

HATÉKONYSÁGJAVÍTÁS NAPELEMEKNÉL INFRAVÖRÖS VISSZAVERŐ FÓLIÁK ALKALMAZÁSÁVAL A PERC TECHNOLÓGIÁBAN

EFFICIENCY IMPROVEMENT OF SOLAR PANELS USING INFRARED REFLECTIVE FOILS IN PERC TECHNOLOGY

Szalánczi Dávid*, Dr. Bencs Péter**

ABSTRACT

This study examines the temperature-dependent efficiency degradation of different solar panel technologies (traditional, PERC, PERC + UV reflective foil) in a simulated environment. Using Simulink software, we modeled the behavior of these technologies on a hot August day in Miskolc, with an external temperature of 30-35°C and solar radiation intensity of 950-1050 W/m². The results show that PERC + UV technology significantly reduced panel temperatures, thereby slowing efficiency loss, particularly in hot climates. Compared to traditional solar panels, the PERC technology panels operated at lower temperatures, improving energy efficiency and extending their lifespan.

1. BEVEZETÉS

A napelemek a megújuló energiaforrások iránti növekvő igény miatt kulcsszereplőkké váltak az energiapiacra. Az energiahatékonyság növelése és a fosszilis tüzelőanyagok csökkentése érdekében elengedhetetlen a napelemes technológiák fejlesztése.

A magasabb hőmérséklet csökkenti a napelemek hatékonyságát, mivel a félvezető anyagok teljesítménye hőmérsékletfüggő. A PERC (Passivated Emitter and Rear Contact) technológia ezt a problémát csökkenti, mivel visszaveri az infravörös sugarakat, ezzel mérsékelve a panelek hőmérsékletét. Ennek köszönhetően a PERC napelemek még forró környezetben is jobb teljesítményt nyújtanak.

Az infravörös visszaverő rétegek, mint a PERC technológia, egyre nagyobb szerepet játszanak a napelemek hatékonyságának és élettartamának növelésében, kedvezőbb és költséghatékonyabb megoldást kínálva más módszerekkel.

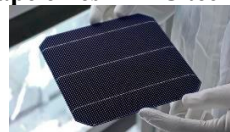
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A napelemek hőmérsékletfüggő teljesítménye széles körben vizsgált terület, mivel a magas hőmérséklet csökkentheti a hatásfokot. Vogt és társai (2017) kimutatták, hogy a PERC technológiával ellátott napelemek alacsonyabb hőmérséklet-emelkedést mutatnak a hagyományos panelekhez képest, ami javítja a hatékonyságukat forró éghajlaton. [1]

Perrakis és munkatársai (2020) a radiatív hűtés alkalmazását vizsgálták, ami lehetővé teszi a napelemek számára, hogy hőenergiát sugározzanak ki az űrbe, ezzel csökkentve a panel hőmérsékletét és javítva a teljesítményt. [2] Ez a technológia különösen hasznos lehet trópusi és sivatagi régiókban, ahol a napelemek gyakran túlmelegednek.

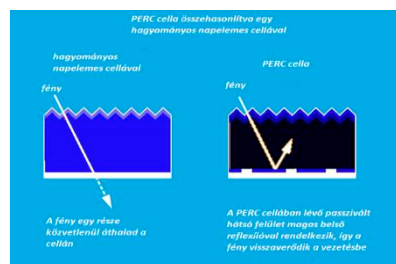
Ipari példaként a First Solar különböző innovatív hűtési megoldásokat vezetett be napelemparkjaiban, amivel növelte a panelek hatékonyságát és ellenállóképességét szélsőséges időjárási viszonyok között. A kutatások igazolják, hogy a PERC technológia és a passzív hűtési megoldások kombinációja jelentős teljesítménynövekedést eredményezhet a napelemparkokban [3].

2.1. Napelemes PERC technológia



1. ábra: PERC technológiás napelem

A PERC (Passivated Emitter and Rear Contact) technológia (1. ábra) eltér a hagyományos napelemektől mind felépítésében, mind gyártásában. Egy speciális alumínium vezetőréteget helyeznek a cella hátoldalára, amely visszatükrözi a hasznosítatlanul áthaladó fényt, növelve a fotonok által megtett utat és az elektronokká alakulás esélyét. Ez javítja az áramtermelést, és még az infravörös fényt is hasznosítja, bár kisebb mértékben, mivel az kevesebb energiát hordoz. A technológia fő előnye, hogy kevésbé hajlamos túlmelegedni (2. ábra).



