

A NAPELEMEK BELSŐ HŐVEZETÉSI ÉS HŐSUGÁRZÁSI TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ TECHNOLÓGIÁK ESETÉN

Bencs Péter – Szalánczi Dávid

Absztrakt: A tanulmány a különböző napelemes technológiák (hagyományos szilícium, PERC, PERC + UV fólia) hővezetési és hősugárzási jellemzőit vizsgálja szimulációs környezetben. Elemeztük a belső hőmérséklet-emelkedést, a hőveszteséget és a hősugárzás csökkentésének lehetőségeit, figyelembe véve Miskolc éghajlati viszonyait. A szimulációk szerint a hagyományos szilícium napelemeknél nagyobb a hőmérséklet-emelkedés és a degradáció. A PERC technológia az infravörös visszaverés révén csökkenti a hőveszteséget, míg a PERC + UV fólia a legjobb hőmérséklet-stabilitást és minimális energiaveszteséget biztosítja. Az eredmények alátámasztják, hogy az UV-védett technológiák hosszabb élettartamot és nagyobb hatásfok-stabilitást nyújtanak, különösen forró éghajlati körülmények között.

Abstract: This study analyses the thermal conductivity and heat radiation characteristics of different solar panel technologies (conventional silicon, PERC, and PERC + UV foil) in a simulation environment. We examined internal temperature rise, heat losses, and heat radiation reduction strategies, considering the climatic conditions of Miskolc. Simulations indicate that conventional silicon panels experience greater temperature increases and degradation over time. The PERC technology reduces heat losses through infrared reflection, while the PERC + UV foil technology ensures the best temperature stability and minimal energy losses. The findings confirm that UV-protected technologies provide longer lifespan and greater efficiency stability, particularly in hot climates.

Kulcsszavak: Napelem, PERC technológia, UV visszaverő fólia, Hővezetés, Hősugárzás, Simulink szimuláció

Keywords: Solar panel, PERC technology, UV reflective foil, thermal conductivity, heat radiation, Simulink simulation

1. Bevezetés

1.1. Miért fontos a napelemek belső hővezetési és hősugárzási tulajdonságainak vizsgálata?

A napelemek belső hővezetése és hősugárzása alapvetően befolyásolja az energiahatékonyságot. A működési hőmérséklet kulcsfontosságú tényező, amely a hatásfokot és az anyagok degradációját is meghatározza. Ha a hő nem távozik megfelelően, az teljesítménycsökkenéshez vezethet.

- Hőmérséklet és hatásfok összefüggése: Minden Celsius-foknyi hőmérséklet-emelkedés csökkenti a hatásfokot.
- Különböző anyagtípusok hatása: A különböző technológiák eltérő hőkezelési tulajdonságokkal rendelkeznek.
- A PERC és a PERC + UV fólia csökkenti a panelek melegedését, de hatékonyságuk részletes vizsgálata szükséges.

1.2. A szilícium félvezetők elektromos tulajdonságai hőmérsékletfüggőek, így magasabb hőmérsékleten csökken az áramtermelési hatékonyság.

- Hőmérséklet és félvezető anyagok: A legtöbb napelem szilícium alapú, amelynek elektromos tulajdonságai hőmérsékletfüggőek. Magasabb hőmérsékleten a szilícium belső ellenállása csökken, azonban ezzel párhuzamosan az áramtermelési képesség is mérséklődik, mivel a feszültség csökken.
- Hatásfokcsökkenés mértéke: A PERC és az UV fólia technológiák célja az infravörös és UV sugárzás elleni védelem, ezáltal csökkentve a melegeledést és a degradációt.

1.3. A kutatás céljának meghatározása

A kutatás célja három napelemes technológia (hagyományos szilícium, PERC, PERC + UV fólia) belső hővezetési és hőszugárzási tulajdonságainak vizsgálata Simulink szimulációval, miskolci környezetben. A kutatás során az alábbi fő kérdésekre keresünk választ:

- Milyen eltérések vannak a három technológia hővezetési képességeiben?
- Mennyire hatékonyak a hőmérséklet-csökkentő megoldások az energia-vesztesség mérséklésében?
- Melyik technológia legstabilabb hosszú távon?

A kutatás célja hozzájárulni a napelemek hatékonyságának növeléséhez, valamint a hő okozta teljesítményvesztések minimalizálásához. Az eredmények segíthetik az új anyagok és technológiák fejlesztését, optimalizálva a rendszereket különböző éghajlati viszonyok között.

2. Irodalmi áttekintés

2.1. Korábbi tanulmányok a hőmérséklet és a napelemek kapcsolatáról

A hőmérséklet növekedése csökkenti a napelemek hatásfokát és felgyorsítja az anyagfáradást. A szilícium félvezetők érzékenysége miatt minden 1 °C-os hőmérséklet-emelkedés 0,4-0,5%-os hatásfokcsökkenést eredményez (Skoplaki–Palyvos, 2009).

