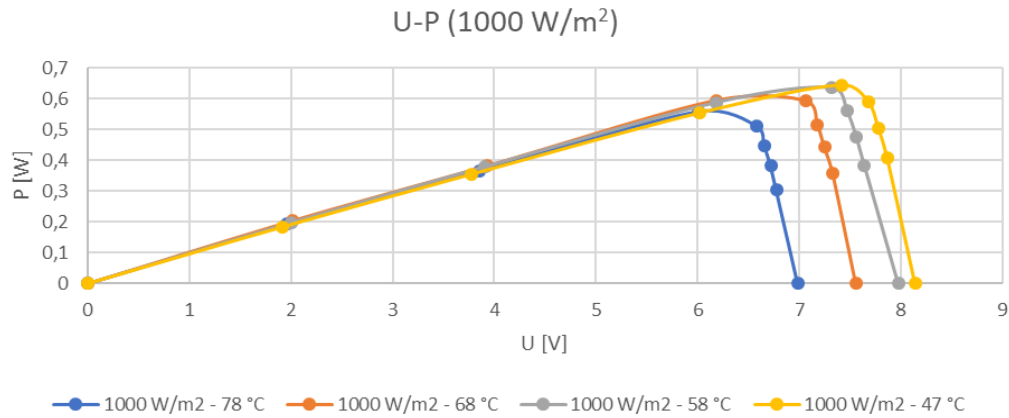


**3. ábra.** A napelem U-I jelleggörbéi különböző fényintenzitás- és hőmérséklet értékek esetére.

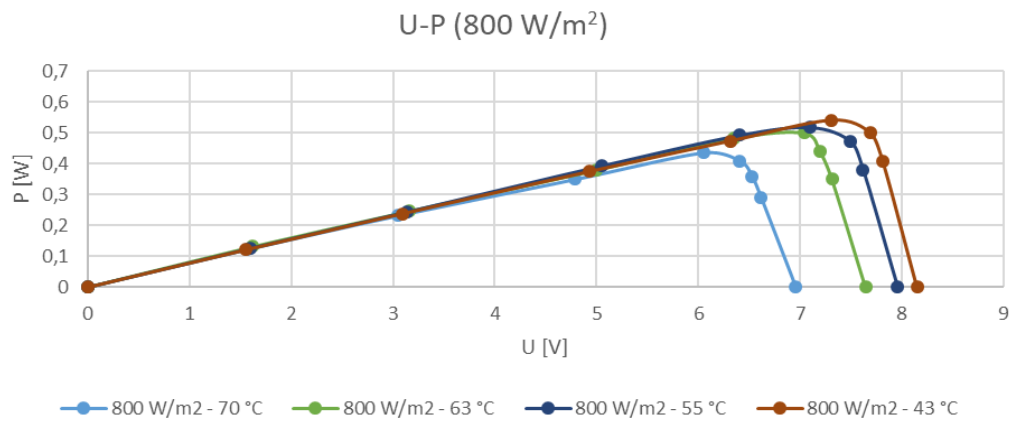
A másik fontos információt hordozó napelem jelleggörbe a teljesítmény-feszültség grafikon. A teljesítményt a feszültség és az áramerősség szorzataként számíthatjuk. A 4. ábra a teljesítmény alakulását mutatja a feszültség függvényében, -az átláthatóság kedvéért- egy fényintenzitás esetén (1.000 W/m<sup>2</sup>) és a különböző hőmérsékletértékekre. Hasonló eredményeket olvashatunk Munoz-Garcia és szerzőtársai publikációjában [6].

A 5. ábra a teljesítmény alakulását mutatja a feszültség függvényében, 800 W/m<sup>2</sup> fényintenzitás esetén és különböző hőmérsékletértékekre.

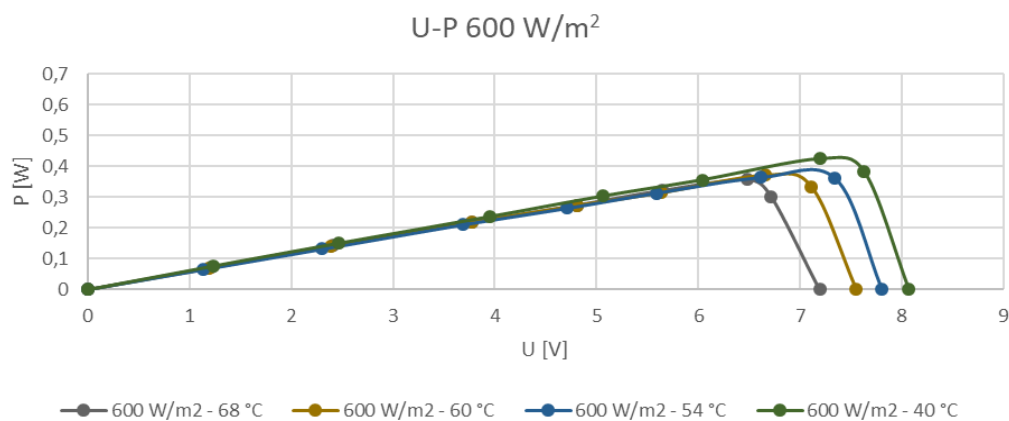
A 6. ábra a teljesítmény alakulását mutatja a feszültség függvényében, 600 W/m<sup>2</sup> fényintenzitás esetén és különböző hőmérsékletértékekre.



