

PANNON EGYETEM
FESTETICS DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető

Dr. Anda Angéla
az MTA Doktora

Témavezető:

Prof. Dr. Farkas István
az MTA Doktora

Témavezető:

Dr. Pályi Béla PhD.

HŰTÖTT NAPELEMEK ALKALMAZÁSÁNAK MŰSZAKI-ÖKONÓMIAI
VIZSGÁLATA

DOI:10.18136/PE.2017.659

Doktori (PhD) értekezés

Készítette:

ZSIBORÁCS HENRIK

Keszthely

2017

HÚTÓTT NAPELEMEK ALKALMAZÁSÁNAK MŰSZAKI-ÖKONÓMIAI VIZSGÁLATA

Az értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében készült a Pannon Egyetem Festetics
Doktori Iskolája keretében

Környezettudományok tudományágban

Írta:

Zsiborács Henrik

Témavezető: Dr. Pályi Béla

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

.....
(aláírás)

Témavezető: Prof. Dr. Farkas István

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

.....
(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton%-ot ért el,

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom:

Bíráló neve:..... igen /nem

.....
(aláírás)

Bíráló neve:..... igen /nem

.....
(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján%-ot ért el.

Keszthely,

.....
a Bíráló Bizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

.....
az EDHT elnöke

Tartalomjegyzék

| | |
|---|----|
| Jelölésjegyzék..... | 6 |
| Kivonat..... | 7 |
| Abstract | 8 |
| Auszug..... | 9 |
| 1. Bevezetés..... | 10 |
| 2. Irodalmi áttekintés..... | 11 |
| 2.1. A napelemek története..... | 11 |
| 2.2. A napelemek jellemzői és piaca | 13 |
| 2.3. Maximális teljesítményű pont követő eljárások | 19 |
| 2.4. A hűtés hatása a napelem modulok energiahozamára..... | 20 |
| 2.5. A napelem modulok hőtechnikai folyamatai..... | 24 |
| 2.5.1. A napelem melegedése során lejátszódó hőtechnikai folyamatok..... | 24 |
| 2.5.2. A permetezés hatása a napelem modulok hőtechnikai folyamataira..... | 26 |
| 2.6. A vizsgált országok villamos energia átvételének szabályozása..... | 30 |
| 2.6.1. Magyarország villamos energia átvételének szabályozása (HU)..... | 31 |
| 2.6.2. Horvátország villamos energia átvételének szabályozása (HR)..... | 35 |
| 2.6.3. Spanyolország villamos energia átvételének szabályozása (E) | 36 |
| 2.6.4. Ausztrália villamos energia átvételének szabályozása (AUS)..... | 36 |
| 2.6.5. Amerikai Egyesült Államok villamos energia átvételének szabályozása (USA)..... | 36 |
| 2.7. Az irodalmi áttekintés összefoglaló értékelése..... | 37 |
| 3. Anyag és módszer | 39 |
| 3.1. A napelemes rendszer kísérleti körülményei..... | 39 |
| 3.1.1. A napelem modulok hőtechnikai vizsgálata | 45 |
| 3.1.2. Az amorf szilícium napelem modulok kísérleti körülményei..... | 46 |
| 3.1.3. A kristályos napelem modulok kísérleti körülményei | 49 |
| 3.1.4. Statisztikai kiértékeléshez alkalmazott módszerek | 50 |
| 3.2. Permetezéssel hűtött napelemes rendszer alkalmazásához szükséges jellemzők és módszerek | 51 |
| 3.2.1. Napelemes rendszer bővítésének lehetősége Magyarországon..... | 51 |
| 3.2.2. Napelem rendszer energiatermeléséhez szükséges jellemzők | 52 |
| 3.2.3. A napelemes rendszer nemzetközi gazdasági számításaihoz használt jellemzők és módszerek | 54 |
| 4. Eredmények és következtetések | 59 |
| 4.1. A hűtési rendszerrel kapcsolatos jellemzők és paraméterek meghatározása..... | 59 |
| 4.1.1. A szórófej beállítása..... | 59 |

| | |
|---|-----|
| 4.1.2. A szórófejek számának meghatározása a kristályos napelemekhez | 60 |
| 4.1.3. A vízfogyasztás meghatározása | 60 |
| 4.1.4. Környezeti jellemzők a permetező hűtőrendszer használatához | 61 |
| 4.1.5. A kontroll napelemek korrekciós szerepe a hűtés során | 61 |
| 4.2. A hőtechnikai vizsgálatok eredményei..... | 61 |
| 4.2.1. A permetezett napelem modulok hőmérlege | 61 |
| 4.2.2. A hűtetlen napelem modulok hőtechnikai mérésének eredményei..... | 63 |
| 4.2.3. A napelem modulon lévő vízréteg hőtechnikai mérésének eredményei..... | 69 |
| 4.3. Az amorf szilícium napelemek mérési vizsgálatainak eredményei | 74 |
| 4.3.1. Új amorf szilícium napelem moduloknál jelentkező energiatöbblet | 74 |
| 4.3.2. 11 éves amorf szilícium napelemeknél jelentkező energiatöbblet | 75 |
| 4.3.3. 11 éves amorf szilícium modulsornál jelentkező energiatöbblet | 76 |
| 4.3.4. A ténylegesen nyerhető napi energia nyári időszakban a-Si napelemek esetében | 77 |
| 4.4. A kristályos napelem modulok vizsgálat eredményei | 78 |
| 4.4.1. A kristályos napelemeknél jelentkező energiatöbblet | 78 |
| 4.4.2. A ténylegesen nyerhető energia éves időszakban p-Si napelemek esetében | 80 |
| 4.5. Hűtetlen és vízpermetezésessel hűtött napelemes rendszerek gazdasági értékelése | 82 |
| 4.5.1. A hűtési technológiával elérhető gazdasági eredmények Magyarországon | 82 |
| 4.5.2. A hűtési technológiával elérhető gazdasági eredmények nemzetközi viszonylatban | 90 |
| 5. Tézisek | 94 |
| 6. Thesis | 96 |
| 7. Összefoglalás..... | 98 |
| Köszönetnyilvánítás | 101 |
| Irodalomjegyzék..... | 102 |

Jelölésjegyzék

| Megnevezés | | | |
|--------------|---|-----------------|--|
| a_{pv} | a napelem abszorpciós tényezője (-) | $Q_{hs, E}$ | a sugárzás energiavesztése a napelem modulból a környezetbe (Ws) |
| a_v | a víz abszorpciós tényezője (-) | Q_m | a maradék hőteljesítmény a napelem modulon (W) |
| A_{viz} | a napelem nedvesített felülete (m^2) | $Q_{m, E}$ | a maradék hőenergia a napelem modulon (Ws) |
| A_{pv} | a napelem felülete (m^2) | q_v | a víztükör alatti rétegből vezetéssel bejutó hőáramsűrűség (W/m^2) |
| c | levegő fajhője ($J/kg \text{ } ^\circ C$) | q_e | a párolgás során fellépő hőáramsűrűség (W/m^2) |
| C_i | működési költségek i-edik évben (EUR) | q_{s1} | a napsugárzás során fellépő hőáramsűrűség (W/m^2) |
| c_p | fajhőállandó nyomáson ($J/kg \text{ } ^\circ C$) | Q_{s2} | a napsugárzás a napelem modulon (W) |
| C_t | működési pénzáram (EUR) | $Q_{s2, E}$ | a napenergia nagysága a napelem modulon (Ws) |
| CV% | relatív szórás (%) | r | diszkont kamatláb (%) |
| C_0 | kezdő pénzáram (EUR) | r_h | az elvárt hozam rátája (-) |
| e_s | telítettségi gőznyomás (mbar) | T | hőmérséklet ($^\circ C$) |
| I | a napsugárzás intenzitása (W/m^2) | T_{pv} | a napelem modul hőmérséklete ($^\circ C$) |
| IRR | belső megtérülési ráta (-) | T_k | a külső levegő hőmérséklet ($^\circ C$ vagy K) |
| Le | Lewis szám, 1, Tiwari et al. (1981) munkája alapján (-) | T_v | a víz hőmérséklet ($^\circ C$ vagy K) |
| m_a | a levegő tömege (kg) | U | hőátbocsátási tényező a belső tér és a vízréteg között (W/m^2K) |
| M_{viz} | a felületről elpárolgó víz mennyisége (kg) | u_0 | a víz áramlási sebessége (m/s) |
| m_{w0} | a vízgőz tömege (kg) | v_0 | szélsebesség (m/s) |
| n | használati idő (év) | W_{pv} | a napelem modul villamosenergia-termelése (Ws) |
| NPV | nettó jelenérték (EUR) | \mathcal{L} | párolgási hő (J/kg) |
| PI | jövedelmezőségi index (-) | α_e | külső hőátadási tényező a napelem üveg felületről a környezetbe ($W/(m^2K)$) |
| p_{lev} | légnyomás (Pa) | α_{hs} | a hosszúhullámú sugárzási együttható ($W/(m^2K)$) |
| p_e | a vízfelület hőmérsékletéhez tartozó telítési parciális vízgőznyomás (Pa) | α_i | külső hőátadási tényező a tedlar hátuljáról vagy az üveg hátuljáról a környezetbe ($W/(m^2K)$) |
| p_v | a külső levegőben uralkodó parciális vízgőznyomás (Pa) | α_{sz} | szabad konvekciós koeficiens ($W/(m^2K^{3/2})$) |
| P_{pv} | a napelem modul teljesítménye (W) | β | hőmérséklet együttható (1/K) |
| $PV(C_t)$ | működési pénzáram jelenértéke (EUR) | δ | rétegvastagság (m) |
| Q_{cpv} | a konvektív hővesztés a napelem modulon (W) | ϵ_{pv} | a napelem emissziós tényezője (-) |
| $Q_{cpv, E}$ | a konvektív energiavesztés a napelem modulon (Ws) | η | a cella/modul villamos hatásfok (-) |
| q_{cv} | a vízfelület és a levegő közötti konvektív hőáramsűrűség (W/m^2) | λ | a réteg hővezetési tényezője (W/mK) |
| Q_{hs} | a sugárzás vesztesége a napelem modulból a környezetbe (W) | σ | Stefan-Boltzmann-állandó, $5,6697 \times 10^{-8}$ ($W/m^2 K^4$) |

Kivonat

Hűtött napelemek alkalmazásának műszaki-ökonómiai vizsgálata

A Földre érkező napenergia hasznosításának hatékonyságát több tényező is befolyásolhatja. Jelenleg a szilícium alapú, kristályos és vékonyfilm szerkezetű napelemek a legelterjedtebbek, amelyek a napsugárzásnak csak kisebb hányadát képesek villamos energiává átalakítani, legnagyobb része hőenergiává alakul. A napelemek esetében egyik fontos tényező a napi hőmérséklet és besugárzás változásából adódó hőmérséklet-ingadozás. Felhőtlen, derült napokon, megfelelő éghajlati adottságok következtében a napelem átlagos hőmérséklete akár a 60-70 °C hőmérsékletet is elérheti. A napelem melegedéséből adódóan energiatermelése csökken, melyre megoldást kínálnak a különböző hűtési technológiák.

A disszertáció számos témát érint a napelemek műszaki, hőtani és ökonómiai kérdéseivel kapcsolatban.

Ismertetem a Keszthelyen kialakított mérőhelyet, a kristályos és az amorf szilícium napelemek kísérleti körülményeit, az elvégzett hőtechnikai vizsgálatokat, a permetezéssel hűtött napelemes rendszer alkalmazásához szükséges jellemzőket és a napelemes rendszer hazai és nemzetközi gazdasági számításaihoz használt jellemzőket.

Bemutatom továbbá a hűtetlen és a permetezés segítségével hűtött permetezett napelem modulok hőmérlegét, a hűtési rendszerrel kapcsolatos tapasztalatokat, a napelemeknél jelentkező energiátöbbletet, a ténylegesen nyerhető napi energiát valamint a hűtetlen és vízpermetezéssel technológiával hűtött napelemes rendszerek gazdasági eredményeit hazai és nemzetközi körülmények között.

Disszertációm elkészítéséhez végzett kutatások eredményei érthetővé teszik a hűtetlen napelemekhez képest megjelenő energianyereséget, a szükséges technikai kiegészítők energiaigényeit és azok költségeit, gazdasági, technológiai, környezetvédelmi előnyeit. Az elért tudományos eredményeken belül a hűtött rendszerek tervezéséhez felhasználható alapadatokhoz, empirikus összefüggésekhez jutottam, amelyek alapján lehetővé válik ezen napelemes energiaellátó rendszerek továbbfejlesztése, hatásfokuk, gazdaságosságuk javítása.