2. ábra: a PERC technológiás napelem működése a hagyományos technológiás napelemhez képest

* PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola

** Egyetemi Docens, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék

A technológia fő előnye a hőmérsékletcsökkentés, ami növeli a hatékonyságot. A PERC-et 1984-ben fejlesztették ki, de költséghatékonysági szempontok miatt csak az utóbbi években vált széles körben elérhetővé. Gyakran kombinálják az ARC (Anti-Reflective Coating) technológiával, amely csökkenti a fény visszaverődését, így felhős időben, valamint reggeli és esti fényviszonyok között is jobb hatékonyságot nyújt.

Ez a technológia mind monokristályos, mind polikristályos napelemeknél alkalmazható, bár a monokristályos változatok elterjedtebbek. [4]

3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

3.1. Időjárási környezet és szimulációs beállítások

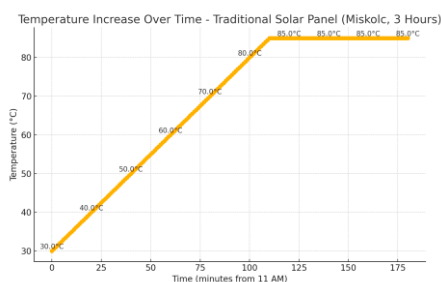
A vizsgálat Miskolc városára, egy tipikus augusztusi napon történt, amikor a hőmérséklet és a napsugárzás magas volt. A szimuláció során az alábbi paramétereket vettem figyelembe:

- **Külső hőmérséklet:** 30-35°C közötti hőmérséklet, amely egy forró nyári napot modellez.
- **Napsugárzás intenzitása:** 950-1050 W/m² közötti napsugárzás, ami a nap legmelegebb időszakát reprezentálja.
- **Szélesendes környezet:** Szél nélkül modellezve, így a panelek hőmérséklet-csökkentő képességére koncentráltunk.

A cél az volt, hogy megfigyeljük, mennyi idő alatt érik el a különböző napelem-technológiák az egyensúlyi hőmérsékletüket, és hogyan változik a hatásfokuk az idő előrehaladtával. A Simulink segítségével modelleztem a hagyományos, PERC, és PERC + UV fóliás technológiákat, amelyek közül a PERC + UV fólia jelentősen csökkentette a panelek hőmérsékletét, növelve ezáltal a teljesítményüket.

4. SZIMULÁCIÓK

4.1.1. Hagományos napelemek

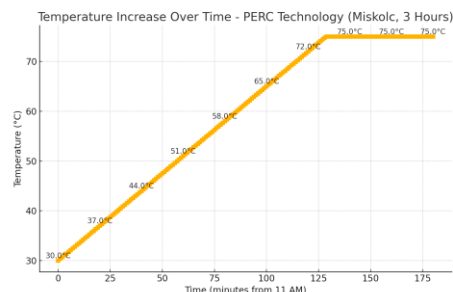


3. ábra: Hagományos napelem panel hőmérséklet-növekedése az idő múlásával

Ez az ábra (3. ábra) bemutatja, hogyan növekszik a hagyományos napelemek hőmérséklete az idő előrehaladtával. A hőmérséklet gyors növekedése egyértelműen látható, mivel ezek a napelemek nincsenek felszerelve hőcsökkentő mechanizmusokkal. Az első órában jelentős hőmérséklet-emelkedés tapasztalható, ami a napelemek hatékonyságának gyors csökkenéséhez vezet. A hagyományos napelemeknél az ilyen hőmérsékleti emelkedés akár 85°C-ra is nőhet, ami rontja

a félvezető anyagok teljesítményét. Az ábra vizuálisan is kiemeli, hogy milyen mértékben veszít hatékonyságából a napelem a hőmérséklet növekedésével. Mivel a panelek hűtés nélkül működnek, a hatékonyság drasztikusan csökken a nap folyamán.

