

NAPELEM HŐMÉRSÉKLETFÜGGÉSÉNEK KÍSÉRLETEN ÉS SZIMULÁCIÓN ALAPULÓ VIZSGÁLATA

Bodnár István

Absztrakt: A tanulmány a napelem-karakterisztikák hőmérsékletfüggését mutatja be, hűtött és hűtés nélküli napelemek laboratóriumi és szimulációs vizsgálatán keresztül. A napelemek által leadott villamos energia feszültségét és áramának erősségét a hőmérsékletváltozás jelentős mértékben befolyásolja. A hőmérséklet növekedésének eredményeként az üresjáratú és a terhelte napelem kapocsfeszültsége egyaránt csökken, amely közvetlenül teljesítménycsökkenést és hatásfokromlást eredményez. A besugárzó fény intenzitásának növekedése lineárisan növeli a napelem által leadott áramot, aminek következtében a napelem hőmérséklete az átfolyó áramok négyzetével arányosan nő, amely végeredménye a feszültség csökkenés, azaz a hatásfok romlása. Mindezek kiküszöbölése érdekében szükséges a napelem hőmérsékletének csökkentése. A dolgozatban különböző hőmérsékleten végzett mérésekhez tartozó jelleggörbék kerülnek bemutatásra.

Abstract: This paper presents the temperature dependence of solar cell characteristics by laboratory measurements and numerical simulation in case of cooled and non-cooled solar cells. The voltage and current level of electricity, provided by solar cells are highly influenced by the temperature change. The output voltage level of both an idle and a loaded solar cell is decreased by the temperature increase which also leads to power decrease and efficiency deterioration. The intensity increase of the irradiating light linearly increase the current, provided by the power cell which highly increase the temperature of the solar cell and that leads to voltage decrease and efficiency deterioration too. To prevent these processes, it is needed to reduce the temperature of the solar cells. The measured characteristic curves at different temperatures are presented in this paper.

Kulcsszavak: napelem, hőmérsékletfüggés, karakterisztika, napszimulátor

Keywords: photovoltaic, solar cell, temperature dependence, characteristic, solar simulator

1. Bevezetés

Világunk egyik központi eleme az energia. Manapság egyre jobban előtérbe kerülnek a megújuló energiaforrások, legfőképpen Földünk éltető eleme, a Nap, tehát aktuális téma a napenergia számunkra előnyös átalakítására szolgáló berendezések vizsgálata. A Nap nemcsak minden földi élet fenntartója, hanem egész naprendszerünk központi égiteste, amelyben fúziós folyamatok zajlanak le. Hidrogén atomok egyesülnek hélium atomokká, amely reakció során fellépő tömegvesztés (4 millió tonna/sec.), energiává alakul át. 1 kg hélium képződésekor körülbelül 180 millió kWh energia szabadul fel. A Föld atmoszférájának határára a Naptól 1,37 kW/m² energiájú sugárzás érkezik, ezt nevezzük napállandónak. A napsugárzás energiája jelentős mértékben lecsökken mire a földfelszínre ér, így maximálisan 1.000 W/m² fényintenzitás tapasztalható szép, napos nyári időben (Gööz, 2007).

A Naptól érkező, a felső légkört elérő energiát tekintve 100%-nak, a földfelszínt 33% direkt- és 18% szórt sugárzás éri el. A kettő összege adja a globálsugárzás értékét, amelynek a 10%-át a felszín visszaveri és ennek csak 5%-a nyelődik el a légkörben, a többi a világűrbe távozik. A sugárzás összetétele jelentős szerepet játszik a hasznosíthatóságában (Gööz, 2007).

A napenergia hasznosításának két fő irányvonalát különböztetjük meg. Ezek az úgynevezett passzív és aktív hasznosítási formák. A passzív napenergia felhasználás lényegében az épületek energiamérlegének az energiafelhasználás szempontjából a legkedvezőbb irányba történő befolyásolása. Már az ókori időktől fogva megfigyelhető a tudatosság az épületek tájolásában és kialakításában, azzal a céllal, hogy a napsugárzás pozitív hatásait kihasználják.