4. ábra. U-P jelleggörbék 1.000 W/m<sup>2</sup> fényintenzitás esetén különböző hőmérsékleteken.



5. ábra. U-P jelleggörbék 800 W/m<sup>2</sup> fényintenzitás esetén különböző hőmérsékleteken.

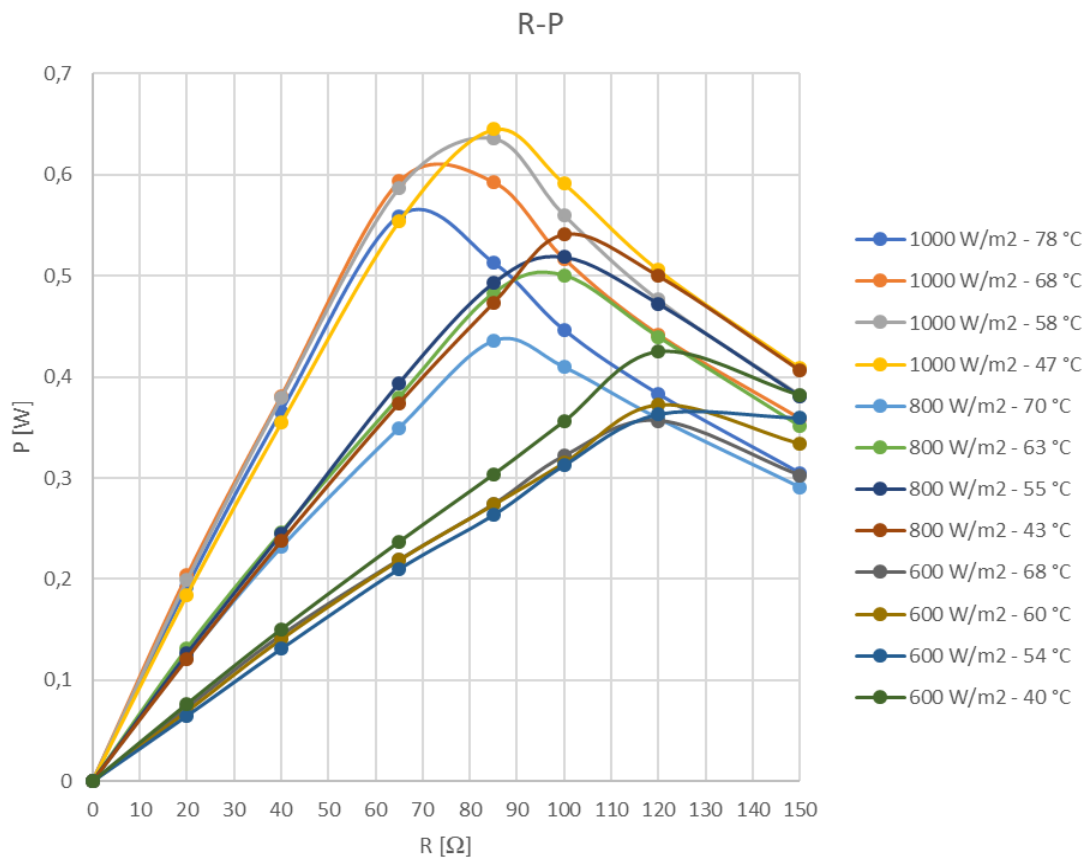


6. ábra. U-P jelleggörbék 600 W/m<sup>2</sup> fényintenzitás esetén különböző hőmérsékleteken.

A feszültség-teljesítmény ábrákat megfigyelve ugyancsak észrevehető a hőmérséklet és a fényintenzitás maximális teljesítményre gyakorolt hatása. A hőmérséklet növekedésével csökken a napelem maximális teljesítménye (belső ellenállással megegyező terhelés), amelyet a feszültség nagymértékű csökkenése és az áramerősség kismértékű növekedése okoz, amely szorzatuk így csökken. A fényintenzitás csökkenésével -a várható módon- csökken a napelem által maximálisan biztosítható teljesítmény. A leírt hőmérséklet és fényintenzitás függések is lineáris viselkedést mutatnak [4, 5, 6].