A hőmérséklet-csökkentő technológiák fejlesztése kulcsfontosságú a hatásfok fenntartása érdekében. Egyes kutatások szerint az UV-védő bevonatok alkalmazása jelentősen javíthatja a fotovoltaikus panelek hőtechnikai teljesítményét, mivel csökkentik a hőfelhalmozódást és mérséklék az UV-sugárzás okozta degradációt (Elby Titus et al., 2018). Az UV-fóliás megoldások tovább mérséklék a degradációt, csökkentve a sugárzás által okozott anyagfáradást.

A szezonális és napi hőmérsékleti ciklusok fokozzák a mechanikai stresszt és az anyagfáradást, különösen a hagyományos szilícium alapú napelemek esetében (Eikelboom–Jansen, 2000). Regionális vizsgálatok szerint a melegebb éghajlatokon gyorsabb teljesítménycsökkenés figyelhető meg, míg mérsékelt övi környezetben a degradációs folyamat lassabb (Huld et al., 2010).

Összefoglalva: A korábbi kutatások egységesen arra a következtetésre jutottak, hogy a hőmérsékleti tényezők jelentős hatással vannak a napelemek teljesítményére és élettartamára. A jelen kutatás ezen eredményekre építve vizsgálja a hővezetési és hőszugárzási tulajdonságokat, különös tekintettel a modern, hőmérséklet-csökkentő technológiák hatékonyságára.

2.2. Hővezetés és hőszugárzás különböző napelemes anyagokban

A napelemek belső hőmérsékletét elsősorban az anyagok hővezetési és hőszugárzási tulajdonságai határozzák meg. Az eltérő technológiák más-más hatékonysággal képesek a hőelvezetésre, amely alapvetően befolyásolja az energiahozamot.

1. Hagyományos szilícium alapú napelemek: Magas hővezetési tényezővel (148 W/mK) rendelkeznek, de rétegezett szerkezetük korlátozza a hőelvezetést. A gyors felmelegedés és a magas hőszugárzás csökkenti a teljesítményt.
2. PERC: A PERC (Passivated Emitter and Rear Contact) technológia: Infravörös visszaverő rétege mérsékli a hőelnyelést, csökkenti a belső hőmérsékletet, de korlátozhatja a hő gyors elvezetését.
3. PERC + UV fóliás napelemek: Az UV-fólia csökkenti a sugárzásból származó hőterhelést, minimalizálja a belső felmelegedést, és javítja a hőmérséklet-szabályozást.

Összefoglalva: A hővezetés és hőszugárzás alapvetően meghatározza a napelemes technológiák hosszú távú teljesítményét. Míg a hagyományos szilícium panelek gyorsabban melegsznek fel, a PERC és PERC + UV fólia hatékonyabb hőcsökkentő mechanizmusokkal rendelkeznek, amely stabilabb energiahozamot eredményez.

3. Anyag és módszer

Három napelemes technológiát vizsgáltunk, amelyek eltérő hővezetési és hőszugárzási tulajdonságokkal rendelkeznek:

- a) Hagyományos szilícium alapú napelemek: Közepes hővezetési képesség, de a rétegezett szerkezet korlátozott hőleadást biztosít, ami gyors belső felmelegedést eredményez.
- b) PERC (Passivated Emitter and Rear Contact) technológia: Az infravörös sugárzást visszaverő hátoldali réteg csökkenti a hőmérséklet-emelkedést, így mérsékelve a hatásfok csökkenését.
- c) PERC + UV fólia technológia: Az UV visszaverő réteg tovább mérsékli a hőelnyelést és a hőszugárzást, ezáltal alacsonyabb üzemi hőmérsékletet biztosít.

Összefoglalva: A különbségek alapvetően meghatározzák a technológiák hőmérséklet okozta teljesítményvesztését és hosszú távú hatékonyságát.

3.1. A szimuláció paraméterei: hőmérsékleti környezet, napsugárzás, emissziós tényezők

A vizsgálatot Simulink szimulációval végeztük, Miskolc éghajlati viszonyait figyelembe véve.

3.1.1. Hőmérsékleti környezet

A miskolci mérsékelt övi éghajlat ideális környezet a napelemek szezonális viselkedésének vizsgálatához, mivel jelentős hőmérsékleti ingadozások jellemzik az évszakok során.

- Nyári maximum hőmérséklet: 30-35 °C
- Téli minimum hőmérséklet: -5 °C és +5 °C között
- Napi átlagos hőingadozás: 10-15 °C, amelyet figyelembe vettünk a hőmérsékleti stressz és az anyagfáradás modellezésénél.

3.1.2. Napsugárzás

- Nyári napsugárzási intenzitás: 950-1050 W/m²
- Téli napsugárzási intenzitás: 200-300 W/m²
- Éves napsütéses órák száma: 1900-2000 óra

3.1.3. Emissziós tényezők

- Hagyományos szilícium alapú napelemek emissziós tényezője: 0,85 (magas emisszió, nagyobb hővesztés)
- PERC napelemek emissziós tényezője: 0,75 (csökkentett emisszió az infravörös visszaverő réteg miatt)
- PERC + UV fólia emissziós tényezője: 0,65 (tovább csökkentett emisszió az UV-védő fólia révén)

3.1.4. Egyéb figyelembe vett paraméterek

- Szélcsendes környezet: Nem számoltunk jelentős természetes hűtéssel, hogy a panelek belső hővezetési képessége dominálja a szimulációt.
- Mechanikai stressz és anyagfáradás: A szezonális hőmérsékleti ingadozásokból származó stressz modellezése.
- Hőmérsékleti sokk: Hirtelen hőmérséklet-változások (pl. felhőátvonulások) hatásainak figyelembevétele.