Az aktív napenergia-hasznosítás eszköztára széles skálán mozog. Az eróművi célokra kifejlesztett módszerektől kezdve az egészen kicsi, lakossági felhasználókat kiszolgáló berendezésekig lehetőség van a Nap energiájának hasznosítására. Az energia-átalakítási folyamat végeredménye alapján a napenergia-átalakító berendezések két típusát különböztetjük meg. A napkollektorok használati melegvizet állítanak elő, valamilyen technológiai vagy lakossági célú felhasználásra, a napelemek villamos energiát termelnek. E berendezések közül a napelem az, amely energiatermelését a legnagyobb mértékben befolyásolja a sugárzás típusa. Míg a napkollektorok a szórt sugárzást is kedvező hatásokkal, addig a napelemek jellemzően csak a direkt sugárzást tudják hasznosítani. A működésüket a napsugárzás összetétele és intenzitása mellett a környezeti, valamint az üzemi hőmérséklet is befolyásolja, ezért vált szükségessé a vizsgálatuk.

2. A napelemek működése, helyettesítő kapcsolása és karakterisztikája

A napelemek olyan berendezések, amelyek a napenergiából közvetlenül villamos energiát képesek előállítani, működésük alapja a fényelektromos hatás. Lakossági és ipari felhasználásban is egyre nagyobb számban alkalmazzák őket. Fejlődésük következményeként hatásfokuk egyre növekszik, míg előállítási költségük csökken.

A típusától függően a napelem hatásfoka elérheti a 22%-ot is. A jelenleg használt napelemek döntő többsége szilícium félvezetőkön alapszik, de folyamatos kutatások irányulnak új technológiák fejlesztésére, amelyekkel az eddigi maximális hatásfokok javíthatók. A napelemeknek három típusa terjedt el: az amorf, amely átlagos hatásfoka 5–8%, a polikristályos, ami 8–13% hatásfokkal működik és a monokristályos, amely hatásfoka meghaladhatja a 13–18%-ot (Kovács, 2008).

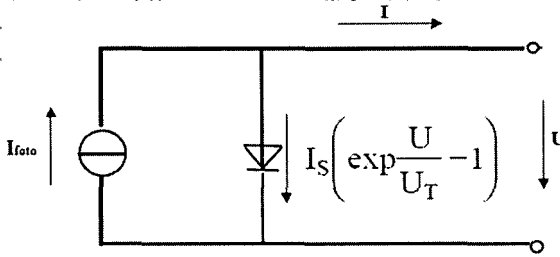
2.1. Napelem áramerősségének és feszültségének hőmérsékletfüggése

A megvilágítás hatására a napelem kivezetésein $U_{ü}$ üresjárási feszültséget és I_r rövidzárási áramot mérhetünk. Ha terhelést kötünk a napelem sarkaira, akkor U feszültséget és I áramot tapasztalhatunk, amelyek rendre kisebbek, mint a terhelés nélküli esetben tapasztalt értékek. A kivezetéseken mérhető I áram az I_{foto} fotoáram és az $I_{sötét}$ sötétáram különbségéből adódik, a sötétáram a napelem félvezető jellegéből adódóan exponenciálisan függ a hőmérséklettől és lineárisan az I_s telítési áramtól, ezt a (1)-es képlet írja le (Szász, 2017; Dubey et al., 2013):

$$I = I_{foto} - I_{sötét} = I_{foto} - I_s \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

A napelem egyszerűsített, elektronikai modellje, minden ohmikus és kapacitív jellegű elemet elhanyagolva egy diódából és egy vele párhuzamosan kötött áramgenerátorból áll, amely által előállított áram áramerőssége a megvilágítás mértékétől függ. Ezt a modellt és a korábbiakban említett I , $I_{s\ddot{o}r\ddot{e}t}$, I_{foto} áramirányokat a 1.-es ábra tartalmazza.

1. ábra: Ideális, terheletlen napelem modellje



Forrás: Kovács (2008) és Mizsei (2003) nyomán

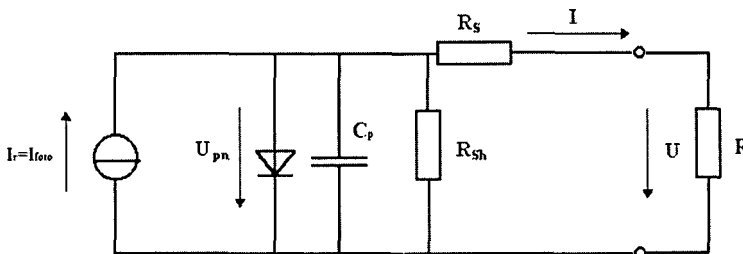
Az $U=0$, illetve az $I=0$ behelyettesítéssel könnyen kifejezhető a rövidzárási áram (2) és az üresjárási feszültség (3). Az üresjárási feszültség logaritmikusan függ az áramviszonyoktól és lineárisan az U_T hőmérsékletfüggő termikus feszültségtől. Ennek megfelelően (King et al., 1997):

$$I_r = I_{foto} \tag{2}$$

$$U_{\ddot{u}} = \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{I_{foto}}{I_s} + 1\right) = U_T \ln\left(\frac{I_{foto}}{I_s} + 1\right) \tag{3}$$

Amennyiben a napelem valóságos elektronikai modelljét tekintjük, akkor a veszteségek nem hanyagolhatóak el. Ekkor a diódák parazitakapacitását jelképezvén egy kondenzátort kötünk párhuzamosan a diódával. A belső ellenállás és a vezetékek ellenállását egy-egy soros és párhuzamos ohmos ellenállás jelképezi. A napelem valós elektronikai modellje a 2. ábrán látható.