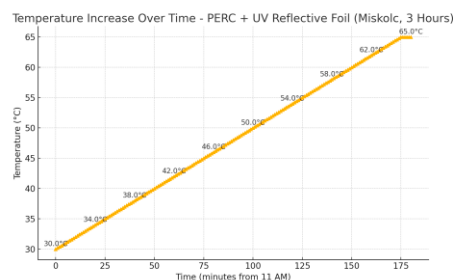
4.1.2. PERC technológia



4. ábra: PERC napelem panel hőmérséklet-növekedése az idő múlásával

A PERC technológiával készült napelemek ábráján látható (4. ábra), hogy a hőmérséklet-növekedés lassabb ütemben történik, mint a hagyományos napelemek esetében. Ez a technológia visszaveri az infravörös sugarakat, így a napelemek kevesebb hőt nyelnek el, ami hosszabb ideig megőrzi a hatékonyságukat. Az ábra azt is mutatja, hogy a PERC napelemek később érik el az egyensúlyi hőmérsékletet, ami nagyobb teljesítménynövekedést eredményez. A hőmérséklet-emelkedés lelassulása lehetővé teszi, hogy ezek a panelek jobb teljesítményt nyújtsanak a forró környezetben, csökkentve a teljesítményvesztést. Összességében az ábra egyértelműen demonstrálja a PERC technológia hatékonyságát a hőmérsékleti problémák kezelésében.

4.1.3. PERC + UV visszaverő fólia

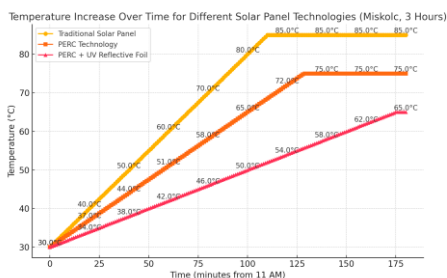


5. ábra: PERC + UV visszaverő fóliás napelem panel hőmérséklet-növekedése az idő múlásával

Ez az ábra a PERC + UV visszaverő fóliás napelemek hőmérsékletnövekedését mutatja (5. ábra). A fólia célja, hogy még tovább csökkentse a napelemek hőelnyelését azáltal, hogy visszaveri az UV és infravörös sugarakat. Az ábra alapján látható, hogy ezek a napelemek alacsonyabb hőmérsékleten működnek, mint a hagyományos és PERC technológiás panelek. Az UV visszaverő fólia segít fenntartani a panelek teljesítményét, mivel jelentősen lassítja a hőmérséklet

növekedését, így hosszabb ideig képesek hatékonyan működni.

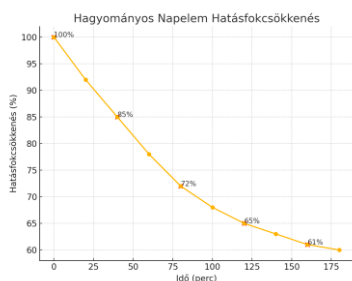
Az alábbi ábrák bemutatják a különböző napelem-technológiák hőmérséklet-növekedését 3 órán keresztül (6. ábra):



6. ábra: a 3 típusú napelem panel hőmérséklet-növekedése az idő múlásával

Az összefoglaló ábra világosan bemutatja a három különböző napelem-technológia hőmérséklet-növekedését egymáshoz viszonyítva (6. ábra). A hagyományos napelemek hőmérséklete gyorsan emelkedik, míg a PERC technológiás napelemek lassabb ütemben melegsznek fel. A PERC + UV visszaverő fóliás napelemek a leghatékonyabbak, hiszen a leglassabban melegednek fel. Az ábra megmutatja, hogy minél hatékonyabb a hőmérséklet-szabályozó technológia, annál alacsonyabb hőmérsékleten működnek a napelemek, és annál hosszabb ideig képesek megőrizni teljesítményüket.

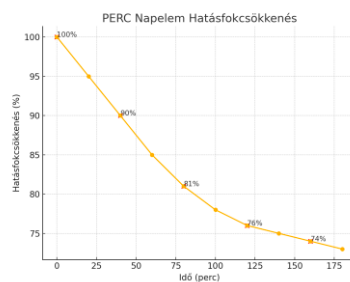
4.2.1. Hagyományos napelem hatásfokcsökkenése



7. ábra: Hagyományos napelem panel hatásfokcsökkenése az idő múlásával

Ez az ábra (7. ábra) a hagyományos napelemek hatásfokcsökkenését mutatja az idő előrehaladtával. Az első 50 percben a hatásfok 85%-ra csökken, ami jelentős teljesítményvesztést jelent rövid időn belül. 100 perc elteltével a hatásfok már csak 72%-os, ami azt mutatja, hogy a hőmérséklet-emelkedés jelentős hatást gyakorol a panelek hatékonyságára. A 175. perc után a hatásfok mindössze 61%-ra csökken, ami nagy mértékű teljesítménycsökkenést jelez. Az ábra egyértelműen szemlélteti, hogy a hagyományos napelemek a legérzékenyebbek a hőmérséklet-emelkedésre, és a leggyorsabban veszítik el a hatékonyságukat.