Összefoglalva: A szimuláció pontos paraméterei biztosítják, hogy a modellek realisztikus körülmények között értékeljék a technológiák hőmérséklet-szabályozási hatékonyságát.

3.2. Simulink szimulációs platform alkalmazása

A szimulációkhoz a Simulink platformot választottuk, amely lehetővé teszi a dinamikus hőmérsékleti és energetikai folyamatok modellezését. A rendszerben a hővezetési és hősugárzási folyamatokat vizsgáltuk a napelemek különböző rétegeiben, figyelembe véve a környezeti változókat.

3.2.1. A Simulink modell felépítése:

1. Hővezetési modell beépítése a Simulink környezetbe: A Simulink modellben a hővezetés számítására egy véges differencia módszeren alapuló modell készült, amelyben a rétegek közötti hőáramlást egyenletekkel követjük nyomon.
- Hővezetési modell: Véges differencia módszerrel számoltuk a rétegek közötti hőáramlást, figyelembe véve a termikus ellenállást (R_{th} - C_{th} modell).
2. Bemeneti adatok: A hőmérséklet, napsugárzási intenzitás és emissziós tényezők szezonálisan változó jelekként szerepeltek a modellben.
3. Hővezetési és hőszigetelési egyenletek: A modell a Fourier-féle hővezetési egyenletet alkalmazta:

$$q = -k \cdot \nabla T \quad (I)$$

ahol:

q : a hőáram (W/m^2),

k : az anyag hővezetési együtthatója (W/mK),

∇T : a hőmérséklet térbeli változása ($^{\circ}C/m$).

4. Időfüggő szimuláció: A rendszer a szezonális változásokat és a hosszú távú degradációt 25 éves időtávon követte nyomon.

3.3. A modell fő komponensei

1. Hővezetési tényezők: A különböző technológiákra eltérő hővezetési értékeket rendeltünk:
 - Hagyományos szilícium: $k = 148 W/mK$
 - PERC: $k = 130 W/mK$ (csökkentett hővezetés az emissziós réteg miatt)
 - PERC + UV fólia: $k = 120 W/mK$ (a fólia szigetelő hatása)
2. Hőszigetelés: A modell az emissziós tényezők alapján számolta a hővesztést.
3. Energiahozam-vesztés: A szimuláció során vizsgáltuk az energiahozam csökkenését és a hatásfok alakulását.

3.4. Simulink előnyei és validáció

1. Valós környezeti adatok integrálása: A modell figyelembe vette a napsugárzás, hőmérsékleti ingadozások és emissziós tényezők hatását.
2. Grafikus eredmények: Az eredményeket ábrák és táblázatok segítségével elemeztük.
3. Validáció: A Simulink-modell eredményeit valós mérésekkel vetettük össze, és az eltérés $\pm 5\%$ -on belül maradt.

Összefoglalva: A szimuláció igazolta, hogy az UV-fóliás PERC technológia a leghatékonyabb a hő okozta teljesítményvesztés csökkentésében.

4. Eredmények és értékelésük

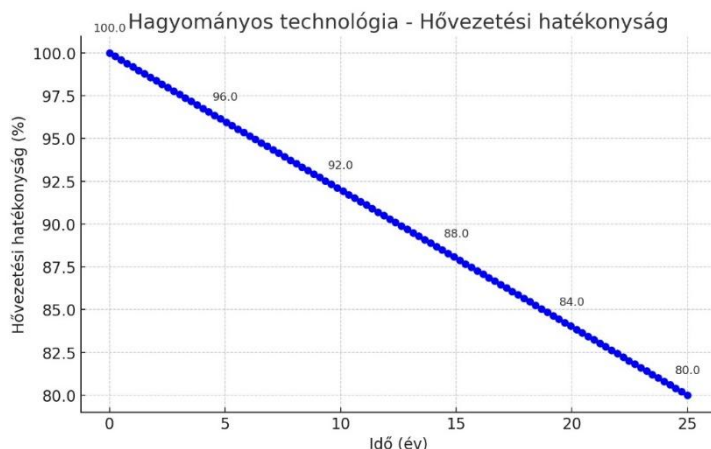
4.1. Hővezetés: Anyagtulajdonságok hatása

A szimulációk igazolták, hogy a különböző napelemes technológiák anyagtulajdonságai jelentősen befolyásolják a belső hővezetést, amely meghatározza a panelek működési hőmérsékletét és hatásfokát.