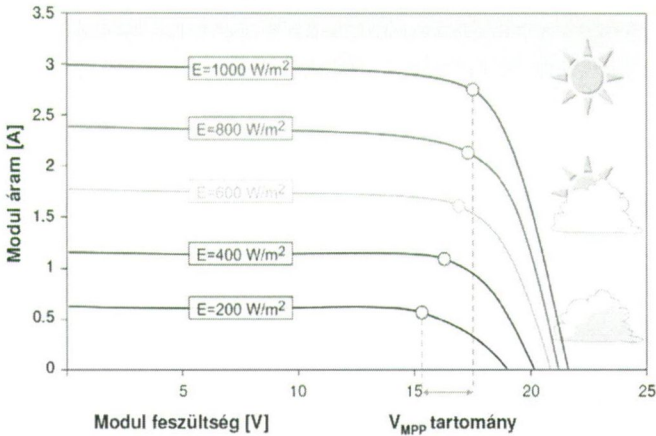
2. ábra: Napelem valóságos elektronikai modellje



Forrás: Kovács (2008) és Mizsei (2003) alapján

A 3. ábrán megfigyelhetők az U - I karakterisztikák eltérő fényintenzitások esetén. Látható, hogy a rövidzárási áram egyenesen arányos a megvilágítás erősségével, hisz a fotoáram nagysága a fényintenzitással nő és a (2) képlet kimondja, hogy a fotoáram megegyezik a rövidzárási árammal. A (3) összefüggésből láthatjuk, hogy a kivezetéseken mérhető üresjárási feszültség pedig logaritmikusan függ a felületre érkező fényintenzitás nagyságától.

3. ábra: Napelem feszültség-áramerősség jelleggörbéi különböző fényintenzitások esetén



Forrás: Armin (2002)

2.2. Teljesítmény és hatásfok függése a hőmérséklettől

A napelem kapcsaira kapcsolt R ellenállással modellezhető terhelésen átfolyó I áramerősség és a rajta eső U feszültség szorzataként számolható a napelem hasznos P teljesítménye (Szász, 2017):

$$P = IU = I_r U - I_s U \exp\left(\frac{U}{U_T} - 1\right) \quad (4)$$

A napelemről az adott megvilágítás mellett a maximális teljesítmény levétele terhelésillesztési feladattal oldható meg. A (4) összefüggés szélsőértékének megkereséséhez parciálisan deriváljuk a függvényt U szerint és keressük a $\frac{\partial P}{\partial U} = 0$ egyenlet megoldását. Ebből kifejezhető a maximális teljesítményhez tartozó munkaponti- I_m áramerősség (5) és U_m feszültség (6) (Szász, 2017):

$$I_m = -\frac{U_m}{U_T} I_s \exp\left(\frac{U_m}{U_T}\right) \approx -I_r \left(1 - \frac{U_T}{U_m}\right) \quad (5)$$

$$U_m = U_0 - U_T \ln\left(1 + \frac{U_m}{U_T}\right) \quad (6)$$

Az Ohm törvény alapján az (5) egyenletből kifejezhető az optimális R_m terhelés értéke (Szász, 2017):

$$R_m = -\frac{U_m}{I_m} = \frac{U_T}{I_s \exp\left(\frac{U_m}{U_T}\right)} = \frac{U_T}{I_m + I_s + I_r} \quad (7)$$

A terhelő ellenállás értéke ideális esetben megegyezik a napelem belső ellenállásának az értékével. Az úgynevezett φ térkitöltési tényező mutatja meg azt, hogy a munkaponti feszültség- és áramerősség szorzata hogyan viszonyul az üresjáratú feszültség- és a rövidzárlati áramerősség szorzatához:

$$\varphi = \frac{U_m I_m}{U_{\ddot{u}} I_r} \quad (8)$$

A térkitöltési tényező, vagy más néven forma tényező (fill factor) értéke függ a napelem megvalósításától és a megválasztott munkaponttól. A φ értéke a gyakorlatban használt napelemek esetén 0,75 és 0,85 értékek között mozog. A térkitöltési tényező megmutatja, hogyan aránylik egymáshoz a maximálisan levehető teljesítmény az $I_r \cdot U_{\ddot{u}}$ szorzat által meghatározott elméleti teljesítményhez.