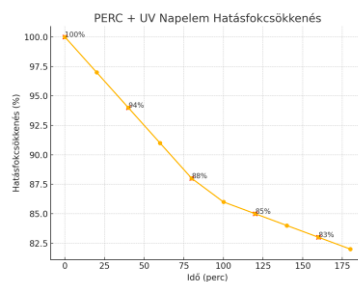
4.2.2. PERC technológiás napelem hatásfokcsökkenése



8. ábra: PERC technológiás napelem panel hatásfokcsökkenése az idő múlásával

Az ábra (8. ábra) a PERC technológiás napelemek hatásfokának időbeli csökkenését ábrázolja. Az első 50 perc alatt a hatásfok 90%-ra csökken, 100 perc elteltével a hatásfok 81%-ra esik vissza, ami már jelentős teljesítménycsökkenés. Az idő múlásával a hatásfok tovább csökken, és 175 perc után már csak 74%-os teljesítményt nyújt. Ez az ábra jól szemlélteti, hogy bár a PERC technológia jobb hőmérséklet-kezelést biztosít a hagyományos napelemekhez képest, a hatásfok csökkenése még mindig jelentős. A nagyobb hőmérséklet-emelkedés hamarabb kezd hatást gyakorolni a panelek teljesítményére, és hosszabb távon ez alacsonyabb energiahatékonyságot eredményez.

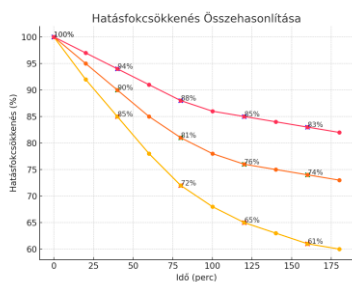
4.2.3. PERC + UV visszaverő fóliás napelem hatásfokcsökkenése



9. ábra: PERC + UV fóliás napelem panel hatásfokcsökkenése az idő múlásával

Az ábra (9. ábra) a PERC + UV fóliás napelemek hatásfokcsökkenését mutatja az idő függvényében. Az első 50 perc alatt a hatásfok 94%-ra csökken, ami viszonylag mérsékelt csökkenést jelent. Ahogy a hőmérséklet tovább növekszik, a hatásfok 100 perc elteltével 85%-ra esik vissza. A végső, 175 perces mérésnél a hatásfok 83%-os, ami szintén elfogadható csökkenés, figyelembe véve a külső körülményeket. Ez az ábra jól mutatja, hogy a PERC + UV technológia kevésbé érzékeny a hőmérséklet-emelkedésre, mivel a hatásfok csökkenése lassabb ütemű. Az alacsonyabb hőmérsékletnek köszönhetően a napelemek hosszabb ideig képesek fenntartani a hatékonyságukat.

4.2.4. Hatásfokcsökkenés Összehasonlítása a Három Technológiában



10. ábra: a 3 típusú napelem panel hatásfokcsökkenése az idő múlásával

Az ábra (10. ábra) összehasonlítja a három különböző napelem-technológia hatásfokcsökkenését az idő előrehaladtával. A PERC + UV fóliás technológia mutatja a legkisebb mértékű hatásfokcsökkenést, 175 perc elteltével is csak 83%-ra csökken a hatásfoka. A PERC technológia ezzel szemben 74%-os hatásfokkal rendelkezik ugyanebben az időpontban, míg a hagyományos napelemek teljesítménye mindössze 61%. Ez az ábra jól szemlélteti a három technológia közötti különbséget a hőmérséklet okozta hatásfokcsökkenés terén. A PERC technológia is jelentős javulást mutat a hagyományos napelemekhez képest, de az UV fólia további hatékonyságnövelő tényezőként szolgál.

5. ELEMZÉS ÉS MEGBESZÉLÉS

A szimuláció során három napelem-technológia hőmérsékletnövekedését vizsgáltuk egy nyári napon Miskolc időjárási körülményei között. Az eredmények szerint a hagyományos napelemek hőmérséklete gyorsan emelkedik, két órán belül akár 85°C-ra is felmelegedhet, ami jelentős hatásfokcsökkenést eredményez.