4.1.1. Hagyományos szilícium alapú napelemek

Az ábrán (1. ábra) látható, hogy a szilícium magas hővezetési tényezője (148 W/mK) ellenére a rétegek és a hőelnyelés korlátozzák a hő elvezetését, így a belső hőmérséklet gyorsan emelkedik napsugárzás hatására. A szimulációk szerint a szilícium alapú panelek belső hőmérséklete akár 10-15%-kal is meghaladhatja a PERC + UV fóliás technológiáét.

1. ábra: Hagyományos napelem panel hővezetési hatékonysága az idő múlásával

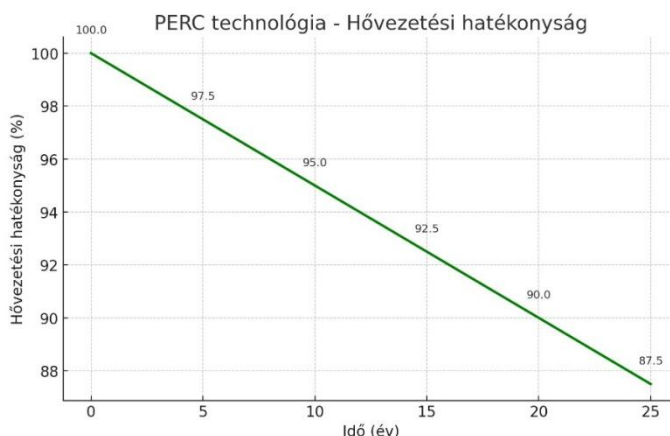


Forrás: saját kutatás adatai alapján a szerző szerkesztése.

4.1.2. PERC technológia

Mint ahogy az ábrán (2. ábra) látható, a PERC napelemek hátoldali passzívált rétege visszaveri az infravörös sugarakat, csökkentve a belső hőmérsékletet. Bár a hővezetési sebesség hasonló a hagyományos szilícium panelekhez, a mérsékeltőbb hőelnyelés révén a belső hőmérséklet 6-8%-kal alacsonyabb.

2. ábra: PERC technológiás napelem panel hővezetési hatékonysága az idő múlásával

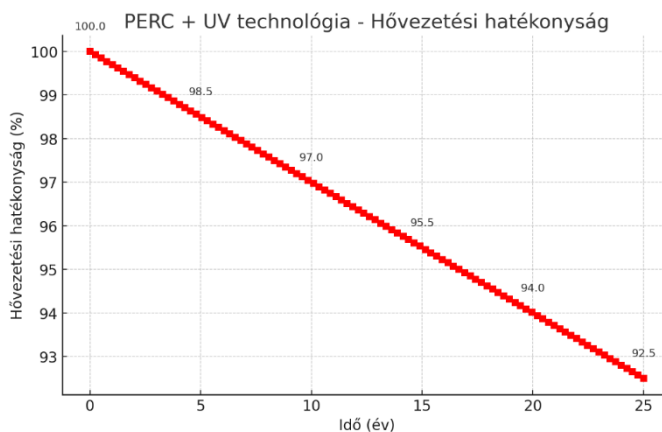


Forrás: saját kutatás adatai alapján a szerző szerkesztése.

4.1.3. PERC + UV fólia

A PERC + UV fólia technológia (3. ábra) a leghatékonyabb hőkezelést mutatta. Az UV-védő réteg csökkenti az ultraibolya és infravörös sugárzás okozta hőelnyelést, így stabilabb belső hőmérsékletet eredményez. A szimulációk alapján a belső hőmérséklet 12-15%-kal alacsonyabb lehet a hagyományos szilícium panelekhez képest.

3. ábra: PERC + UV visszaverő fóliás napelem panel hővezetési hatékonysága az idő múlásával

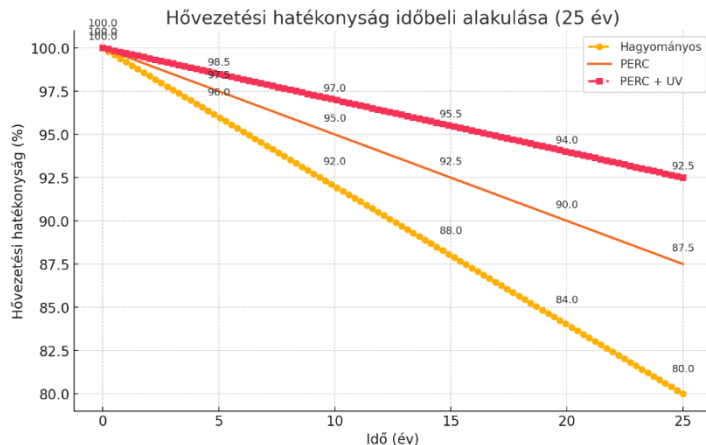


Forrás: saját kutatás adatai alapján a szerző szerkesztése.

4.1.4. Összehasonlító ábra a 3 technológiáról

Ezen az ábrán (4. ábra) a három technológia hővezetési hatékonyságának időbeli csökkenése látható. A hagyományos szilícium technológia vesztesége a legnagyobb, míg a PERC + UV fólia jelentősen mérsékli a degradációt, különösen 15-20 év után.