Abstract

The efficiency of solar energy utilization on Earth can be influenced by several factors. At present, silicon-based, crystalline and thin-film solar modules are the most widely used, transforming only a small fraction of solar radiation into electricity, most of which is transformed into thermal energy. One of the important factors for solar modules is temperature fluctuation due to changes in daily temperature and irradiation. On cloudless days, in appropriate climatic conditions, the average solar module temperature may reach up to 60-70° C. Due to the heating of the solar module, its energy production is reduced, although solutions are offered by various cooling technologies.

The dissertation addresses a number of topics related to the technical, thermal and economic aspects of solar panels.

I describe the experimental conditions in Keszthely, the experimental conditions of crystalline and amorphous silicon solar modules, the thermal tests carried out, the characteristics required for the application of the spray-cooled solar module system and the characteristics used for economic calculations of the solar system, both in Hungary and internationally.

Furthermore, I present the heat balance of uncooled and spray-cooled solar modules, experiences related to the cooling system, the energy surplus in solar modules, the actual daily energy gained, and the economic benefits of uncooled and spray-cooled photovoltaic systems in Hungarian and international conditions.

The results of my research detailed in the dissertation illustrate the energy gains achieved compared to uncooled solar modules, the energy needs of the necessary technical accessories and their costs, and the economic, technological and environmental benefits. Within the scientific results achieved, I have established empirical relationships within the basic data, which can be used for the design of cooled systems, enabling the further development of these solar photovoltaic systems, and the improvement of their efficiency and their economic benefits.

Auszug

Die Nutzung der Sonnenenergie auf der Erde kann durch mehrere Faktoren beeinflusst werden. Kristalline und amorphe Silizium Photovoltaikmodule sind die zurzeit am häufigsten genutzten Technologien. Diese Module können nur einen kleinen Teil der Sonnenstrahlung in Elektrizität umwandeln, die meiste Strahlungsenergie wird als Wärme abgegeben. Bei diesen Photovoltaik-Technologien ist einer der wichtigsten Faktoren die Temperaturschwankung, welche sich aus umgebenden Lufttemperatur und der eingehenden Solarstrahlung ergibt. Bei idealen klimatischen Bedingungen und idealen Wetterbedingung kann die durchschnittliche Temperatur der Photovoltaikmodule bis zu 70 °C erreichen. Je höher die Solarmodul-Temperatur von der Idealen (im Allgemeinen 25 °C) abweicht, desto niedriger ist die Stromausbeute. Die vorgestellten Kühlungstechnologien geben dazu verschiedene Lösungen.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit den technischen, thermischen und ökonomischen Fragen der Solarmodule.

In dieser Arbeit zeige ich die Messstation in Keszthely, die Versuchsbedingungen der Photovoltaikmodule, die thermischen Untersuchungen, die Informationen zur Benutzung der Solar-PV-Modulkühlung mit der Spritzmitteltechnologie und ökonomische Fragen des ungarisch-internationalen Marktes.

Weiterhin zeige ich die Energiebilanz der ungekühlten und gekühlten Solarmodule, die Erfahrungen der Spritzmitteltechnologie, die Extraenergie bei den gekühlten Photovoltaikmodulen, die täglich-gewinnbare Energie und die ungarisch-internationalen Wirtschaftsergebnisse über die Solar-PV-Modulkühlung.

Die Ergebnisse der Dissertation stellen die zusätzlichen Energiegewinne, den Energiebedarf, die Preise und die ökonomischen, technologischen und ökologischen Merkmale der Spritzmitteltechnologie vor. Diese Informationen wurden mit den ungekühlten Solarmodulen verglichen. Im Rahmen der wissenschaftlichen Erkenntnisse kann man Informationen über die Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Planung zu den gekühlten Photovoltaikmodulen bekommen.

1. Bevezetés

Az emberiség energiaigénye folyamatosan növekvő tendenciát mutat, emiatt a megújuló energiaforrások, közte a napenergia használata egyre indokoltabb, hiszen a napenergia az egész emberiség számára a legnagyobb potenciállal bíró, bőséges mennyiségben rendelkezésre álló, tiszta és fenntartható erőforrás.

Az Európai Unió élen jár a megújuló energiaforrások hasznosításában, az új energiagazdaságért folytatott küzdelemben és a klímapolitika terén. Az „előre menekülés” stratégiáját választva hosszú távú cél a megújuló energiaforrások arányának növelése, hiszen területén a magas fajlagos energiafelhasználási szint mellett alacsony az enegiahordozókban való ellátottság. A napenergia alapú energiatermelés jelentős mértékben hozzájárulhat a fenntartható energiagazdálkodás elősegítéséhez számos egyéb környezetvédelmi előnye mellett.

A Földre érkező napenergia fotovillamos hasznosításának hatékonyságát több tényező is befolyásolja, amelyek közül az egyik legfontosabb a napelem modulok hőmérséklet változása, mivel azok hatásfoka, így a villamosenergia-termelése nagymértékben függ a cellák hőmérsékletétől. A napelemes technológia fejlesztésében az alapanyag és a gyártási technológia fejlesztésén túlmenően a napelemek hűtése tekinthető a hatékonyságnövelés egyik legnagyobb tartalékának, amelynek négy csoportját, a hő-alapú, a hőcserélős/hűtőközeget, a levegő-alapú és a víz-alapú kategóriákat szükséges megkülönböztetni.

A dolgozat célkitűzése

A kutatás fő célkitűzése, egy eddig Magyarországon – a napelemek hatásfokának javítására – még nem alkalmazott vízpermetezéssel technológia tudományos alapjainak vizsgálata valós időjárási körülmények között elvégzett alátámasztó kísérletek eredményeinek bemutatásával. Ennek segítségével a hűtetlen és permetezéssel hűtött, földön rögzített állványra kitelepített és tetőre telepített déli tájolású kristályos és amorf szilícium napelem modulok hőtechnikai viszonyai, a napelem modulokra integrált vízpermetezéssel technológia alkalmazhatósága és a használatához szükséges ideális műszaki-környezeti jellemzők és paraméterek hazai és nemzetközi viszonyai, valamint a gazdaságosságának modellezése kerül meghatározásra.

2. Irodalmi áttekintés

Ebben a fejezetben feldolgozom a napelemek fejlődésének történetét, a napelemek jellemző piacára és fejlődésére vonatkozó ismereteket, a hőmérsékletfüggést, a hőtechnikai folyamatokat és a maximális teljesítményű pontkövető eljárásokat. Ezen felül bemutatom több ország villamos energia átvételének szabályozását. Ezen információk a hűtött napelemek alkalmazásának létjogosultságához nyújtanak alapszabványokat, amelyek a gazdasági számítások szerves részét képezik.

2.1. A napelemek története

A szilárd félvezető fényelemek előtörténete elsőként A. E. Becquerel francia fizikus nevéhez kötődik, aki az elektrolitokban létrejövő fényelektromos jelenséget megfigyelte és publikálta (Becquerel, 1839a, b; Fábíán, 2015).

Joseph May ír távírázó 1872-ben a tengeri távírókábelek vizsgálata közben felfedezte a szelén vezetőképességének a megvilágítástól való függését, amire felettese, W. Smith mérnök figyelmét is felhívta (Smith, 1873; Fábíán, 2015).

1883-ban a New York-i C. E. Fritts áttetsző aranyréteggel bevont, körülbelül 30 cm^2 területű szelén napelemet készített, amelynek hatásfoka 1 % alatti (Fritts, 1883; Fábíán, 2015). Kortársai a találmányának jelentőségét nem ismerték fel. Az Amerikai Egyesült Államokban, csalóként feljelentették, mert azt mondták, hogy anyagfelhasználás nélkül energiát előállítani a fizikai törvények megsértését jelenti. Az egyetlen, aki a felfedezést nagy tudományos jelentőségűnek ítélte, Werner von Siemens volt, mivel a Porosz Tudományos Akadémia előtt is bemutatta a Frittstől kapott mintapéldányt (Fábíán, 2015).

1914-ben A. Goldmann és J. Brodsky, a lipcsei egyetem fizikai intézetének kutatói leírták, hogy a fotoelektromos eszközökben határreteg létezik. Két évvel később Robert A. Millikan amerikai fizikus a fotoelektromos hatást kísérletileg bizonyította (Goldmann, 1914; Goldmann-Brodsky, 1914; Fábíán, 2015).

1930-ban a német W. Schottky a réz-oxidul fényelektromos tulajdonságait vizsgálva napenergiával működtetett miniatűr villanymotort mutatott be. W. Schottky és C. W. Wagner német fizikokémikus a félvezetők két csoportra osztását is javasolták, megalkották a p- és az n-típusú félvezető fogalmát (Wagner-Schottky, 1930; Fábíán, 2015).

1931-ben jelentek meg H. Dember német fizikus cikkei az általa felfedezett úgynevezett Kristallfotoeffekt-ről. A cikkek a félvezetőkben a fénysugárzás hatására létrejövő feszültséget írják le (Dember, 1930a, b, c; Fábíán, 2015).

1932-ben a francia R-A. Audubert és C. Stora a kadmium-szulfid (CdS) fotoelektromos tulajdonságát fedezték fel (Audubert et al., 1932; Fábíán, 2015).

Az Egyesült Államokban kiterjedt kutatások kezdődtek a kadmium-szulfid (CdS), cink-szulfid (ZnS), réz-oxid (Cu_2O), szelén (Se), tellurid (Te) anyagú fényelemekkel kapcsolatban, így például 1932 júliusában a Weston Electrical Instrument Corp. munkatársa, A. H. Lamb félvezető alapanyagú fényelemre nyújtott be találmányt (Lamb, 1935; Fábíán, 2015).

1941 májusában a Bell Telephone Labs kutatója, R. S. Ohl elektrokémikus jelentett be találmányt a szilícium fényelem előállítására és alkalmazására vonatkozóan (Ohl, 1946; Ohl, 1948; Fábíán, 2015). Arról megoszlanak a vélemények, hogy a fényelem ténylegesen elkészült-e vagy sem, bár a szabadalomban konkrét méreteket is közöl (pl. 11,4 x 5,5 x 0,6 mm téglatest alakú fényelem). Egyes források szerint az 1940-ben készített napelem a p-n átmenet erős megvilágításakor kb. 0,5 V-ot adott le (Reynolds et al., 1954; Reynolds et al., 1958; Fábíán, 2015).

Az ötvenes és hatvanas években – miután a Bell Laboratóriumban G. Teal és J. Little a Czochralski-féle eljárás segítségével monokristályos germániumot, majd szilíciumot állított elő – megsokasodtak a germánium (Ge), szilícium (Si), majd a kadmium-szulfid (CdS), kadmium-szelén (CdSe), gallium-arszenid (GaAs) alapú fotoelektromos eszközökre vonatkozó szabadalmak. A Bell Labsnál már 1951-ben készítették rétegnövesztéses módszerrel p-n átmenetes fényelemeket (Fábíán, 2015).

1954-ben D. C. Reynolds és társai újra felfedezték a kadmium-szulfidnál (CdS) fellépő fotoelektromos hatást. 1956 májusában találmányi bejelentést is tettek a réz-szulfid/kadmium-szulfid ($\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$) fényelemre. A két évvel később megadott szabadalom tulajdonosa az U.S. Air Force titkársága által képviselt Amerikai Egyesült Államok lett (Reynolds et al., 1954; Reynolds et al., 1958; Fábíán, 2015).

Ohl szabadalmai alapozták meg a Bell Laboratórium munkatársai, D. M. Chapin, C. S. Fuller és G. L. Pearson 1953-as sikerét, a mintegy 2 cm^2 nagyságú, 4-5% hatásfokú p-n átmenetes Si fényelem megalkotását. 1954. április 25-én már a 6% hatásfokú cellát mutatták be Murray Hill-ben, így ez a nap tekinthető a szilícium napelem születésnapjának (Chapin et al., 1954; Chapin et al., 1957; Fábíán, 2015).