Fontos információkat ad a napelem működési jellemzőiről a teljesítmény ábrázolása a terhelő ellenállás függvényében. A 7. ábra a vizsgált hőmérséklet- és fényintenzitás értékek esetére mutatja az R-P görbéket.

A 7. ábrán megfigyelhető a kapcsolat hőmérséklet és a fényintenzitás változása, illetve a napelem Maximum Teljesítmény Pontjához (MPP) tartozó optimális terhelés értéke között. Látható, hogy a csökkenő fényintenzitás az optimális terhelés értékét növeli. A hőmérséklet növelése pedig az ideális terhelés értékét kismértékben csökkenti. Ez a hatás  $600 \text{ W/m}^2$  fényintenzitás esetén már csak elhanyagolható mértékben jelentkezik. Hasonló görbéket találunk Nagy és szerzőtársai publikációjában is [4].



**7. ábra.** U-P jelleggörbék Terhelő ellenállás - teljesítmény görbék a vizsgált hőmérséklet- és fényintenzitás értékek esetén.

#### 4. Összefoglalás

Összeségében elmondható tehát, hogy a mérések eredményei visszaigazolták az alapfeltevést, miszerint a hőmérsékletnövekedés a napelem cella hatékonyságát, ez által pedig a teljesítményleadó képességét rontja. A napelemek a valós működésük során csekély ideig üzemelnek a sztenderd által meghatározott körülmények között, így attól eltérő körülmények között is szükséges a napelemek vizsgálata.

A megvilágítás intenzitásának növelése eredményeként nőtt a napelem által szolgáltatott áramerősség, azonban a hőmérséklet is, amely következtében csökkent a feszültsége. A két érték szorzata ugyan nagyobb, mint a kisebb intenzitású megvilágításnál, azonban a hatásfoka csökkent. A 12 mérési görbe alapján elmondható, hogy a napelem hatásfoka a napelem hőmérsékletével fordított arányban áll. Minél melegebb a napelem, annál kisebb a hatásfoka. Elektronikai mivoltukból adódóan a tartósan nagy üzemi hőmérséklet az élettartamukat csökkenti. A napelem akkor üzemel a legnagyobb hatásfokkal, ha a benne képződő hő minél nagyobb mértékben elvezetésre kerül, azaz ha hűtve van. Természetes hűtést biztosít a légáramlás, azaz a szél, vagy a napelemet körülvevő hideg levegő. Tehát télen jobb hatásfokkal üzemelnek a napelemek, mint nyáron.

#### 5. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

#### Irodalom

- [1] Bodnár, I.: Electric parameters determination of solar panel by numeric simulations and laboratory measurements during temperature transient. *Acta Polytechnica Hungarica*. 2018, 15(4):59-82. <https://doi.org/10.12700/APH.15.4.2018.4.4>
- [2] Faragó, D., Bodnár, I., Bencs, P., Koós, D., Iski, P., Skribanek, Á.: Laboratory measurements and numeric simulation of a solar cell. 2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC). Article number 105. <https://doi.org/10.1109/CarpathianCC.2019.8765927>
- [3] Malik, A.Q., Damit, S.J.B.H.: Outdoor testing of single crystal silicon solar cells. *Renewable Energy* 2003, 28:1433–1445. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(02\)00255-0](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(02)00255-0)
- [4] Nagy, D., Rácz, E., Varga, A. Ruf, H., Neuchel, E., R.: Comparison of electric current – voltage, characteristics and maximal power point values of differently and artificially aged solar panels. *Proceedings of the 13<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics*. 2016. pp. 295-300. <https://doi.org/10.1109/SACI.2016.7507389>
- [5] Skoplaki, E., Palyvos, J.A.: On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. *Solar Energy* 2009, 83(5):614-624. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.10.008>
- [6] Munoz-Garcia, M.A., Marin, O., Alonso-García, M.C., Chenlo, F.: Characterization of thin film PV modules under standard test conditions: Results of indoor and outdoor measurements and the effects of sunlight exposure. *Solar Energy* 2012, 86(10):3049-3056. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.015>

- [7] Yadav, P., Pandey, K., Bhatt, V., Kumar, M., Kim, J.: Critical aspects of impedance spectroscopy in silicon solar cell characterization: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2017, 76:1562-1578. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.205>