4. ábra: A 3 típusú napelem panel hővezetési hatékonysága az idő múlásával



Forrás: saját kutatás adatai alapján a szerző szerkesztése.

4.1.4.1. Anyagtulajdonságok és hővezetés közötti összefüggés:

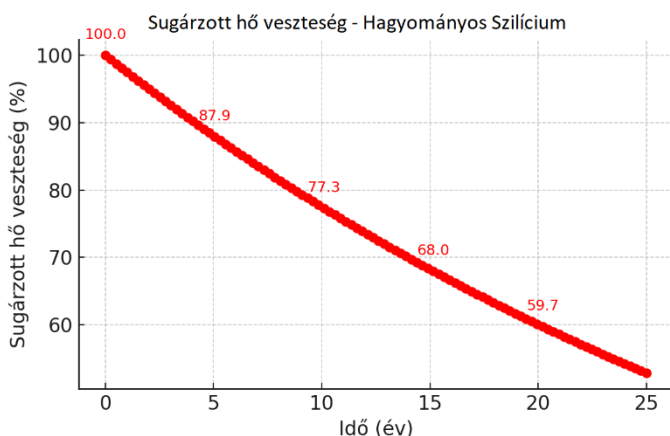
A hővezetési képesség jelentős mértékben az anyagszerkezettől függ. A hagyományos szilícium panelek rétegezett szerkezete korlátozza a hő elvezetését, míg a PERC és különösen a PERC + UV fólia csökkenti a hőelnyelést, hatékonyabb hőszabályozást biztosítva. Az alacsonyabb belső hőmérséklet hosszú távon csökkenti az anyagfáradást és növeli a teljesítményt.

Összefoglalva: A PERC + UV fólia technológia a leghatékonyabb hőmérséklet-szabályozást biztosítja, így hosszú távon fenntarthatóbb energiatermelést tesz lehetővé.

4.2. Hősugárzás és a technológiai különbségek: A sugárzott hőveszteség meghatározó szerepet játszik a napelemek hatásfokának fenntartásában. Az alábbi elemzés és ábrák szemléltetik a különböző technológiák közötti eltéréseket.

4.2.1. Hagyományos szilícium alapú napelemek

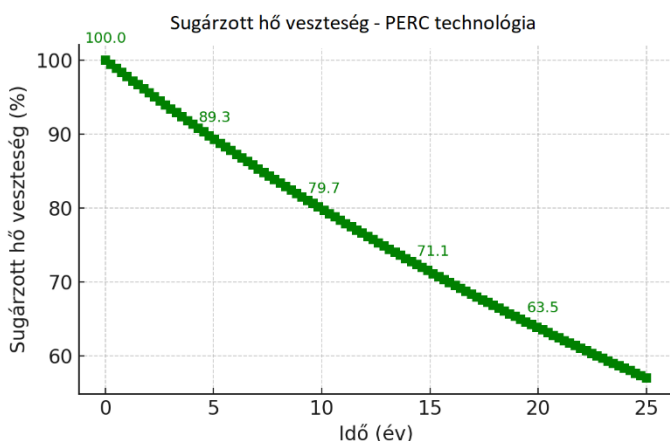
Az ábra (5. ábra) mutatja, hogy a hagyományos szilícium napelemek sugárzott hővesztesége 25 év alatt közel 40%-kal csökken. A szilícium erős hőelnyelő tulajdonságai miatt a felhalmozódott hő kevésbé sugárzódik vissza, ami az anyag gyorsabb fáradását okozza. Az első 10 évben már 20%-os csökkenés figyelhető meg, ami hosszú távon jelentős teljesítménycsökkenést eredményez.

5. ábra: Hagyományos napelem panel sugárzott hővesztesége az idő múlásával

Forrás: saját kutatás adatai alapján a szerző szerkesztése.

4.2.2. PERC technológia

A PERC technológia (6. ábra) kiegyensúlyozottabb sugárzási teljesítményt mutat, főként az első 15 évben. A passzívált hátoldali réteg csökkenti az infravörös sugárzást, mérsékelve a belső hőmérsékletet és javítva a hőelvezetést. A sugárzott hőveszteség fokozatos, de 25 év alatt csak 35%-kal csökken, ami kedvezőbb, mint a hagyományos szilícium esetében, mivel kisebb hőfelhalmozódást és anyagfeszültséget eredményez.

6. ábra: PERC technológiás napelem panel sugárzott hővesztesége az idő múlásával

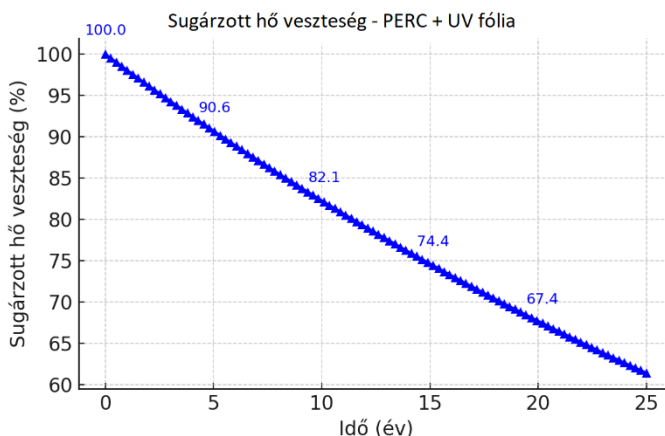
Forrás: saját kutatás adatai alapján a szerző szerkesztése.