1975-ig csak mono- és polikristályos szilícium napelemek léteztek. Ekkor azonban W. E. Spear professzor és munkatársai a skóciai Dundee egyetemének fizikai laboratóriumában amorf dopolt, p-n átmenetes szilíciumot állítottak elő (Spear-leComber, 1975; Spear et al., 1976; Fábíán, 2015). Ezt követően az RCA princetoni laboratóriumában D. E. Carlson és C. R. Wronski fizikusok elkészítették az első, 1-2% hatásfokú amorf Szilícium napcellát (Carlson- Wronski, 1976; Fábíán, 2015).

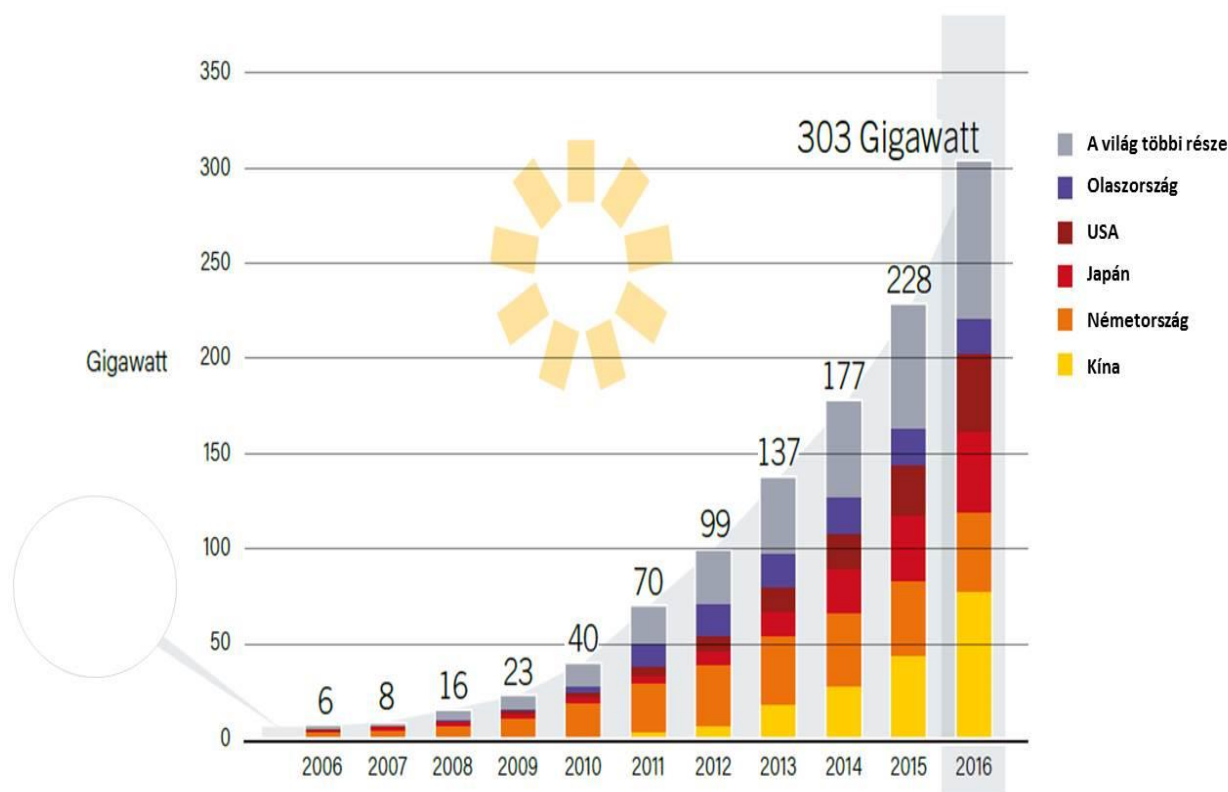
A hetvenes évek végén a szilíciumot kadmiummal, galliummal, indiummal, stb helyettesítették, és az amorf szilícium mellett új vékonyrétegek, például kadmium-tellurid (CdTe), gallium-arsenid (GaAs), gallium-indium-arsén-foszfid (GaInAsP), réz-indium-diszelenid (CuInS_2), réz-indium-diszulfid (CuInS_2), réz-indium-gallium-diszelenid (CuInGaSe_2) kombinációját hozták létre (Fábíán, 2015).

A fénylemek első generációjához az egy p-n átmenetes eszközök tartoznak, míg a második generációt a vékonyréteg technológiával gyártott eszközök képviselik. Napjainkban a fénylemek többsége szilícium alapú, a cellák monokristályos, polikristályos vagy amorf szilíciumból készülnek (Fábíán, 2015). Emiatt választottam az említett három napelem technológiát vizsgálataimhoz.

2.2. A napelemek jellemzői és piaca

Csillagunkból, a Napból évente hozzávetőleg $8 \cdot 10^8$ TWh energia érkezik a Föld felszínére, amelynek potenciálja kb. 8 000-szer nagyobb, mint a világ energiaigénye (Roth, 2005; Bai et al., 2016b).

A napelemes energiatermelés rohamos növekedése volt megfigyelhető az utóbbi években, elsősorban a gyors technológiai fejlődésnek, a csökkenő költségeknek és a számos országban bevezetett állami támogatásnak köszönhetően. Ezt reprezentálják a következő adatok: az IEA (2014) és a REN21 (2015, 2016, 2017) kiadványai szerint 2009-ben 23 GW volt a napelemes rendszerek összes beépített teljesítménye, 2013-ra a kapacitás több mint ötszörösére (137 GW) növekedett, 2014-ben 177 GW-ra, 2015-ben 228 GW-ra, majd 2016-ban 303 GW-ra emelkedett ez az érték (1. ábra). A 2016-os értékhez a legnagyobb részesedést az Európai Unió 106 GW-al (Németország 41.3 GW), Kína 77.4 GW-al, Japán 42.8 GW-al, míg az USA 40.9 GW-al járult hozzá. 2016-ban a megújuló villamosenergia-termelés aránya globális szinten az összes előállított villamosenergia 24.5%-át tette ki, amelyből a napelemes technológia 1.5%-ot képviselt (REN21, 2017; Fraunhofer ISE, 2017).

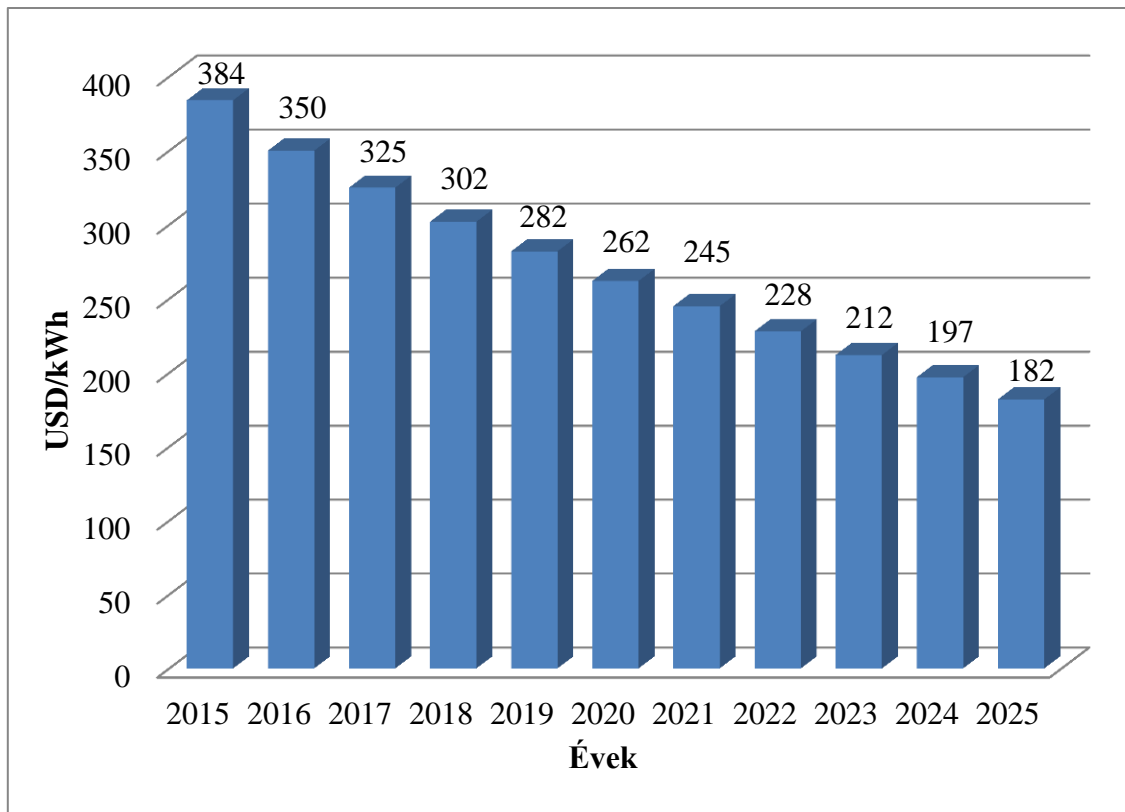


1. ábra. A napelemes rendszerek globális kapacitása 2006-2016 között

(Forrás: IEA, 2014; REN21, 2017)

A napelemek olyan mesterséges napenergia hasznosító berendezések, amelyek a fizika törvényszerűségeinek megfelelően – a fotovillamos jelenség során – a Földre érkező napenergiából villamos energiát állítanak elő (Fábián, 2015; Turmezei-Nemcsics, 2001).

A fotovillamos energiatermelés napjainkban fontos szerepet játszik a világ energiatermelésében (REN21, 2016, Roth, 2005). Ezen nagy lehetőségeket rejtő energiaforrás minél nagyobb mértékű kiaknázásának és hatékony tárolásának megoldása korunk egyik nagy kihívása (Blankenship et al., 2011). A villamos energia tárolásának területén a lítium-ion technológia fontos fejlődésen ment keresztül a ciklusszám és a bekerülési értékét illetően is: az első esetben akár 8 000 ciklusszám is elérhető 90%-os hálózatra táplálási hatásfokkal, míg a második esetben 2016-ban 350 USD-be került a villamos energia kWh-kénti tároló kapacitása. 2025-re a lítium-ion alapú technológia tárolás bekerülési érték célja a 182 USD / kWh tároló kapacitás, ami a 2016-os értékhez képest 48%-os csökkenést jelentene (2. ábra) (Randall, 2016; Fronius International GmbH, 2016).



2. ábra. A lítium-ion technológia bekerülési értékének várható alakulása 2015 és 2025 között

(Forrás: Randall, 2016)

A napenergia alapú energiatermelés jelentős mértékben hozzájárulhat a fenntartható energiagazdálkodás elősegítéséhez számos egyéb előnye mellett. A legtöbb napelem modulokat gyártó cég 10 év gyári garanciát és 20-25 év teljesítmény garanciát biztosít. A teljesítmény garancia azt mutatja, hogy a napelem modul 20-25 év használat után is a gyártás során meghatározott névleges teljesítmény minimum 80%-át teljesíti (Zsiborács et al., 2014b; Wagner Solar Hungária Kft., 2014). A napelemek életciklusából kiindulva a gyártás energia- és anyagigényét követően sok éven keresztül CO₂- és egyéb károsanyag-kibocsátás, valamint hulladéktermelés nélkül termel ingyen zöld energiát. (Hosenuzzaman et al., 2015; Aman et al., 2015; Bai et al., 2016b; Németh et al., 2015).

A napenergiában rejlő lehetőséget felismerve a legkülönbözőbb hasznosítási módok kerültek, illetve kerülnek kifejlesztésre, a napenergiával működtetett repülőgéptől (Gao et al., 2015) kezdve a hidrogén előállításra (Zamfirescu–Dincer, 2014) és szennyvíziszap-kezelésen (Chen et al., 2014) keresztül a sótalánítási technológiával bezárólag (Sharon, 2015).

A különböző felhasználási lehetőségek fejlesztésénél minden esetben figyelemmel kell lenni a napelem típusára, mert az döntően befolyásolja a nyerhető villamos energia mennyiségét. Napjainkban – a technológia hatékonyságának fejlődésének következtében –

kedvező irányba változik a rendszeralkotók gyártási költsége és fogyasztói ára egyaránt, amely a beruházás megtérülési idejének csökkenését eredményezi (Bai et al., 2016b).