- **Hagyományos napelemek:** Az egyensúlyi hőmérséklet elérése 1,5-2 órán belül történik, ami körülbelül 85°C-os hőmérsékletet jelent.

- **PERC napelemek:** A PERC technológia lassítja a hőmérsékletnövekedést, a panelek 10-15°C-kal alacsonyabb hőmérsékleten stabilizálódnak, javítva ezzel a hatékonyságot.

- **PERC + UV fólia:** Ez a technológia akár 20°C-kal alacsonyabb hőmérsékleten működik a hagyományos napelemekhez képest, biztosítva a legnagyobb hőmérsékletcsökkenést és a leghosszabb ideig tartó hatékonyságot.

Az eredmények alapján az UV visszaverő fólia jelentősen csökkenti a panelek hőmérsékletét, ami javítja a hatásfokot. Az ábrák egyértelműen bemutatják a különböző technológiák közötti különbségeket, és alátámasztják, hogy a PERC + UV fóliás technológia a leghatékonyabb megoldás a hőmérséklet okozta teljesítménycsökkenés mérséklésére.

6. KÖVETKEZTETÉSEK

A kutatás rávilágított arra, hogy a PERC technológia jelentős előnyt nyújt a hagyományos napelemekhez

képeket. A PERC panelek alacsonyabb hőmérsékleten működnek, csökkentve a hő okozta hatásfokcsökkenést. A PERC + UV fóliás panelek tovább növelik ezt a hatékonyságot, akár 20°C-kal alacsonyabb működési hőmérséklettel.

A hőmérséklet csökkentése kritikus tényező a hatékonyság növelésében, különösen meleg, napsütéses időszakokban. A PERC + UV fóliás technológia bizonyult a leghatékonyabbnak. A jövőbeli kutatásoknak az anyagok fejlesztésére és új kombinációk kipróbálására kellene fókuszálniuk, hogy tovább növeljék a teljesítményt.

7. EREDMÉNYEK

A szimulációk megmutatták, hogy a hagyományos napelemek hőmérséklete két órán belül 85°C-ra emelkedik, ami jelentős hatásfokcsökkenést okoz. A PERC napelemek lassabb hőmérséklet-növekedést mutattak, és 70-75°C-on stabilizálódtak, hosszabb ideig megőrizve hatékonyságukat.

A PERC + UV fóliás technológia még nagyobb hatékonyságjavulást eredményezett, a panelek 60-65°C között működtek, ami tovább javította a teljesítményt. Az alacsonyabb hőmérséklet nemcsak az energiahatékonyságot növelte, hanem a panelek élettartamát is, mivel kevesebb hő okozta degradációnak voltak kitéve.

8. FORRÁSOK

[1] Vogt, M. R., Schulte-Huxel, H., & Blankemeyer, S. (2016, November). *Reduced module operating temperature and increased yield ...* Reduced Module Operating Temperature and Increased Yield of Modules With PERC Instead of Al-BSF Solar Cells. https://www.researchgate.net/publication/309756771_Reduced_Module_Operating_Temperature_and_Increase_of_Yield_of_Modules_With_PERC_Instead_of_Al-BSF_Solar_Cells

[2] Perrakis, G., Tasolamprou, A. C., Kenanakis, G., Economou, E. N., Tzortzakos, S., & Kafesaki, M. (2021). *Passive radiative cooling and other photonic approaches for the temperature control of photovoltaics: a comparative study for crystalline silicon-based architectures.* Optica Publishing Group. <https://opg.optica.org/oe/fulltext.cfm?uri=oe-28-13-18548&id=432439>

[3] A. Green, M., Crowell, C. R., Kranz, C., Kiefer, F., Altermatt, P. P., Fischer, G., Wilking, S., Walter, D. C., Blakers, A. W., Fossum, J. G., Hezel, R., Benick, J., Chong, C. M., & Zhang, F. (2015, July 16). *The passivated emitter and rear cell (perc): From Conception to mass production.* Solar Energy Materials and Solar Cells. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927024815003244>

[4] investment, energo. (2021, June 9). *Mi A Napelem Perc Technológia?*. EnerGo Investment - Napelem, inverter, hőszivattyú nagykereskedelem. <https://energo-investment.hu/mi-a-napelem-perc-technologia>