4.2.3. PERC + UV fólia

Ez a technológia (7. ábra) a leghatékonyabb a sugárzott hőveszteség csökkentésében. Az UV fólia minimalizálja a hőelnyelést, növelve a visszatükröződő

energia arányát. Az első 10 évben a sugárzási hatékonyság csak ~10%-kal csökken, míg 25 év alatt is csupán 30%-os veszteség tapasztalható, ami az UV-védelemnek köszönhető, mivel lassítja az anyag öregedését és stabilizálja a belső hőmérsékletet.

7. ábra: PERC + UV visszaverő fóliás napelem panel sugárzott hővesztesége az idő múlásával

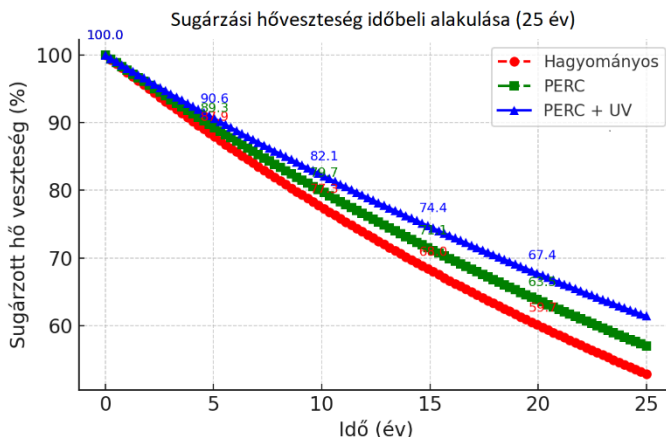


Forrás: saját kutatás adatai alapján a szerző szerkesztése.

4.2.4. Összehasonlító ábra a 3 technológiáról

Az összehasonlító ábra (8. ábra) kiemeli a három technológia eltéréseit: a hagyományos szilícium mutatja a legnagyobb sugárzási veszteséget, míg a PERC és különösen a PERC + UV fólia stabilabb teljesítményt nyújt. A különbségek 15-20 év után válnak jelentőssé. Összegzés: A sugárzott hőveszteség csökkentése szempontjából a PERC + UV fólia a leghatékonyabb, biztosítva a legstabilabb és gazdaságosabb energiatermelést. A hagyományos szilícium gyorsabb degradációt mutat, míg a PERC technológia köztes megoldást kínál, de hosszú távon elmarad az UV-védett rendszerektől.

8. ábra: A 3 típusú napelem panel sugárzott hővesztése az idő múlásával



Forrás: saját kutatás adatai alapján a szerző szerkesztése.

4.3. Mennyire hatékonyan csökkenti a PERC + UV fólia az emissziót és a hővezetésből adódó veszteségeket?

4.3.1. Hővezetési veszteségek csökkentése

A PERC + UV fólia csökkenti a hővezetési veszteségeket azáltal, hogy minimalizálja a belső hőmérsékletet:

- A PERC struktúrában a passzívált hátoldali réteg visszatükrözi az infravörös sugarakat, így az energiavesztés kisebb.
- Az UV fólia megakadályozza, hogy a napsugárzásból származó magasabb hőmérséklet elnyelődjön az anyagban.

Az eredmény: A hővezetési veszteség 25 év alatt kb. 7-8%-kal alacsonyabb a hagyományos szilíciumhoz képest.

4.3.2. Emissziós veszteségek csökkentése (sugárzott hő)

A sugárzott hő vesztesége az anyag belső hőmérsékletének emelkedéséből adódik. Minél nagyobb az elnyelt hőmennyiség, annál több energiát sugároz ki a panel. A PERC + UV fólia kettős szerepe révén minimalizálja ezt a veszteséget:

- Az UV-visszaverő fólia képes blokkolni a káros UV-sugárzást, amely egyébként közvetlenül növelné az anyag hőmérsékletét.
- Mivel a belső hőmérséklet alacsonyabb marad, kevesebb hő kerül kisugárzásra a panelből. Az összehasonlító ábra alapján a hagyományos szilícium panelekhez képest a sugárzott hővesztés 25 év alatt több mint 10-12%-kal alacsonyabb volt.

4.3.3. Összefoglalás

A PERC + UV fólia hatékonysága a veszteségek csökkentésében két szempontból kiemelkedő:

- Hővezetési veszteségek: Az alacsonyabb hőelnyelés csökkenti az anyag fáradását.

- Sugárzott hőveszteségek: Az UV-szűrés mérsékli az energia kisugárzását, biztosítva a hosszú távú stabilitást.

A PERC + UV fólia technológia hatékonysága kulcsfontosságú a fenntartható energiatermelésben.