A technológia fejlődésével és a fentebb említett beruházási költség csökkenésével a napelemes rendszerek elterjedése megugrott 2000 után. Az utóbbi évtizedben előfordult, hogy a telepített rendszerek összes beépített teljesítményének 40-90%-os növekedése mellett a rendszerek bekerülési értéke 40%-kal is csökkent éves szinten (Jäger-Waldau et al., 2011; Jäger-Waldau, 2011; Jäger-Waldau, 2013; Bai et al., 2016b). Elmondható, hogy a beruházási költség napjainkra megközelítette azt a legalacsonyabb költségszintet, amelynek további csökkenése már csak a gyártási technológia jelentős fejlesztésével, vagy újabb és olcsóbb alapanyag felderítésével várható (Bai et al., 2016b).

A napelemek által megtermelhető energia mennyisége elsősorban az adott modul típusától és összetételétől, valamint a telepítési és az aktuális természeti tényezők együttes hatásától függ. A határfokot befolyásoló konstrukciós tényezők az alapanyag megválasztása, az átmenetek és hozzávezetések kialakítása (geometria, adalékprofil, megfelelő technológia), valamint a cellák összeépítése. Ezeket a megfelelő cella konstrukciókkal együtt célszerű tárgyalni. A modulon lévő veszteségeket befolyásolja a fényvisszaverődés a modul aktív felületének felszínéről, a tiltott sáv szélessége nem megfelelő, mivel nem minden foton kelt töltéshordozókat, a spektrális érzékenységi karakterisztika eltér a napsugárzás spektrális karakterisztikájától, formatényező kicsi (túl magas hőmérséklet, soros ellenállás), felület egy része nem kihasználható (hozzávezetések árnyéka, hibahelyek), a fotonok anélkül érik el a hátsó elektródákat, hogy elektronokat és lyukakat gerjesztenének. A forgalomban lévő monokristályos (m-Si) és polikristályos (p-Si) napelemeknél már 25,6% (m-Si) valamint 20,8% (p-Si) határfokkal találkozhatunk, piaci részesedésük megbízhatóságuk miatt 85-90% (Green et al., 2016, IEA; 2014; Cosme et al., 2015; Panasonic Corporation, 2014; Verlinden et al., 2014; Zsiborács et al., 2016a, b; Krempasky, 1977). A vékonyrétegű napelemek egyik fajtája az amorf szilícium napelem (a-Si), amelynél már 10,5% határfok elérhető. A piaci részesedésük nehezen körülhatárolható, az összes vékonyrétegű napelem részesedése 10-15% körüli (Green et al., 2016, IEA, 2014, Matsui et al., 2013; Zsiborács et al., 2016b; Mizsei, 2003). Napelemes rendszerek telepítése során jellemzőbb az alacsonyabb határfokú kristályos (m-Si: 16-20%; p-Si 14-17%) és amorf szilícium napelem modulok (a-Si: 5-8%) alkalmazása kedvezőbb bekerülési értékükből adódóan (TST Arge Solarstrom, 2017).

A kedvező világpiacon elterjedtséggel és árral jellemezhető szilícium alapú, kristályos és vékonyfilm szerkezetű napelem típusokkal valósultak meg a későbbi fejezetekben bemutatásra kerülő vizsgálatok.

A klasszikus, leggyakrabban alkalmazott szilícium alapú napelemek mellett számos típus van használatban, illetve kísérleti fázisban, ezek közül a szerves napelemekben a növények fotoszintézisének ötletéből kiindulva, szerves anyag beépítésével történik az energiatermelés (Bai et al., 2016b).

Az 1. táblázatban a 2016-ban ismert napelem típusok és hatásfokuk kerül bemutatásra. A napelemek behatárolt hatásfokának egyik fő oka, hogy a nap spektruma sokkal szélesebb, mint egy félvezető abszorpciós sávja. Különböző anyagok kombinációjából felépített elem sokkal jobban tudja abszorbeálni a fényt, mint egy egyszerű elem (Räuber, 2002).

A szilícium és vékonyfilmes technológia mellett a különböző anyagokra, gyártási eljárásokra és innovatív technológiára irányuló kutatás-fejlesztési tevékenység szüntelen (Tyagi et al., 2013.). Ezek körébe tartoznak például az organikus, a festékérzékenyített vagy éppen a perovszkit napelemek. A technológia fejlődésének egyik kiemelkedő példája a 44.7% hatásfokot elérő négy határátmenetes cella (Dimroth, 2013).

A napelemes technológia generációit és az új fejlesztési irányokat Green et al. (2016) és Hosenuzzaman et al. (2015) foglalták össze.

A napelemes technológia fejlesztésében az alapanyag és a gyártási technológia fejlesztésén túlmenően a napelemek hűtése tekinthető a hatékonyságnövelés egyik legnagyobb tartalékának.

1. táblázat. A napelemek osztályozása, fajtái és igazolt hatásfokuk 2016-ban

| Osztályozás | Hatásfok (%) | Leírás |
|---------------------------------|--------------|--|
| Szilícium | | |
| Si (monokristályos cella) | 25,6 | Panasonic HIT (Masuko et al., 2014) |
| Si (polikristályos cella) | 21,3 | Trina Solar (Zhang et al., 2016) |
| Si (vékony transzfer almodul) | 21,2 | Solexel (Moslehi et al., 2012) |
| Si (vékonyfilm minimodul) | 10,5 | CSG Solar (Keevers et al., 2007) |
| III-V cellák | | |
| GaAs (vékonyfilm cella) | 28,8 | Alta Devices (Kayes et al., 2011) |
| GaAs (multikristályos) | 18,4 | RTI (Venkatasubramanian et al., 1997) |
| InP (kristályos cella) | 22,1 | Spire (Keavney et al., 1990) |
| Vékonyfilm Kallogenid | | |
| CIGS (cella) | 21,0 | Solibro(Solibro GmbH., 2014) |
| CIGS (minimodul) | 18,7 | Solibro (Wallinet et al., 2012) |
| CdTe (cella) | 21,0 | First Solar (First Solar Inc., 2014) |
| CZTSSe (cella) | 9,8 | IMRA Europe (Larramona et al., 2015) |
| CZTS (cella) | 7,6 | UNSW (Sunet et al., 2016) |
| Amorf/mikrokristályos | | |
| Si (amorf cella) | 10,2 | AIST (Matsui et al., 2013) |
| Si (mikrokristályos cella) | 11,8 | AIST (Sai et al., 2015) |
| Perovszkit | | |
| Perovszkit (cella) | 19,7 | KRICT/UNIST (Yang et al., 2015) |
| Festékérzékenyített | | |
| Festék-fényérzékeny (cella) | 11,9 | Sharp (Komiya et al., 2011) |
| Festék-fényérzékeny (minimodul) | 10,7 | Sharp (Komiya et al., 2011) |
| Festék-fényérzékeny (submodul) | 8,8 | Sharp (Kawai, 2013) |
| Organikus | | |
| Organikus (cella) | 11,2 | Toshiba (Mori et al., 2015) |
| Organikus (minimodul) | 9,7 | Toshiba (Hosoya et al., 2013) |
| Több határátmenetes | | |
| Öt határátmenetes cella | 38,8 | Spectrolab (Chiu et al., 2014) |
| InGaP/GaAs/InGaAs | 37,9 | Sharp (Sasaki et al., 2013) |
| GaInP/GaInAs/Ge; Si (minimodul) | 34,5 | UNSW/Azur/Trina (Green et al., 2015) |
| GaInP/GaAs (monolitikus) | 31,6 | Alta Devices (Kayes et al., 2014) |
| GaInP/Si | 29,8 | NREL/CSEM (Essig et al., 2016) |
| a-Si/nc-Si/nc-Si (vékonyfilm) | 13,6 | AIST (Sai et al., 2015) |
| a-Si/nc-Si (vékonyfilm cella) | 12,7 | AIST (Matsui et al., 2013, Sai et al., 2015) |

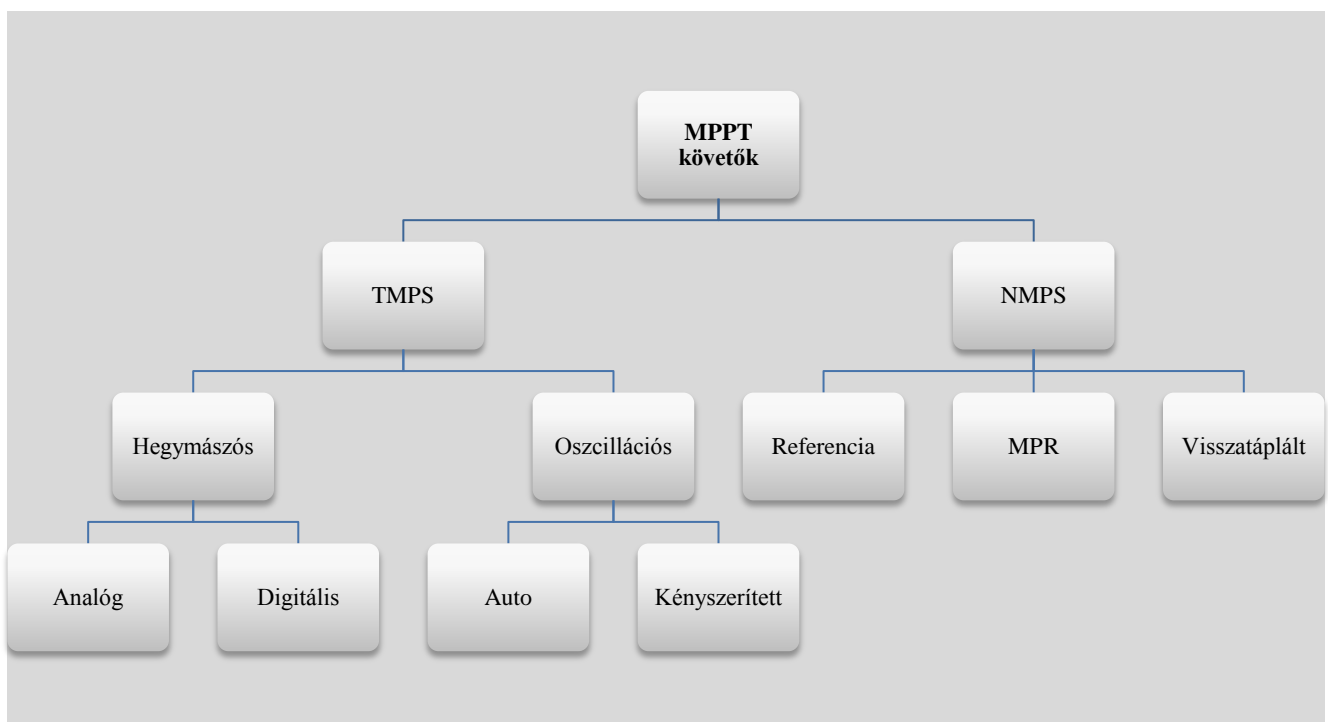
(Forrás: saját szerkesztés, Green et al., 2016 alapján)

2.3. Maximális teljesítményű pont követő eljárások

Számos munkapont követő eljárás (3. ábra) került kidolgozásra, amelyek a napelem modul mindenkor legnagyobb energiaszintű hasznosíthatóságára törekednek. A maximális teljesítményű pont (MPP) az a pont a napelem modul áram-feszültség karakterisztikájának görbéjén, ahol az eszköz a legnagyobb teljesítmény leadására képes. A kinyerhető energia, illetve teljesítmény a cella anyagjellemzőitől, a napsugárzás intenzitásától és beesési szögétől, valamint a napelem modul feszültség-áram munkapontjának optimális beállításától függ, amiből következik, hogy ez a pont az üzemelés során folyton változik. A maximális teljesítményű pont követő (Maximum Power Point Tracking -MPPT) eljárások részleteikben különbözőek, és emiatt ugyanazon esetre más-más eredményt biztosítanak (Lőrincz-Szénásy, 2010; Tey-Mekhilef, 2013; Rezk-Eltamaly, 2015; MNNSZ, 2017c).

A munkapont követés lényegét tekintve két alapvetően eltérő eljárást kell megkülönböztetni:

- valódi maximális pont kereső (True Maximum Point Seeking -TMPS),
 - nem-valódi maximális pont kereső (Non-true Maximum Point Seeking -NMPS)
- (Szabó, 1996-97; Büyükgüzel-Aksoy, 2016; Leyva et al., 2006).