A napelem modul η_{max} maximális hatásfoka a napelem által leadott maximális teljesítmény és a hasznos felületre eső $P_{fény}$ fénytelsítmény hányadosából számítható ki (Szász, 2017):

$$\eta_{max} = \frac{I_m U_m}{P_{fény}} = \frac{\varphi I_r U_{\ddot{u}}}{P_{fény}} \quad (9)$$

2.3. Hőmérséklet és intenzitás hatása az áramerősségre és feszültségre

A napelem $T_{\ddot{u}}$ üzemi hőmérséklete az alábbi (9) összefüggéssel határozható meg:

$$T_{\ddot{u}} = (T_N - T_K) \cdot \frac{E_{int}}{E_{STC}} + T_K, \quad (10)$$

ahol:

T_N = a napelem névleges hőmérséklete (K),

T_K = a környezeti hőmérséklet (K),

E_{int} = a megvilágítás intenzitása (W/m^2),

E_{STC} = a standard méréshez tartozó intenzitás ($1.000 W/m^2$).

Ezek figyelembevételével meghatározható a fotóáram a hőmérséklet függvényében (Dubey et al., 2013; King et al., 1997):

$$I_{foto} = I_{SCN} \cdot [1 + \mu_{ISC} \cdot (T_{\ddot{u}} - T_K)] = I_{SCN} + K_{ISC} \cdot (T_{\ddot{u}} - T_K) \quad (11)$$

ahol:

I_{SCN} = a standard méréshez tartozó rövidzárlati áramerősség (A),

μ_{Ir} = a rövidzárlási áram százalékos hőmérsékleti együtthatója (%/K),

K_{ISC} = a rövidzárlási áram hőmérsékleti együtthatója (A/K).

Amennyiben az intenzitás is változik, a fotóáram értéke az alábbiak szerint írható le (King et al., 1997):

$$I_{foto} = \frac{E_{int}}{E_{STC}} \cdot I_{SCN} \cdot [1 + \mu_{Ir} \cdot (T_{\bar{U}} - T_K)] = \frac{E_{int}}{E_{STC}} \cdot I_{SCN} + K_{ISC} \cdot (T_{\bar{U}} - T_K). \quad (12)$$

Az (11) összefüggés alapján elmondható, hogy a megvilágítás intenzitása és a hőmérséklet változása is lineárisan befolyásolja a napelem átfolyó áram erősségét, amiről arra lehet következtetni, hogy ha nő a megvilágítás intenzitása, és/vagy a napelem hőmérséklete, akkor a feszültség csökken, így a napelem hatásfoka is csökken.

A telítési áram értéke a hőmérséklet függvényében a két dióda modell alapján írható fel (13) (Szász, 2017).

$$I_s = \frac{I_{foto}}{\left[\exp \left(\left(\frac{e \cdot U_{OC}}{n \cdot k \cdot T \cdot N_s} \right) \cdot (1 + \mu_{UOC} \cdot (T_{\bar{U}} - T_K)) \right) \right] - 1}, \quad (13)$$

ahol:

μ_{UOC} = az üresjáratú feszültség százalékos hőmérsékleti együtthatója (%/K),

e = az elektron töltése ($1,60 \cdot 10^{-19}$ C),

n = Dióda idealizáltsági faktor, a 2-dióda modell alapján értéke 2,

k = Boltzmann állandó ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K),

N_s = Sorosan kapcsolt cellák száma (18 db).

Az üresjáratú feszültség hőmérsékletfüggése (King et al., 1997):

$$U_{OCT} = U_{OCN} \cdot [1 + \mu_{UOC} \cdot (T_S - T_A)] = U_{OCN} + K_{UOC} \cdot (T_S - T_A), \quad (14)$$

ahol:

K_{UOC} = az üresjáratú feszültség hőmérsékleti együtthatója (V/K).

3. A mérési összeállítás

A napelem egy vele megegyező méretű asztalon lett elhelyezve úgy, hogy a napelem két rövidebb szélé alá egy-egy 50 mm vastagságú falecet helyeztem, ezzel kialakítva egy áramlási csatornát a napelem hátlapja és az asztallap között. A hűtésre szolgáló hideglevegőt egy Orion CSHP 9001 C4 típusú mobil klíma biztosította. A klímából kiáramló hideg levegőt a már korábban említett áramlási csatornához műanyag fólia

segítségével vezettem, amelyek puffer-térként is viselkedve kellően egyenletessé tették az áramlást.