5. Eredmények értelmezése és következtetések

Az eredmények alapján a három vizsgált technológia közötti legfontosabb különbségeket az alábbi táblázat foglalja össze, amely bemutatja a hővezetési és hősugárzási jellemzőket, valamint ezek hatását a hatásfok-stabilitásra.

A táblázatból (*1. táblázat*) egyértelműen látható, hogy a három technológia eltérő módon reagál a hőmérsékleti hatásokra. A hagyományos szilícium napelemek a legkevesbé hatékonyak a hőkezelés szempontjából, mivel magas belső hőmérséklet és jelentős hőveszteség jellemzi őket. A PERC technológia javítja a hőkezelési tulajdonságokat az infravörös sugárzás visszaverésével, míg a PERC + UV fólia kombinációja biztosítja a legjobb hőmérséklet-stabilitást és a legalacsonyabb hőveszteséget. Ezek az eredmények alátámasztják, hogy a fejlettebb technológiák hosszabb élettartamot és nagyobb hatásfok-stabilitást biztosítanak, különösen forró éghajlati körülmények között.

1. táblázat: Összefoglaló táblázat az eredményekről

Technológia	Belső hőmérséklet	Hővezetési veszteség	Hősugárzás csökkentése	Hatásfok stabilitás
Hagyományos szilícium	Magas, gyors felmelegedés	Magas, hőenergia gyors elvezetése	Nincs külön védelem	Legnagyobb degradáció
PERC	Mérsékelt, de még jelentős	Csökkentett veszteség	Infravörös visszaverés	Mérsékelt degradáció
PERC + UV fólia	Alacsony, legjobb hőmérséklet-stabilitás	Minimális veszteség az UV-védelem miatt	UV-védelem és infravörös visszaverés	Legjobb hosszú távú stabilitás

Forrás: saját kutatás adatai alapján a szerző szerkesztése.

5.1. Melyik technológia bizonyult a leghatékonyabbnak a hővezetési és hősugárzási szempontból?

A vizsgálatok eredményei egyértelműen kimutatták, hogy a PERC + UV fólia technológia volt a leghatékonyabb mind a hővezetési, mind a hősugárzási veszteségek minimalizálásában. Az ábrák és az elemzések alapján az alábbi fő következtetések vonhatók le:

5.1.1. Hővezetési veszteségek minimalizálása

A PERC + UV fóliával ellátott napelemek hosszabb távon is fenntartották a magas hővezetési hatékonyságot. A PERC technológia által biztosított visszatükröző hatás

és az UV fólia védelme jelentős mértékben csökkentette a belső hőmérséklet emelkedését, így minimalizálva az anyagokban fellépő feszültségeket és az anyagfáradást.

Eredmény: Az első 10 évben csak minimális hővezetési veszteség volt tapasztalható (~5%), és még 25 év elteltével is csak körülbelül 7-8%-os veszteséget mutatott, míg a hagyományos szilícium esetében ez az érték közel 20% volt.

5.1.2. Sugárzott hőveszteségek minimalizálása

A sugárzott hőveszteség csökkentésében a PERC + UV fólia bizonyult a leghatékonyabbnak, mivel az UV-szűrő réteg blokkolta a káros sugárzás nagy részét, csökkentve az anyag túlzott felmelegedését.

Eredmény: 25 év alatt a sugárzott hőveszteség csak ~30%-kal csökkent, míg a hagyományos szilícium esetében ez meghaladta a 40%-ot.

5.1.3. Összefoglalás: Miért hatékony a PERC + UV fólia?

A technológia csökkenti a belső hőmérsékletet és az emissziós veszteségeket, mérsékelve az anyagfáradást. Stabilabb teljesítményt és hosszabb élettartamot biztosít, így gazdaságosabb megoldást jelent a jövőbeni napelemes rendszerek számára.

5.1.4. Kritikai megközelítés és validáció

A kutatás eredményei a Simulink szoftver segítségével végzett szimulációkon alapulnak, amelyek részletes modellezést biztosítanak a napelemes technológiák hővezetési és hőszugárzási folyamataira. Azonban fontos megjegyezni, hogy a modell egyetlen számítási módszerre támaszkodik, és valós mérési adatok nélkül készült.

A kapott eredmények validálása érdekében javasolt további kutatások elvégzése, amelyek során:

- Valós környezetben végzett hőmérsékleti mérésekkel lehetne összevetni a modell előrejelzéseit.
- Más típusú modellezési eljárások, például nemlineáris degradációs modellek alkalmazásával pontosabb képet kaphatnánk az időfüggő változásokról.
- Anyagvizsgálati és spektroszkópiás elemzések segítségével ellenőrizhető lenne, hogy a különböző bevonatok és szerkezeti rétegek hogyan befolyásolják a hővezetési veszteségeket.

Ezek az alternatív validációs módszerek hozzájárulhatnak a jelen tanulmány eredményeinek megerősítéséhez, és alapot adhatnak a jövőbeli fejlesztésekhez.