3. ábra. MPPT követési stratégiák

(Forrás: Szabó, 1996-1997; Büyükgüzel-Aksoy, 2016; Leyva et al, 2006 alapján)

A TMPS eljárás elemi módszerekkel valóban az éppen aktuális karakterisztika maximális teljesítményű pontját keresi:

- A hegemászos megoldás esetében a napelem teljesítményét méréssel és közvetett számítás útján határozza meg. A maximális teljesítményű pont követőt realizáló konverter kitöltési tényezőjének vagy bemenő feszültségének kismértékű, egy lépésben történő megváltoztatása után a napelem teljesítményben előálló változást figyeli meg. Ha a változás pozitív, akkor azonos irányba változtatja egy lépéssel a kitöltési tényezőt (vagy feszültséget), ha negatív, akkor ellentétes irányba lépteti azt.
- Az oszcillációs megoldás során szinuszos, vagy más periodikus időfüggvény szerinti jelet adnak a vezérlési paraméterhez és annak hatását vizsgálják a napelem-teljesítményben. Az auto-oszcillációs megoldások jellemzően egyszerűbb áramköri felépítésűek (Sullivan-Powers, 1993; Szabó, 1996-1997; Büyükgüzel-Aksoy, 2016; Leyva et al., 2006).

Az NMPS megoldásoknál a napelem-karakterisztika számszerűleg ismert, "a priori" tulajdonságait kihasználva szabályozzák a konverter bemeneti munkapontját. Előfordulnak módszerek, ahol a napelem-karakterisztika adatait memóriában tárolják és adott helyzetű konverter-munkaponthoz egyértelmű szabályozási paramétert rendelnek. Más megoldások úgy működnek, hogy a maximális teljesítményű ponthoz tartozó feszültség egy adott környezetben a napelem üresjárási feszültségének 0.75-0.86-szorosa (Herrmann et al., 1993, Case-Schoeman, 1993; Schoeman-Wyk, 1982; Herrmann et al. 1993, Szabó; 1996-1997).

2.4. A hűtés hatása a napelem modulok energiahozamára

A Földre érkező napenergia hasznosításának hatékonyságát több tényező is befolyásolhatja. A napelemek esetében egyik fontos tényező a napi hőmérséklet és a besugárzás változásából adódó hőmérséklet-ingadozás (Skoplaki-Palyvos, 2009a; Alami, 2014). Melegebb napokon a magyarországi éghajlati adottságok következtében a napelem modul hőmérséklete akár a 60-70°C hőmérsékletet is elérheti. A napelem melegedéséből adódóan energiatermelése csökken, melyre megoldást kínálnak a különböző hűtési technológiák (Chandrasekar, 2015).

Bahaidarah et al. (2013) szerint a fotovillamos rendszerek energiatermelése erősen függ az üzemi hőmérséklettől. Általánosságban véve elmondható, hogy a napelemes berendezéseknél a beérkező energiának döntő többsége hőenergiává alakul, vagyis nem kerül

hasznosításra (Chandrasekar et al., 2013). A keletkező hőmennyiség egyrészt elvész, másrészt további veszteségeket okoz rövid és hosszú távon egyaránt, mert a modulok hőmérsékleteinek emelkedése csökkenti a rendszer hatásfokát, vagyis az előállítható villamos energia mennyiségét. Rövidtávon a pillanatnyi energiatermelést korlátozza, míg hosszú távon a napelem öregedését gyorsítja fel a magas modul hőmérséklet. A napelem típusától függően eltérő mértékű lehet a hatásfok csökkenése is (Ndiaye et al., 2014, Kahoul et al., 2014).

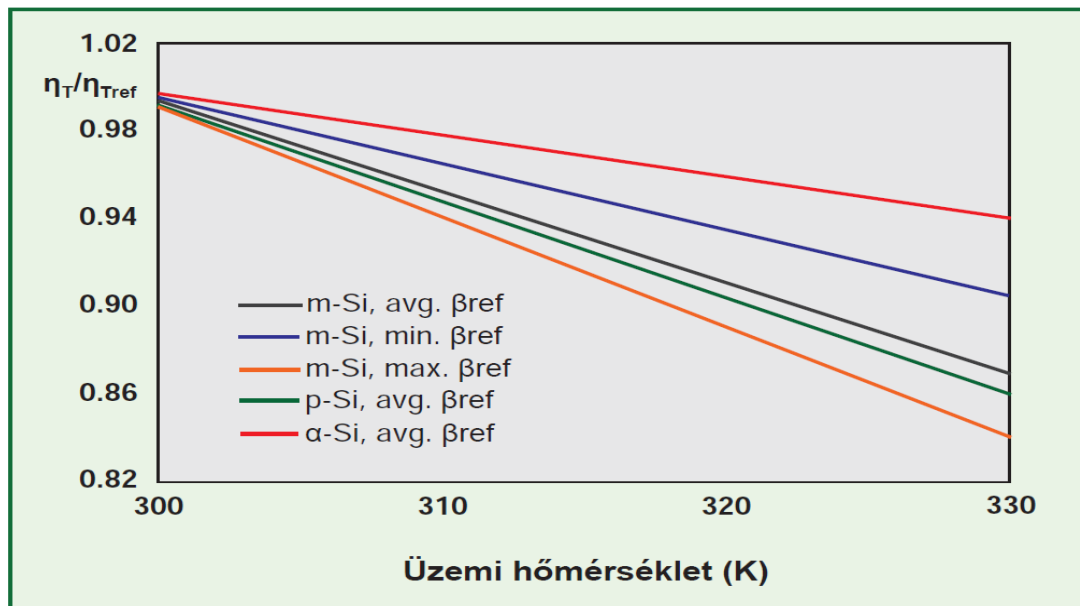
A hőmérséklet növekedésének hatására növekszik a diffúziós hossz, mivel nő a diffúziós állandó és a töltéshordozók élettartama is. Ez némi növekedést eredményez a rövidzárási áram értékében. A megvilágítás intenzitásának növelésével a hatásfok is javul. Ennek háttérében az üresjárási feszültség megnövekedése áll. Amennyiben a cella hőmérsékletének túlzott megemelkedését sikerül elkerülni, akkor az erősebb megvilágítás erősebb foto generációt eredményez, változatlan termikus generáció mellett (Mizei, 2003).

Chandrasekar et al. 2015 munkája bemutatja, hogy a kristályos napelemeknél jellemzően 0,5% hatásfokromlást eredményez 1°C hőmérsékletemelkedés, amely Radziemska-Klugmann (2002) eredményeit ($0,5\% / ^{\circ}\text{C}$) erősíti (Chandrasekar et al., 2015). Skoplaki-Palyvos (2009b) szerint a hatásfok-hőmérséklet kapcsolatának kérdéseiről elmondható, hogy a modul hőmérséklet 1°C -os emelkedése esetén általánosságban 0,3-0,5%-os hatásfokveszteség jelentkezik a kristályos napelemeknél. Krauter (2004) és Abdolzadeh-Ameri (2009) szerint az energiaváltozás-hőmérséklet kapcsolata $0,4\text{-}0,5\% / ^{\circ}\text{C}$ között változik.

Az amorf szilícium napelemeknél Skoplaki-Palyvos (2009b) szerint a modul hőmérséklet 1°C -os emelkedése esetén általánosságban 0,2-0,3%, míg Chandrasekar et al. (2015) szerint 0,21% hatásfokveszteség jelentkezik.

A 4. ábra Skoplaki-Palyvos (2009b) eredményeit szemlélteti a kristályos és amorf napelemek hatásfok-hőmérséklet kapcsolatára vonatkozólag.

A különböző mérési eredmények hőmérséklet-energiaváltozás összefüggései ismertek, viszont jelentős eltéréseket mutatnak.



4. ábra. η_T / η_{Tref} összefüggése szilícium bázisú PV napelemeknél

(Forrás: Skoplaki-Palyvos, 2009b; Zsiborács et al., 2016e)

A hőmérséklet-hatásfok, így a hőmérséklet-energiaváltozás között lineáris a változás (Skoplaki-Palyvos, 2009a). Ezt a változást -48 °C és $+85\text{ °C}$ -közötti modulhőmérsékleti tartományokra vonatkoztatják a napelem modulokat gyártó vállalatok (Tenka Solar, 2017; First Solar, 2017).

A sugárzási intenzitás (besugárzás) változása szoros kapcsolatban van a hőmérsékletváltozással. A napelemek energiatermelését árnyékmentes, derült körülmények között döntően két tényező, a sugárzási intenzitás és a hőmérséklet befolyásolja (Skoplaki-Palyvos, 2009a).

A napelemes rendszerek univerzális alkalmazásával és a telepítések folyamatos bővülésével párhuzamosan a fentebb említett rövid- és hosszú távú hatásfok-csökkenés elkerülésére irányuló kutatás-fejlesztési tevékenység is egyre inkább előtérbe kerül. Ennek érdekében különböző aktív és passzív hűtési eljárások alkalmazhatók, amelyekkel ellenőrizni lehet a napelem modul üzemelési hőmérsékletét (Elnozahy et al., 2015, Du B. et al., 2012). Chandrasekar et al. (2015) szerint a hűtési technikáknak négy csoportját különböztethetjük meg, nevezetesen a levegő-alapú, a víz-alapú, a hőcserélős/hűtőközeges (Ji J. et al., 2008) és a hő-alapú kategóriákat. A hatásfoknövelés szempontjából a víz alapú hűtési módok a leghatékonyabbak, emiatt fontos kérdésként felmerül, hogy lehet-e egy ilyen rendszer gazdaságos (Grubišić-Čabo et al., 2016; Zsiborács et al., 2016a)?

A 3. fejezetben bemutatásra kerülő vizsgálatok a víz-alapú (vízpermetezéssel) eljárásra koncentrálnak. Elmondható, hogy a vízzel történő permetezés során a párolgás jelenségének

hatására jelentősen csökken az üzemelési modul hőmérséklet egy azonos körülmények között üzemelő, hűtés nélküli napelem-modulhoz képest (Abdolzadeh-Ameri, 2009; Bai et al., 2016b; Zsiborács et al., 2016e). Ennek bővebb részletezése a 2.5.2. pont tárgya.

A kristályos napelem modul felületéről lefolyó víz hűtő hatását Odehand és Behina vizsgálta 2009-ben. Arra a megállapításra jutottak, hogy egy derült nyári nap 58 °C hőmérsékletű modul esetében elért 26 °C modul hőmérsékletnél, 4 és 10% közötti hatásfok növekedést tapasztaltak. Hasonló munkát végeztek Abdolzadeh és Ameriek 2009-ben. Kísérleteik azt mutatták, hogy 23 °C hőmérséklet csökkenés esetén 17% hatásfok növekedés érhető el. Kísérletük során a vizet permetezték. A mérési eredmények Odehand és Behina (2009) esetében átlagosan 0,22%, míg Abdolzadeh és Ameri (2009) eredményeinél átlagosan 0,74% energiahozam javulást mutattak a permetezett kristályos modul 1 °C-os hőmérsékletcsökkenése esetén.

A vízzel történő felülethűtést Krauter (2004) is vizsgálta, aki állandó – 2 liter/perc – vízmennyiség fecskendőkből történő adagolása mellett mérte meg a kristályos napelem modul hőmérsékletben, valamint teljesítményben beálló változásokat. Azt tapasztalta, hogy a víznek a modul felületén történő áramoltatása és a párolgás hatására 680Wh hűtő hatás érvényesült, jelentősen csökkentve a modul hőmérsékletét. Ezzel napi szinten a villamosenergia-termelésben 10,3%-os javulását lehetett elérni a vízhűtés nélküli napelemes modullal összevetve. A kísérletben kitérnek a gazdaságosság szempontjából fontos tényezőre, nevezetesen a víz mozgatását végző szivattyú teljesítményének és modulok hatásfokának kérdésére is. A kéziratban nem kapunk arra választ, hogy lehet-e egy ilyen rendszer gazdaságos?

Munkám egyik fő kérdése, hogy az optimális elhelyezésű, tájolású és átlagos teljesítményű hálózatra nem tápláló új kristályos, valamint új és 11 éves hűtött amorf szilícium napelem modulok, valamint a hálózatra tápláló amorf szilícium hűtött modulsor esetében a hőmérséklet 1°C-os csökkentése a megnövekedett energiatermelés vonatkozásában az irodalmi adatokkal összehangban jelentkezik-e? Ezzel kapcsolatban felmerül kérdésként, hogy a hálózatra nem tápláló moduloknál és a hálózatra tápláló modulsornál a hűtés során tapasztalt adatok eltérőek lesznek-e a napelem öregedése, a maximális teljesítményű pont követő eljárások különbözősége és a hálózatra táplálás vesztesége által?