Előzetes hőmérsékletvizsgálatok azt mutatták, hogy a napelem hátlapja hasonló mértékben felmelegszik, mint az abszorber felülete. E tapasztalat alapján elmondható, hogy a napelem hátlapján is lehetőség van hőenergia elvonására, tehát a hűtési eljárás működőképessége megalapozott volt. A megvalósított berendezés az 4. ábrán látható.

A napelem felületének hőmérsékletét egy YC-747D típusú négycsatornás digitális hőmérővel mértem. A négy érzékelőt a napelem négy különböző pontjára helyeztem el. A továbbiakban a négy vizsgált pont átlagából képzett hőmérsékletet tekintettem a napelem hőmérsékletének. Az érzékelőket az eredmények pontossága miatt jó hővezető tulajdonságú alumínium szalaggal rögzítettem a napelem felületéhez, ügyelve arra, hogy a kitakart felület nagysága elhanyagolhatóan kicsi legyen.

4. ábra: Mérési elrendezés



Forrás: saját szerkesztés

A megvilágított napelem átlaghőmérséklete hűtés nélkül elérte a 80°C-ot. Ezzel az eljárással a napelem hőmérsékletét 15°C-kal sikerült lecsökkentenem. A további hűtés érdekében a napelem abszorber felületén próbáltam hőt elvonni, amihez egy TT 150 típusú csőventilátort használtam fel. A reflektortartó állványhoz rögzített drótkeret (mint kivezető nyílás) és a ventilátor közt az áramlási csatornát a már korábban is használt műanyag fólia segítségével alakítottam ki. E megoldás kiszélesítette az áramlási teret, így a napelem nagyobb felületén érvényesült a hűtő hatás, viszont hátrányként meg kell említeni, hogy kis mértékben lelassította az áramlást. A klíma és a ventilátor együttes használata esetén a napelem átlaghőmérséklete 40°C-kal csökkent.

Ezután a ventilátor kivezetésén kiáramló levegőt közvetlenül a napelem felületére irányítottam, tehát nem alkalmaztam a korábbiakban bemutatott terelőt. Ez esetben az áramlás sebessége nem csökkent és további 10°C hőmérsékletcsökkenést sikerült elérni. Tehát a klíma és a ventilátor ilyen módú együttes használata 50°C-os hőmérsékletcsökkenést eredményezett. Ekkor a napelem átlaghőmérséklete 30°C volt.

A napelem terhelését egy nagyteljesítményű tolóellenállással modelleztük, amelynek ellenállása mérések alapján 0,7–7,2 Ω értékek közt volt változtatható. A

napelem által előállított feszültség és áramerősség egyidejű méréséhez egy *Protek DM-301* és egy *METEX M-3650D* típusú digitális multimétert használtam.

4. A szimuláció alapadatai, alapvetései és az elhanyagolások

A numerikus szimuláció az előző fejezetekben említett két-dióda modell egyenletrendszerének felhasználásával készült. A szimuláció során a napelem egyszerűsített áramköri modelljéből indultam ki. A vizsgált napelem alapadatait az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: A vizsgált napelem alapadatai

Paraméter	Jelölés és mértékegység	Érték
Gyártási év	-	2008
Csúcsteljesítmény	P_{\max} [W]	85
Munkaponti áramerősség	I_M [A]	4,88
Munkaponti feszültség	U_M [V]	17,45
Rövidzárási áramerősség	I_{SC} [A]	5,40
Üresjáráti feszültség	U_{OC} [V]	21,20
Formatényező	φ [-]	0,74
Soros ellenállás	R_s [Ω]	0,0035
Párhuzamos ellenállás	R_p [Ω]	10.000
Sorosan kapcsolt cellák száma	N_s [db]	18
Párhuzamosan kapcsolt cellák száma	N_p [db]	2
Teljesítmény hőmérsékleti együttható	K_{PM} [W/ $^{\circ}$ C]	-0,391
Rövidzárási áram hőmérsékleti együttható	K_{ISC} [A/ $^{\circ}$ C]	0,001674
Üresjáráti feszültség hőmérsékleti együttható	K_{UOC} [V/ $^{\circ}$ C]	-0,073776
Csúcs hatásfok	η [%]	12.75
Normál működési körülményekre vonatkozó hőmérséklet	T_N [$^{\circ}$ C]	25
A megvilágítás intenzitása	E_{int} [W/m ²]	861

Forrás: saját szerkesztés

A szimuláció során az alábbi megfontolásokkal és elhanyagolásokkal éltem:

- a napelem-modult egy cellára redukáltam,
- elhanyagoltam a soros és a párhuzamos ellenállást,
- a megvilágítás intenzitásának integrált középértékét vettem,
- a gyártó által megadott üresjáráti feszültséggel, rövidzárlati áramerősséggel, valamint hőmérsékleti állandókkal számoltam,
- a Napfényhez viszonyítva a halogén reflektor fényének spektrális összetételbeli különbségét (spektrális energiasűrűségét) egy konstanssal vettem figyelembe.