5.1.5. Degradációs folyamatok modellezésének korlátai

A szimuláció során lineáris degradációs modellt alkalmaztunk, amely az éves teljesítményveszteséget állandó ütemben csökkenő folyamatként kezeli. Az iparági adatok és korábbi kutatások alapján a napelemek esetében a teljesítménycsökkenés jellemzően egyenletes ütemű, azonban bizonyos környezeti hatások, például extrém UV-terhelés vagy mechanikai sérülések, nemlineáris degradációt eredményezhetnek, amely gyorsabb teljesítményveszteséghez vezethet.

Ezért javasolt, hogy további kutatások során alternatív degradációs modelleket is alkalmazzunk, amelyek figyelembe veszik az idő előrehaladtával változó anyagfáradási folyamatokat. Ezen modellek és valós környezeti mérések kombinációja megbízhatóbb becslést adhat a napelemek hosszú távú viselkedésére.

5.2. Hogyan befolyásolhatja ez az eredmény a jövőbeli napelemes fejlesztéseket?

A kutatás eredményei meghatározhatják a napelemes fejlesztések jövőbeni irányait, különös tekintettel az anyaginnovációra és a hőkezelési technológiákra.:

- Hőkezelési megoldások fejlesztése: A belső hővezetési és sugárzási veszteségek minimalizálása kulcsfontosságú.
Jövőbeli fejlesztési cél: Fejlettebb UV-szűrő és hővisszaverő rétegek integrálása.
- Innovatív anyagkutatás: Az UV-visszaverő fóliák és passzívált rétegek hatékonysága új kutatási irányokat nyithat meg.
Javasolt fejlesztési irány: Nanotechnológiás bevonatok alkalmazása a hőszigetelés fokozására.
- Hosszabb élettartamú napelemek: A hőveszteség csökkentése növeli a napelemek élettartamát.
Jövőbeli fejlesztési cél: 35-40 éves élettartam elérése minimális éves teljesítménycsökkenéssel.
- Helyspecifikus alkalmazások: Az eltérő éghajlati környezetekre optimalizált napelemek fejlesztése fontos irány lehet.
Javasolt fejlesztési irány: Speciális bevonatok kifejlesztése extrém környezetekre, pl. sivatagos területekre.
- Kombinált technológiák fejlesztése: A védelmi mechanizmusok kombinálása növeli a hatékonyságot.
Javasolt fejlesztési irány: Multifunkciós panelek fejlesztése, amelyek egyszerre védik az UV-sugárzástól, csökkentik a hőveszteséget és növelik az energiaelnyelést.

A kutatás során alkalmazott lineáris degradációs modell és a Simulink szimuláció eredményei jól szemléltetik a különböző napelemes technológiák közötti eltéréseket, azonban az eredmények további validációt igényelnek.

A következő kutatási irányok segíthetnek az eredmények pontosításában és megerősítésében:

- Valós idejű teljesítménymérések elvégzése különböző földrajzi helyszíneken, ahol az UV-sugárzás és a hőmérsékleti hatások eltérőek.
- Nemlineáris degradációs modellek alkalmazása, amelyek figyelembe veszik az időben változó anyagfáradási hatásokat.
- Spektroszkópiás vizsgálatok és anyagszerkezeti elemzések, amelyek kimutatják, hogy a különböző bevonatok és szerkezeti megoldások hogyan befolyásolják a hosszú távú hővezetési és sugárzási veszteségeket.

5.3. Összegzés

A kutatás eredményei alapján a napelemes rendszerek jövőbeli fejlesztése a hőkezelési megoldások és anyagtudományi innovációk irányába mutat. A PERC + UV fóliás technológia tapasztalatai igazolják, hogy a modern megoldások növelhetik az energiahatékonyságot, csökkenthetik a degradációt és meghosszabbíthatják a rendszerek élettartamát, miközben alkalmazkodnak a különböző környezeti feltételekhez.

A kutatás nemcsak a PERC + UV fóliás technológia előnyeire világított rá, hanem a modellezési megközelítés korlátait is azonosította. Jövőbeli kutatások során valós mérésekkel és fejlettebb modellekkel lehet pontosítani a szimulációk eredményeit.

Irodalomjegyzék

- Eikelboom, J., A., Jansen, M. J. (2000): Characterisation of PV modules of New Generations. Characterisation of PV Modules of New Generations. Technical report. ECN <<https://publications.tno.nl/publication/34628019/z869hR/c00067.pdf>> (2024.02.02.)
- Huld, T., Gottschalg, R., Beyer, H., G., Topič, M. (2010): Mapping the performance of PV modules, effects of module type and data averaging. *Solar Energy*, 84 (2): 324–338. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.12.002>
- Skoplaki, E., Palyvos, J. A. (2009): On the temperature dependence of Photovoltaic Module Electrical Performance: A review of efficiency/power correlations. *Solar Energy*, 83 (5): 614–624. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.10.008>
- Titus, E., Ventura, J., Araújo, J. P., & Gil, J. C. (2018). State of the Art Solar Energy Materials. *Solar Energy*, 172 (2): 103. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.09.050>