A napelem moduloknál a névleges teljesítményt célszerű megemlíteni, mivel a modulokat laboratóriumi viszonyok mellett (STC - Standard Test Conditions, AM = 1.5 légszennyezettség, 1000W/m² besugárzott energia, és 25°C modul hőmérséklet) vizsgálják és minősítik (Arndt–Puto, 2015).

2.5. A napelem modulok hőtechnikai folyamatai

Ebben a pontban bemutatom a napelem melegedése során végbemenő hőtechnikai folyamatokat, valamint ismertetem a permetezés hatását a napelem modulok hőtechnikai viszonyaira vonatkoztatva.

2.5.1. A napelem melegedése során lejátszódó hőtechnikai folyamatok

Jelenleg a szilícium alapú, kristályos és vékonyfilm szerkezetű napelemek a legelterjedtebbek, amelyek a napsugárzásnak csak kisebb hányadát képesek villamos energiává átalakítani, legnagyobb része hőenergiává alakul. Derült, felhőtlen napokon, megfelelő éghajlati adottságok következtében a napelem modul hőmérséklete akár a 60-70°C hőmérsékletet is elérheti, melegedéséből adódóan energiatermelése csökken (Zsiborács et al., 2016a, b, c, e). A jelenséget az 5. ábra szemlélteti.



5. ábra. Amorf szilícium napelemek hőmérsékletének vizsgálata hőkamera segítségével
Keszthelyen

(Fotó: Zsiborács Henrik)

A napelemek esetében a napsugárzás a hőtechnikai viszonyokat elsősorban a konvektív hőáramon, a hősugárzáson és a modul villamosenergia-termelésén keresztül befolyásolja, a hővezetés jelentősége minimális. Ez az összefüggés a felmelegedett napelem modul állandósult állapotára felírható (Tsai, 2014; Tsai-Tsai, 2012; Xu et al., 2009; Zsiborács et al., 2016f).

A napelem hőmérlege a következő:

$$Q_m = Q_{s2} - Q_{cpv} - Q_{hs} - P_{pv}, \quad (1)$$

A napelem modulra jutó napsugárzásból az egységnyi felület által időegység alatt elnyelt hő meghatározásához ismerni kell a napelem felületét, abszorpciós értékét és a napsugárzás intenzitását (Tsai, 2014; Tsai-Tsai, 2012; Xu et al., 2009):

$$Q_{s2} = a_{pv} I A_{pv}. \quad (2)$$

Az abszorpciós értéket a kristályos napelemek esetében van Helden et al. (2004) 0,78-ra, Jones-Underwood (2001) 0,77-re, míg Tsai-Tsai (2012) nagyobb szórással 0,70-0,80 közé teszik. Santbergen et al. (2007) értéke az amorf szilícium napelemeknél 0,81.

A napelem modulból a környezetbe távozó hosszuhullámú sugárzás összefüggése az alábbiak szerint alakul (Tsai, 2014):

$$Q_{hs} = \sigma \varepsilon_{pv} (T_{pv}^4 - T_k^4) A_{pv} \quad (3)$$

Az emissziós értékek a kristályos napelemek esetében 0,9, míg az amorf szilícium napelemek esetében 0,83-0,96 (átlag 0,9) között változik (Tsai-Tsai, 2012; Jones-Underwood, 2001; Acciani et al., 2010).

A napelem modul felülete és a levegő közötti konvektív hőáram az alábbiak szerint alakul (Tsai, 2014):

$$Q_{cpv} = \alpha_e (T_{pv} - T_k) A_{pv}. \quad (4)$$

Xu et al. (2009) megoldásánál a Q_{hs} és a Q_c együttes számítása kissé eltér Tsai (2014) megoldásához képest:

$$Q_{hs} + Q_{cpv} = (\alpha_{hs} + \alpha_e) A_{pv} (T_{pv} - T_k), \quad (5)$$

ahol

$$\alpha_{hs} = \sigma \varepsilon_{pv} (T_{pv}^2 + T_k^2) (T_k + T_{pv}). \quad (6)$$

Az α_e értékének bővebb részletezése és értékelése a következő pont tárgya. A gyakorlati mérések során a napelem modul teljesítményének meghatározásához az alábbi formula került alkalmazásra:

$$P_{pv} = U I. \quad (7)$$

2.5.2. A permetezés hatása a napelem modulok hőtechnikai folyamataira

A határoló szerkezetek vízzel való elárasztása, illetve permetezése a hőtechnikai viszonyokat alapvetően három módon befolyásolja. A víz, mint párolgó közeg, jelentős hőmennyiség leadására képes, a vízréteg megváltoztatja a szerkezet hővezetési ellenállását, a víz az elárasztás esetén – mint egy újabb, nagy hőtehetetlenségű réteg – növeli a határoló szerkezet (eredeti) hőtehetetlenségét és javítja hőcsillapítását (Zöld-Gábor, 1981).

A napelemen lévő vízréteg hőmérlege a következő:

$$-q_e + q_{s1} - q_{cv} + q_v = 0, \quad (8)$$

ahol

$$q_e = q_{s1} - q_{cv} + q_v. \quad (9)$$

Ez az összefüggés állandósult állapotra írható fel, viszont jelen esetben egy tranzienstől van szó, tehát az összefüggések egy-egy adott pillanatnyi időpontra érvényesek. A hőmérleg segítségével a napelemből elvitt hőmennyiség közelítő nagysága meghatározható.

Az elpárolgó víz mennyiségének meghatározására több empirikus összefüggés létezik. A párolgáshoz számos tényező figyelembevétele szükséges. Tiwari et al. (1981) szerint:

$$q_e = 0,013 \alpha_e (p_v - p_e), \quad (10)$$

Nulla szélességnél ez a kifejezés körülbelül azonos, Hay-Yellot (1970), Carrier (1968) és Dunkle (1961) munkájában is (Tiwari et al., 1981). Hasonló összefüggést mutat Zöld-Gábor (1981) megoldása is:

$$q_e = [0,022 + 0.17v_0(p_v - p_e)] \mathcal{L}. \quad (11)$$

Amennyiben ismerjük a kipermetezett víz mennyiségét és a szükséges hőmérsékleti értékeket, az összefüggés egyszerűbben megoldható. Az elpárolgó vízmennyiség ismeretében a párolgás során fellépő hőáramsűrűséget a következő összefüggés adja:

$$q_e = M_{\text{víz}} \mathcal{L}. \quad (12)$$

A később bemutatásra kerülő vizsgálatoknál (3-4. fejezet) ez az összefüggés került alkalmazásra (Zöld-Gábor, 1981).

A vízfelület hőmérsékletéhez tartozó telítési parciális vízgőz-nyomás (p_e) és a külső levegőben uralkodó vízgőznyomás (p_v) közötti kapcsolat meghatározásához a Magnus-Tetens formulát használjuk, amellyel a telítettséghez tartozó gőznyomás (e_s) számítható. Ez a mennyiség csak a hőmérséklet függvénye (Szász-Tőkei, 1997):

$$e_s = 6,10 \times 10^{\frac{7,45T}{235+T}}. \quad (13)$$

A víz párolgáshőjének meghatározása a következő összefüggéssel lehetséges:

$$\mathcal{L} = 2\,539\,000 - 2\,912T_v. \quad (14)$$

A vízre jutó napsugárzás meghatározásához ismerni kell a víz abszorpciós értékét és a napsugárzás intenzitását. A víz esetében az abszorpciós érték a különböző napmagasságokból adódóan csak kis mértékben, 0,92-0,97 között változik (Zöld-Gábor 1981; Pongrácz-Bartholy, 2013):

$$q_{s1} = a_v I . \quad (15)$$

A víz és a levegő közötti konvektív hőáramsűrűség az alábbiak szerint alakul:

$$q_{cv} = \alpha_e (T_v - T_k) . \quad (16)$$

Az α_e összefüggése (így a szél módosító hatása) a déli tájolású napelemek esetében nem egységes, több empirikus megközelítéssel is találkozhatunk-

Agrawal-Tiwari (2011) munkájában az alábbi összefüggés található:

$$\alpha_e = 5,7 + 3,8v_0 . \quad (17)$$

Jones-Underwood (2000) és Tsai (2014) kutatásaiban ez a kapcsolat kissé eltér Agrawal-Tiwari (2011) munkájától:

$$\alpha_e = 5,6 + 3,9v_0 . \quad (18)$$

Zöld-Gábor(1981) vizsgálata az alábbi értéket mutatta:

$$\alpha_e = 5,8 + 4v_0 . \quad (19)$$

Tiwari et al. (1981) szerint az alábbi összefüggés adható meg:

$$\alpha_e = 5,678(1 + 0,85\Delta v) , \quad (20)$$

ahol

$$\Delta v = (v_0 - u_0) . \quad (21)$$

Tsai (2014) és Xu et al. (2009) munkájában ez az összefüggés már jobban eltér az előző értékektől:

$$\alpha_e = 2,8 + 3v_0. \quad (22)$$

Háber (2016) szerint az alábbi összefüggés figyelhető meg:

$$\alpha_e = 2,9 + 3,128v_0. \quad (23)$$

Hűtetlen napelemek esetében a q_{cpv} számításához (2.5.1. pont) Jones-Underwood (2000) és Tsai-Tsai (2012) nem csak az α_e értéket veszik számításba, hanem a szabad konvekciós koeficiens összegét is:

$$\alpha_{sz} = 1,31 \sqrt[3]{T_{PV} - T_k}. \quad (24)$$

Az α_e értékek az amorf szilícium napelemekhez is alkalmazhatók, mivel a vizsgált modulok felszíne a kristályos napelemekéhez hasonlóan edzett üveg.

Számos tényező figyelembevétele szükséges a víztükör alatti rétegből vezetéssel bejutó hőáramsűrűség meghatározásához:

$$q_v = U(T_v - T_k), \quad (25)$$

ahol

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{\delta}{\lambda}}. \quad (26)$$

Kristályos napelemeknél vízűtés esetében az alábbi α_i értéket szükséges alkalmazni (Agrawal-Tiwari, 2011):

$$\alpha_i = 2,8 + 3v_0. \quad (27)$$

Ez az amorf napelemek esetében az α_e értékekkel egyezik meg (2. táblázat) (Zsiborács et al., 2016e).

A kristályos napelemeknél a rétegvastagság és a hővezetési tényező kapcsolatát Lu-Yao (2007) munkája mutatja (2. táblázat).

Ezek az értékek az amorf szilícium napelemek esetében több kutató munkájából derülnek ki (2. táblázat). (Lu-Yao, 2007; Chin-Yi-Chin-Yao, 2014; Ganguly et al., 2004; Kabir et al., 2012; Wang et al., 2013; Acciani et al., 2010; Goldsmid et al., 1983; Tritt, 2005; Zweben, 2006).

2. táblázat. A kristályos és amorf szilícium napelem réteg, rétegvastagság és a hővezetési tényezője

| Kristályos napelem modul | | | | Amorf szilícium modul | | | |
|--------------------------|--------|-------------------------------|--|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|--|
| Szám | Réteg | Vastagság (δ , nm) | Hővezetési tényező (λ , W/mK) | Szám | Réteg | Vastagság (δ , nm) | Hővezetési tényező (λ , W/mK) |
| 1 | Üveg | 3×10^6 | 0,98 | 1 | Üveg | $3,2 \times 10^6$ | 1 |
| 2 | EVA | 5×10^5 | 0,23 | 2 | SnO ₂ :F | 700 | 3,2 |
| 3 | ARC | 60-100 | 1,38 | 3 | p-a-SiC:H | 10-18 | 2,9 |
| 4 | Si | $2,5-4 \times 10^5$ | 148 | 4 | Puffer (p-a-SiC:H) | 2 | |
| 5 | EVA | 5×10^5 | 0,23 | 5 | i-a-SiC:H | 250-500 | |
| 6 | Tedlar | 1×10^5 | 0,36 | 6 | n-a-SiC:H | 20-30 | |
| | | | | 7 | ZnO:B | 70-100 | 34 |
| | | | | 8 | Hátsó fényvissza verő: Ag | 60 | 429 |
| | | | | 9 | Hátsó fényvissza verő: Al | 200 | 218 |
| | | | | 10 | Üveg | $3,2 \times 10^6$ | 1 |

(Forrás: saját szerkesztés, Zsiborács et al., 2016e alapján)

2.6. A vizsgált országok villamos energia átvételének szabályozása

A napelemek jelentős hátránya az időszakos energiatermelés, mely nagymértékben különbözik a felhasználás időszakos alakulásától mind napszakot, mind évszakot tekintve. Ennek az áthidalására a szigetüzemű rendszerek jelenleg csak korlátozott mértékben képesek, ráadásul jelentős költségigénnyel járó egyéb berendezések segítségével.