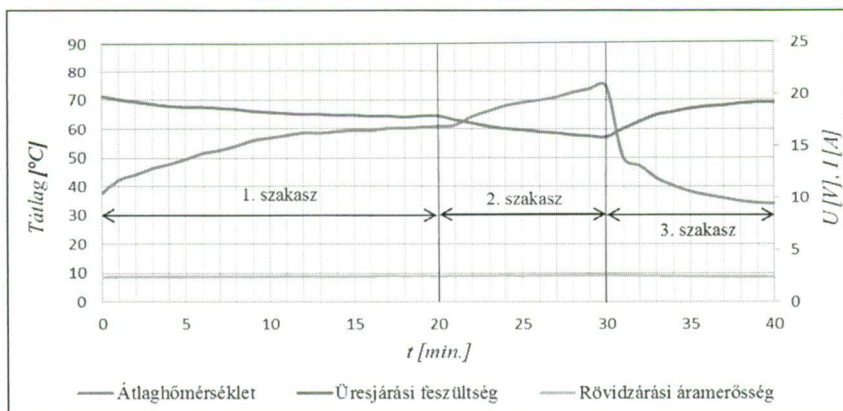
Mind a szimulációk, mind pedig a mérések során a hőmérsékleti tranziens hatására bekövetkező paraméterváltozásokat vizsgáltam. Terheletlen napelemes esetben, a mért és szimulált jellemző a rövidzárási áramerősség, az üresjáráti feszültség, valamint az elméleti teljesítmény.

5. A mérési eredmények bemutatása

A tranziens vizsgálatot terheletlen napelemen végeztem el, mégpedig úgy, hogy a megvilágítás bekapcsolásával egyidejűleg működésbe hoztam a mobil klímás hűtési rendszert. 20 percen keresztül mértem percenként a napelem négy pontján tapasztalható hőmérsékletet, a cellák által generált üresjáratú feszültséget és rövidzárási áramot (1. szakasz). Ezután kikapcsoltam a hűtési rendszert és 10 percen keresztül 10 mérési pontban ismételtam a mintavételezést (2. szakasz).

Miután a napelem hőmérséklete állandósult a korábbiakban ismertetett csőventilátoros hűtés beiktatása segítségével a napelemet visszahűtöttem a kiindulási hőmérsékletre (3. szakasz). A hőmérséklet-idő, a feszültség-idő és az áramerősség-idő grafikonokat az 5. ábra tartalmazza.

5. ábra: A hőmérséklet, az üresjáratú feszültség és a rövidzárlati áramerősség megjelenítése az idő függvényében



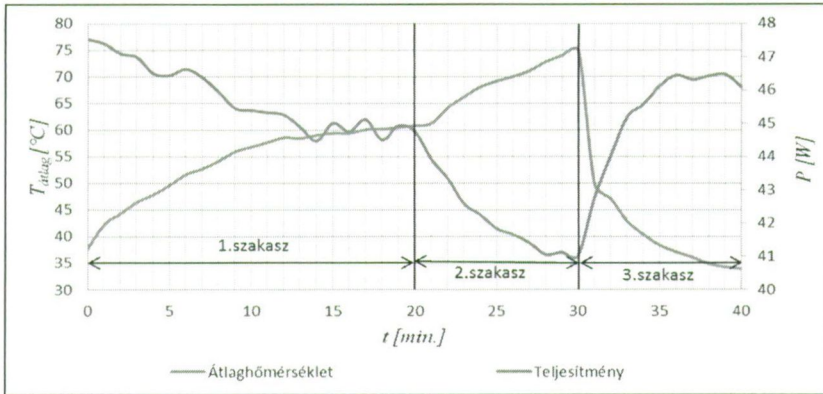
Forrás: saját szerkesztés

Látható, hogy a hőmérséklet növekedésének hatására az üresjáratú feszültség csökkent, míg az áramerősség csak kismértékben növekedett. Fordított esetben, mikor a napelem lehűlt a feszültség nőtt, az áramerősség pedig csökkent, hasonló mértékben. Tehát e kísérlet során igazolni tudtam a szakirodalom által leírt jelenséget.

A vizsgálat során a hőmérséklet változására bekövetkező elméleti teljesítményváltozást a 6. ábrán figyelhetjük meg. Az tapasztalható, hogy az elméleti teljesítmény a hőmérséklet változásával ellentétesen alakul. E jelenség az 5. ábrán bemutatott üresjáratú feszültség és rövidzárási áramerősség hőmérséklet-függése és az elméleti teljesítmény számítási módja (4) alapján feltételezhető volt.

Az a következtetés vonható le, hogy a hőmérséklet növekedésével a napelem hatásfoka, és ezen keresztül a teljesítménye is csökken. A természetben előforduló 1.000 W/m^2 napsugárzás-intenzitás mellett a napelem felületi hőmérséklete meghaladhatja a 80°C hőmérsékletet, így a hatásfokromlás jelentős teljesítménycsökkenést eredményez. A téli időszakban a napelem hűtése biztosított, így télen jobb hatásfokkal képes működni, mint a nyári nagy melegben.

6. ábra: Az elméleti teljesítmény és a hőmérséklet megjelenítése az idő függvényében



Forrás: saját szerkesztés

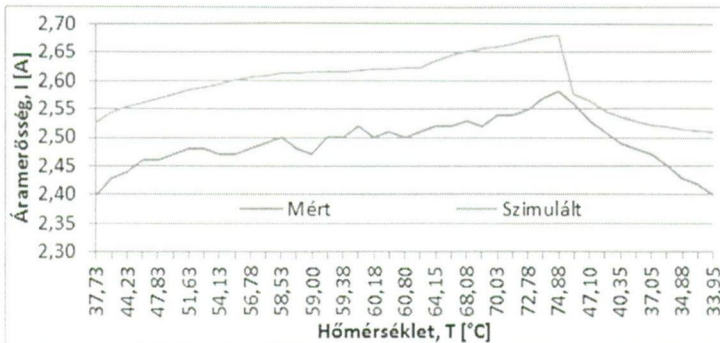
6. A mérési- és a szimulációból származó eredmények összehasonlítása

A következő ábrákon rendre összehasonlítom a mért és a szimulált eredményeket.

A 7. ábrán a rövidzárlati áramerősség látható a hőmérséklet (idő) függvényében. Minden egyes lépték egyben egy perc elteltét is jelenti, így a görbéken időbeli lefutás is értelmezhető.

Megfigyelhető, hogy a mérési eredmények alapján vázolt áramerősség-hőmérséklet (idő) görbe jelleghelyesen követi a katalógusadatok felhasználásával készült numerikus szimuláció alapján vázolt görbét. A szimulált és a mért adatok közötti időátlagolt eltérés 4,14% a szimuláció javára. Mindkét görbe esetében elmondható, hogy a hőmérséklet függvényében a vártaknak megfelelő áramerősség-változás következett be. A napelem hűtése nélkül az áramerősség nőtt, hűtéssel csökkent.

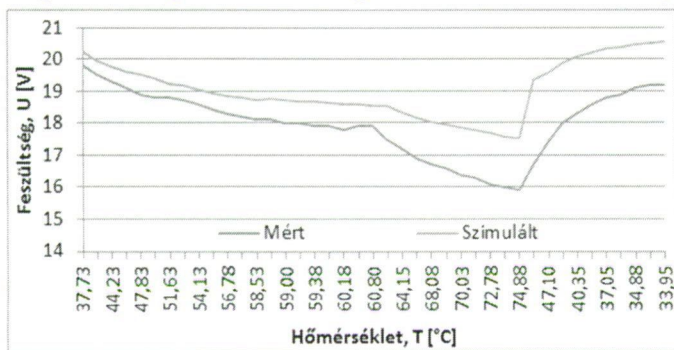
7. ábra: A napelem rövidzárlati áramerőssége a hőmérséklet (idő) függvényében



Forrás: saját szerkesztés

Az üresjáratú feszültség hőmérsékletfüggése a 8. ábrán látható. Megfigyelhető, hogy a mért értékekre fektetett trendvonal a napelem hűtése nélküli esetben, illetve az erős hűtés alkalmazásánál a modell görbéjéhez simul. Gyenge hűtés esetében a két görbe között nagyobb eltérés tapasztalható. A modell időátlagban 5,98%-kal becsüli túl a mért eredményeket.