Nemzetközi vizsgálataim során olyan országokat választottam ki, amelyek Magyarországhoz képest jelentősen eltérő földrajzi és éghajlati adottságokkal, valamint a napelemes rendszerek piaci környezetéből és szabályozásából adódóan különböző átvételi árakkal rendelkeznek.

2.6.1. Magyarország villamos energia átvételének szabályozása (HU)

Az EmployRES (2009) tanulmány szerint 2030-ra Magyarország reális megújuló energiapotenciálja 30%. Ezzel szemben Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terve célkitűzésként a kötelező minimum célszámot meghaladó, 14,65 százalékos cél elérését tűzte ki 2020-ra. 2014-ben Magyarországon a megújuló energiák részaránya 9,5%-v volt (REN21, 2016; eurostat Statistics Explained, 2016; Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, 2011; Pintér et al., 2015; Bai et al, 2016a).

A napelemes rendszerek gazdasági körülményeiről elmondható, hogy két alternatíva közül dönthet a beruházó.

Magyar megújuló villamos energia támogatási rendszer (METÁR)

Magyarországon 2017. január 1-től bevezetésre került az új magyar megújuló villamos energia támogatási rendszer (METÁR), melynek két eleme van a kötelező átvételi rendszer és a prémium támogatási rendszer. A régi kötelező átvételi rendszer (KÁT) a régi termelőkre a meglévő szerződéseik szerint érvényben marad, de az új belépők csak a METAR-ba léphetnek be 2017. január 1-jétől (MAVIR Zrt., 2017a). A MAVIR Zrt. elsődleges feladata a megújuló energiaforrásból vagy hulladékból nyert energiával termelt villamos energia működési támogatására a meghatározott költségviselők által fizetendő pénzeszközök, valamint a prémium típusú támogatások meghatározása és elszámolása, továbbá az átvételi kötelezettség alá eső villamos energia elszámolására létrehozott KÁT mérlegkör működtetése, a kötelezően átveendő villamos energia teljes mennyiségének a szervezett villamos energia-piacon történő értékesítése, a KÁT és Prémium támogatási rendszerek adatairól a nyilvánosság tájékoztatása. Az átvételi kötelezettség alá eső villamos energia termelője, amennyiben az egyéb jogszabályi feltételeknek megfelel, jogosult a KÁT mérlegkörbe csatlakozni, 2017. január 1-jét megelőzően benyújtott új KÁT jogosultság kérelem esetén a 389/2007. (XII. 23.) Korm. rendelet, egyébként a 165/2016. (VI. 23.) Korm. rendelet szabályait kell alkalmazni. A Befogadó mérlegkör-tagsági szerződést köt (fix telepítésű napelemes rendszerek esetében 13,1 év) az átvételi kötelezettség alá eső villamos energia termelőivel, aki a mérlegkör tagsági szerződés, illetve a vonatkozó jogszabályok alapján, hatósági áron vásárolja fel a KÁT termelők által termelt villamos energiát (31,58 Ft / 2017.01.01-től). A KÁT termelők számára a napi tervezett menetrend és a megvalósult ténytermelés adatait alapul véve szabályozási pótdíjat számláz. A KÁT mérlegkör-tagok kötelesek menetrenddel, ill. havonta zónaidőnként

prognosztizálni a KÁT mérlegkört érintő napi, ill. éves termelésüket. A mérlegkör-tagok termelési tény adatait a Befogadó havi rendszerességgel publikálja. A KÁT termelők által a napi menetrend szerint termelni tervezett villamos energia teljes mennyisége a HUPX-en kerül értékesítésre (MAVIR Zrt., 2017a, b; MNNSZ, 2017a).

A Prémium támogatási rendszer esetében a 0,5 MW, vagy azt meghaladó beépített teljesítményű megújuló energiaforrást felhasználó erőmű, amennyiben az egyéb jogszabályi feltételeknek megfelel, jogosult a Prémium támogatási rendszerhez csatlakozni. A támogatás kizárólag prémium formájában nyújtható. Az erőművek a piacon maguk értékesítik a villamos energiát. A havonta utólag meghatározott piaci referencia ár (HUPX átlagár) a támogatott árra kerül kiegészítésre. A 0,5 MW-ot elérő, de 1 MW alatti erőműveknek (kivéve szél erőművek) kiosztott támogatási jogosultságok mértékét a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal állapítja meg. Minden szél erőmű és minden 1 MW-ot elérő erőmű csak versenyeztetési eljárásban kaphat támogatási jogosultságot. A Befogadó prémium támogatási szerződést köt a prémium típusú támogatás eső villamos energia termelőivel, aki a támogatási szerződés, illetve a vonatkozó jogszabályok alapján, a Premizált termelő közcélú hálózatra kiadott tény termelése után fizeti meg a prémiumot a Premizált termelő részére. A Premizált termelők kötelesek havonta prognosztizálni éves termelésüket. A termelők termelési tény adatait a Befogadó havi rendszerességgel publikálja. KÁT és Prémium pénzeszköz összegét a Befogadó a vonatkozó rendelet szerint határozza meg oly módon, hogy a KÁT és Prémium támogatási rendszerek működtetése során a MAVIR ZRt.-nek sem nyeresége, sem vesztesége nem keletkezhet. A pályázati eljárás alá nem tartozó prémium támogatásra vonatkozó támogatási érték napelemes rendszerek esetében 12,7 év (MAVIR Zrt., 2017a; MNNSZ, 2017a).

Háztartási méretű kiserőművek

Jelenleg ez a megoldás terjed leggyorsabban Magyarországon (Zsiborács-Pályi, 2014a). Több más uniós tagállamhoz hasonlóan lehetőség van arra, hogy a háztartási méretű kiserőművi rendszer (HMKE) keretében akár lakossági fogyasztók is betáplálhassák a napelemmel megtermelt energiát az országos villamos energetikai hálózatba az energiavételezés mellett.

Háztartási méretű kiserőműveknek minősül az a villamosenergia-termelő berendezés, amelyre az alábbiak jellemzők:

- közcélú kiefeszültségű hálózathoz, illetve kiefeszültségű magán- vagy összekötő vezeték hálózatra csatlakozik,
- erőművi névleges teljesítőképessége nem haladja meg a felhasználó rendelkezésre álló teljesítményének mértékét,
- maximum 50 kVA erőművi névleges teljesítőképességű. Amennyiben ezt meghaladja a napelemes rendszer kapacitása, akkor már a kiserőművekre érvényes engedélyezési és energia átvételi rendszer az irányadó (E.ON Energiaszolgáltató Kft., 2016c).

A közcélú elosztóhálózatba betermelt energia elszámolásának feltétele a HMKE-re vonatkozó érvényes Hálózat Használati Szerződés megléte. Az elszámolás alapját a leolvasott mérési adatok képezik. Az elfogyasztott és a betermelt energia szaldóképzését követően elszámoló számla kerül kiállításra. Amennyiben az elszámolási időszakban a termelt és a felhasznált villamosenergia-szaldó eredménye betáplálási többletet mutat, a többletenergiát az adott csatlakozási ponton értékesítő villamosenergia-kereskedő vagy egyetemes szolgáltató – számla ellenében – megtéríti. A térítés mértéke a felhasználóként fizetendő villamos energia átlagos termékárának (rendszerhasználati díj nélküli ár) felel meg (E.ON Energiaszolgáltató Kft., 2016c). A lakossági és az üzleti ügyfeleknél az elszámolható napenergia értéke különbözik, mivel eltérőek az villamos energiadíjak. A felhasznált és a hálózatba visszatáplált energia egymáshoz viszonyított nagysága alapján az elszámolási időszakra vonatkozóan az alábbi számlázási esetek állhatnak elő:

- A fogyasztás meghaladja a közcélú hálózatba betáplált mennyiséget. Ebben az esetben a fogyasztott- és a termelt villamos energia mennyiség különbsége alapján kell megfizetni a forgalomarányos díjakat. A nem forgalomarányos (éves díjak) ettől függetlenül elszámolásra kerülnek.
- A fogyasztás megegyezik a közcélú hálózatba betáplált mennyiséggel. Ebben az esetben a szaldóképzés eredménye nulla, így csak a nem forgalomarányos díjak kerülnek elszámolásra.
- A fogyasztás kisebb a közcélú hálózatba betáplált mennyiségnél. Ebben az esetben a villamosenergia-kereskedő/egyetemes szolgáltató részéről csak a nem forgalomarányos díjak kerülnek elszámolásra. A szaldóképzés eredménye alapján meghatározott energiatermelési többletről és ennek átvételi áráról a felhasználó értesítést kap. A többletenergiaért az adott csatlakozási ponton értékesítő

villamosenergia-kereskedő vagy egyetemes szolgáltató – számla ellenében – a felhasználóként fizetendő villamos energia átlagos termékárát (rendszerhasználati díj nélküli ár) köteles fizetni (Bai et al., 2016b).

Az országos villamos hálózat gyakorlatilag betölti az energiátároló szerepet a lakosság számára úgy, hogy senki sem jár rosszul:

- A lakosság részére nagyon kedvező, hogy kisebb méretű napelemes rendszerekkel is megvalósíthatja az önellátást, ráadásul mentesül a tárolás költségeitől és veszteségétől is.
- A villamos energiaszolgáltató teljesíti a törvényi előírásokat, a napelem tulajdonosa továbbra is fizeti az addigi rendszerhasználati díjat és az ilyen rendszerek jelenlegi kis száma miatt nincs szükséges hálózatfejlesztésre sem az ellátási biztonság érdekében.
- Az állam részére pedig a zöldenergia-termelés makrogazdasági előnyei (vállalkozás-fejlesztés, közvetett munkahely-teremtés, ebből származó költségvetési bevételek, a megújuló energiatermelésre vonatkozó kötelezettségvállalás betartása, környezetvédelmi szempontok) lehetnek vonzóak (Bai et al., 2016b).

A villamos energia rendszerhasználati díjak, csatlakozási díjak és külön díjak alkalmazási szabályai című 10/2016. (XI. 14.) MEKH rendelet rendelkezik az elosztói teljesítménydíj változásairól. A jelenlegi törvények szerint azok a napelemes rendszerek mentesülnek az új elosztói teljesítménydíj alól, melyeknek az igénybejelentését 2017.03.31-ig beadták. A már kiépített rendszerekre ez a díj nem vonatkozik. A rendszerhasználó akkor is köteles az elosztói teljesítménydíj megfizetésére, ha olyan háztartási méretű kiserőművet üzemeltet, amelyre vonatkozóan a névleges teljesítmény megnövelése 2017. március 31. utáni időpontban történik. Nem kell elosztói teljesítménydíjat fizetni abban az esetben, ha a háztartási méretű kiserőmű úgy került kialakításra, hogy megfelelő műszaki berendezés megakadályozza a hálózatba történő visszatáplálást, és erről az üzemeltető a hálózathasználati szerződéshez kapcsolódóan nyilatkozott. A teljesítménydíj-fizetés alapjába beszámítandó teljesítmény nagysága a 4 kW-nál nem nagyobb hatásos teljesítményű háztartási méretű kiserőmű esetében 0 kW, míg a 4 kW-nál nagyobb hatásos teljesítményű háztartási méretű kiserőmű esetében a 4 kW feletti rész (MNNSZ, 2017b; Wolters Kluwer Kft., 2017). Számításaim elkészítéséhez a 2017.03.31. előtti szabályozást alkalmaztam. A 3. táblázat bemutatja, hogy a lakossági és az üzleti ügyfeleknél milyen értéket képvisel ugyanaz a kWh energia 2016-ban. A lakossági ügyfelek esetében az éves elszámoló számlának megfelelően

bruttó, míg a vállalkozások esetében nettó értékekkel kell számolni (E.ON Energiaszolgáltató Kft., 2016a, b). Az átvételi árak euróra történő átváltásához a 2016.01.15-i középárfolyam (315 Ft /1 EUR) került alkalmazásra.