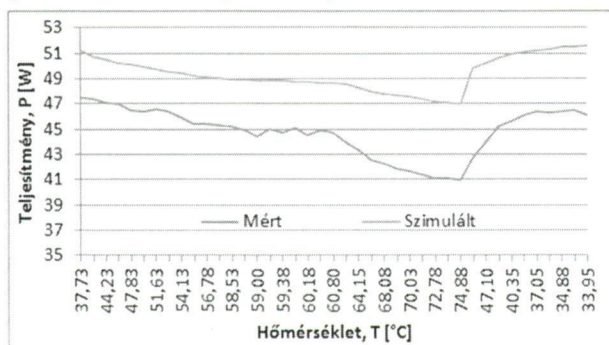
8. ábra: A napelem üresjáratú feszültsége a hőmérséklet (idő) függvényében



Forrás: saját szerkesztés

Az elméleti teljesítmény grafikonok a 9. ábrán láthatók. Egyértelműen megállapítható, hogy az elméleti teljesítmény a napelem felületi hőmérsékletének növekedése következtében csökken. E jelenség az elméleti teljesítmény számítási módja (4) alapján feltételezhető volt. A csökkenés oka, hogy a napelem feszültsége nagyobb mértékben csökken, mint amilyen mértékben az áramerőssége nő nagyobb hőmérsékleten üzemelő rendszer esetében. A szimulációs alapmodell 10,34%-kal becsülte túl az elméleti teljesítményt a mérthez képest. A túlbecslés oka a mérési pontatlanságok mellett arra is visszavezethető, hogy a napelem a vizsgálatok során 7 éves volt, azaz az évek során a kristályszerkezete öregedett, degradálódott.

9. ábra: A napelem elméleti teljesítménye a hőmérséklet (idő) függvényében



Forrás: saját szerkesztés

6. Következtetések, összegzés

A szimuláció és a mérés célja a hőmérsékleti tranziens során lejátszódó folyamatok feltárása volt. A szakirodalom által leírtak alapján az mondható el, hogy a napelem üresjáratú feszültsége jelentősebb mértékben csökken-, a rövidzárási árama kismértékben nő a félvezető anyagának hőmérsékletnövekedése által. A feszültség nagyobb mértékben csökken, mint ahogy az áramerősség nő, így a melegedés hatására a napelem elméleti teljesítménye csökken. A mért és a szimulált eredmények a szakirodalomban tapasztaltakat produkálták.

A mérési eredményeket összehasonlítva a szimulációból származó eredményekkel az a következtetés vonható le, hogy a napelem hatásfoka a gyártáskori értékhez képest csökkent. Azonban nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy az eredmények jelentősen függenek a műszerek és a mérési metódus pontatlanságából, a mérési hibáitól, így a kapott százalékos eltérések ezekre is visszavezethetők.

A mért és a számolt adatok közötti eltérésnek pontatlanságok mellett számos oka lehetséges. Az általam használt megvilágítás nem reprodukálja kellő pontossággal a természetben tapasztalható fényviszonyokat (kisebb és nem kellően homogén fényintenzitás, eltérő hullámhossz szerkezet). A spektrális összetételből származó különbségeket a Napszimulátorként használt izzó spektrumának kiméréséből származtatott tényezővel figyelembe tudtam venni, azonban a fényintenzitás inhomogenitását nem, ennek hatása lehet a kisebb teljesítmény. A napelem öregedése során hatásfok degradáció tapasztalható, amely a teljesítmény csökkenését okozza.

Irodalomjegyzék

- Armin, R. (2002): Napelem technológiák és jellemzőik. PSE Projektgesellschaft Solar Energiesysteme mbH. G04 előadás, fordította: SzIE.
- Dubey, S., Sarvaiya, J. N., Seshadri, B. (2013): Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World – A Review. *Energy Procedia*, 33: 311–321.
- Gööz L. (2007): *Energetika Jövődőben*. Bessenyei György Könyvkiadó, Nyíregyháza.
- King, L. D., Kratochvil, A. J., Boyson, E. W. (1997): Temperature Coefficients for PV Modules and Arrays: Measurement Methods, Difficulties, and Results. 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Anaheim, California.
- Kovács Cs. (2008): *Napelemek működése és alkalmazásai*. Budapest.
- Malik, A. Q., Damit, S. J. B. H. (2003): Outdoor testing of single crystal silicon solar cells. *Renewable Energy*, 28 (9): 1433–1445.
- Mizsei J. (2003): *Napelemek laboratórium*. Segédlet. Budapest.
- Szász Cs. (2017): Optimal control of Photovoltaic Modules Energy Efficiency. *Journal of Computer Science and Control Systems*, 10 (1): 29–34.