3. táblázat. A napelemes rendszereknél elszámolható villamos energia értéke HMKE méretben, E.ON területen 2016-ban

| Megnevezés | Elszámolható energia értéke (EUR/kWh) |
|---|---------------------------------------|
| HMKE 50kW-ig lakossági ügyfeleknél (felhasznált energia, bruttó) | 0,112 |
| HMKE 50kW-ig lakossági ügyfeleknél (szolgáltatónak értékesített, nettó) | 0,045 |
| HMKE 50kW-ig üzleti ügyfeleknél (felhasznált energia, nettó) | 0,121 |
| HMKE 50kW-ig üzleti ügyfeleknél (szolgáltatónak értékesített, nettó) | 0,069 |

(Forrás: saját szerkesztés E.ON Energiaszolgáltató Kft., 2016a, b alapján)

E.ON területen a napelemes háztartási méretű kiserőműnél a rendszer teljesítőképességeként az inverter névleges teljesítménye kerül rögzítésre. Ebből adódóan nincs akadálya kisebb napelemes kiépítettségnek. Az előbbiből következik például egy 5 kW HMKE esetében, hogy az inverter névleges teljesítményéig bejelentés nélkül bővíthető (ezáltal hűthető) a rendszer, ami azt jelenti, hogy az egy időben jelentkező maximális kimenő teljesítmény nem lehet több 5 kW-nál AC oldalon. Bejelentési kötelezettség akkor adódik, ha az invertert nagyobb névleges teljesítményűre kívánják lecserélni vagy új inverter csatlakozik ugyanabba, vagy másik fázisra (E.ON Energiaszolgáltató Kft., 2016c, Zsiborács et al., 2016c).

2.6.2. Horvátország villamos energia átvételének szabályozása (HR)

2014-ben Horvátországban a megújuló energiák részaránya 27,9% volt, 2020-ra a részarány 7,9%-os csökkenése várható (REN21, 2016; eurostat Statistics Explained, 2016).

Horvátországban is lehetőség van a napelemmel megtermelt energia betáplálására (lakossági esetében is) az országos villamosenergia-hálózatukba a következő átvételi árakkal:

- 10 kW rendszer esetében 0,344 EUR/kWh,
- 10 kW és 30 kW napelemes rendszer között 0,291 EUR/kWh,
- 30 kW felett 0,215 EUR/kWh.

A horvát energetikai piaci üzemeltető (HROTE) és a termelő között 14 évre jön létre szerződés (United Nations Development Programme, 2014; Zelena Energija, 2012; Zsiborács et al., 2016a).

2.6.3. Spanyolország villamos energia átvételének szabályozása (E)

2014-ben Spanyolország megújuló energiák részaránya 16,2%-volt, amelynek célja 2020-ra a 20,8% (REN21, 2016; eurostat Statistics Explained, 2016).

Spanyolország esetében szintén lehetőség van a napelemmel megtermelt energia országos villamosenergia-hálózatba táplálására (a lakossági fogyasztók is), amely 20 kW rendszer esetén 0.283 EUR/kWh, míg 20 kW felett 0.15675 EUR/kWh. A szerződés időtartama 30 évre szól (pv magazine, 2015; Zsiborács et al., 2016a).

2.6.4. Ausztrália villamos energia átvételének szabályozása (AUS)

Ausztráliában 2014-ben a megújuló energiák részaránya alacsony, 5,9%-os értéket képviselt. 2020-ra cél a 22,5% elérése (Australian Government Department of Industry and Science, 2015; Milman, 2013).

Ausztrália esetében a lakossági fogyasztók is szintén betáplálhatják a napelemmel megtermelt energiát az országos villamosenergia-hálózatukba. A legjellemzőbb nagyságrendű napelemes rendszerek 1,5 kW – 10 kW teljesítményűek. Az átvételi ár 0,045 EUR/kWh (Martin, 2013; Synergy, 2015; Zsiborács et al., 2016a).

2.6.5. Amerikai Egyesült Államok villamos energia átvételének szabályozása (USA)

Az USA megújuló energiák részaránya 2014-ben 12,3%-volt, 2020-ra cél a 20% elérése (US Energy Information Administration, 2016b; Chatterton-Du Rietz, 2015).

Az USA-ban lehetőség van a napelemmel megtermelt energia országos villamosenergia-hálózatba táplálására (a lakossági fogyasztók is):

- Kalifornia állam esetében ez 0,082 EUR/kWh. A szerződés időtartama 10, 15 vagy 20 évre szólhat.
- Florida állam esetében ez 0,046 EUR/kWh-ra csökken. A szerződés időtartama 20 évre szól (N.C. Clean Energy Technology Center, 2015a,b; pvmagazine, 2015; Zsiborács et al., 2016a).

2.7. Az irodalmi áttekintés összefoglaló értékelése

A szakirodalmi feldolgozás során áttekintettem a napelemek történetét, piacára és fejlődésére jellemző átfogó ismereteket, a jelenleg legelterjedtebb napelem típusokat és hatásfokuk jellemzőit, részletezve azokat a napelem modultípusokat, amelyeket a dolgozatomban érintettem.

Összegyűjtöttem számos maximális teljesítményű pont követő eljárást, amelyek a napelem mindenkori legnagyobb energiaszintű hasznosíthatóságára törekednek. Ezen módszerek részleteikben különbözőek és emiatt ugyanazon esetre más-más eredményt biztosítanak. Ebből adódóan a pontos mérésekhez kiemelten fontos feladat a megfelelően megválasztott maximális teljesítményű pont követő eljárás.

Elemeztem a napelem moduloknál tapasztalható üzemi hőmérséklet-energiahozam hatékonyság kapcsolatának jellemzőit, mivel a keletkező hőmennyiség egyrészt elvész, másrészt további veszteségeket okoz rövid és hosszú távon egyaránt, mert a modulok hőmérsékleteinek emelkedése csökkenti az előállítható villamos energia mennyiségét.

Áttekintettem a hűtetlen és a permetezőfej segítségével hűtött napelem modulok hőtechnikai folyamatait. A napelemek esetében a napsugárzás a hőtechnikai viszonyokat elsősorban a konvektív hőáramon, a hősugárzáson és a modul villamosenergia-termelésén keresztül befolyásolja, a hővezetés jelentősége minimális. A napelemek vízzel való permetezése a hőtechnikai viszonyokat alapvetően három módon befolyásolja. A víz, mint párolgó közeg jelentős hőmennyiség leadására képes, a vízréteg megváltoztatja a napelem modul hővezetési ellenállását, a víz az elárasztás esetén növeli a határoló szerkezet eredeti hőtehetetlenségét és javítja hőcsillapítását. A szakirodalmi feldolgozás hőtechnikai részéről elmondható hogy több megközelítés is jellemző a napelem modulok melegedése és permetezése során lejátszódó hőtechnikai folyamatokra. Jelentős eltérés tapasztalható a hőátadási tényező, valamint a szabad konvekciós koeficiens alkalmazását illetően is.

Összefoglaltam több ország napelemes rendszerekre vonatkoztatott villamos energia átvételének szabályozását. Ezen adatok feldolgozása során azt tapasztaltam, hogy a villamos

energia szabályozásának piaci környezete minden esetben eltér, ami a napelemes rendszerek megtérülési idejét jelentősen befolyásolja.

A szakirodalmi feldolgozás során kiderült, hogy a hűtetlen és a permetezéssel hűtött napelem modulok hőtechnikai viszonyaira, a hűtés hatására jelentkező hatásfok növekedésből adódó hálózatra táplálás energianövekedésére és gazdasági viszonyaira nincsenek megbízható, méréssel jól bemutatott adatok, így ezt vizsgálni kell. Ezen hiányok miatt fogalmazódtak meg a dolgozat célkitűzései, hogy a hűtetlen és a permetezéssel hűtött fotovillamos napelemes rendszerek termikus és gazdaságossági viszonyai tervezhetővé váljanak.

3. Anyag és módszer

Ebben a fejezetben bemutatom azokat a módszereket, amelyek a disszertáció céljainak eléréséhez szükségesek. Így ismertetem a kristályos és amorf szilícium napelem modulok kísérleti és hőtechnikai vizsgálatainak körülményeit. Kifejtem azokat a gyakorlati módszereket, amelyek a permetezéssel hűtött napelemes rendszerek alkalmazását, energiatermelési és nemzetközi gazdasági számításait lehetővé teszik.

3.1. A napelemes rendszer kísérleti körülményei

A munka egy eddig Magyarországon – a napelemek hatásfokának javítására – még nem alkalmazott vízpermetezéssel technológia tudományos alapjait tárgyalja valós, földön rögzített állványra kitelepített és tetőre telepített körülmények között elvégzett alátámasztó kísérletek bemutatásával együtt Keszthely városában (földrajzi szélesség: 46.76750° , földrajzi hosszúság: 17.26609°). A Balaton, így Keszthely városának területe a mérsékelt meleg éghajlati típushoz tartozik. A napsütéses órák száma éves szinten 1950 - 2000 óra. A világ globálsugárzási térképe alapján elmondható, hogy európai viszonylatokban Magyarország adottságai átlagosnál jobbakként, mivel éves szinten egy négyzetméterre, vízszintes síkra nézve $1200\text{--}1360\text{ kWh/m}^2$ közötti energia érkezik. Keszthely térségében az északias uralkodó szélirányokhoz tartozó átlagos szélerősség ($1,8\text{ m/s}$) kisebb a környező területekre jellemző értékeknél. Az évi középhőmérséklet $9\text{--}10\text{ }^\circ\text{C}$ között mozog. Klímája éghajlati szempontból kellemes, ritkának tekinthető a váratlan, szeszélyes időváltozás (Aquaprofit ZRT, 2006; Balaton Fejlesztési Tanács, 2016; Solargis 2014a).

A saját tervezésű mérőhely létrehozását a KÖVET Egyesület által 2013-ban megrendezett ÖkoRulez versenyen elért I. helyezés tette lehetővé. Megegyező típusú és teljesítményű, 50 W -os hűtés nélküli és permetezéssel hűtött monokristályos és polikristályos napelemek összehasonlító vizsgálataira került sor kültéri, valós, felhőtlen, derült időjárási körülmények között 2015 nyarán és őszén illetve 2016 tavaszán, különböző kísérleti szempontok alapján, azonos mérőponton, összesen 46 ideális nap. (bővebb részletezés a 3.1.3. pontban) (4. táblázat, 6. ábra):

- földön rögzített állványra kitelepített monokristályos és polikristályos napelem hűtés nélkül,
- földön rögzített állványra kitelepített, permetezőfej segítségével hűthető monokristályos és polikristályos napelem.

Ezen felül valós időjárási körülmények között hűtés nélküli és hűtött (új és 11 éve használatban lévő) Kaneka amorf szilícium napelem modulok összehasonlító vizsgálatára is sor került 2015-ben 8 ideális augusztusi napon, különböző kísérleti szempontok alapján, azonos mérési helyszínen (bővebb részletezés a 3.1.2. pontban) (4. táblázat):

- földön rögzített állványra kitelepített új amorf szilícium napelem modul hűtés nélkül,
- földön rögzített állványra kitelepített, permetezőfej segítségével hűthető új amorf szilícium napelem modul,
- földön rögzített állványra kitelepített 6 db 11 éves árasztási módszerrel hűthető amorf szilícium modulok,
- tetőre telepített 6 db 11 éves, árasztási módszerrel hűthető amorf szilícium modulsor hálózatra visszatápláló inverterre kötve.

Az amorf szilícium napelem modulokhoz alkalmazott valódi maximális pont kereső műterhelés kellő érzékenységének megalkotása, valamint a magasabb névleges és üresjárási feszültség kezelése több erőfeszítést igényelt a kristályos napelem modulokhoz képest, ez okozta a kevesebb mérési napok számát.

Magyarországon az energiatermelés vonatkozásában, a déli tájolású napelemes rendszereknél az ideális dőlésszög éves viszonylatban 35° (Breyer-Schmid, 2010), így munkámban ezt a beállítást vizsgáltam.

A napelem modulok esetében a degradáció idővel problémát jelent. Az éves hozamcsökkenés várható értékeit a napelemgyártó cégek megadják, viszont 10 év körül már érdemes vizsgálatokat végezni a napelemek öregedésére vonatkozóan. Az új és 11 éves amorf szilícium napelem modulok vizsgálatainak célja eldönteni, hogy a hőmérséklet 1°C -os csökkentése a megnövekedett energiatermelés vonatkozásában egységesen jelentkezik-e?

A napelemek jellemzőit folyamatosan mértem egy 12 csatornás, illetve egy 16 csatornás PicoLog mérésadatgyűjtő segítségével. Ennek segítségével minden mért adatot

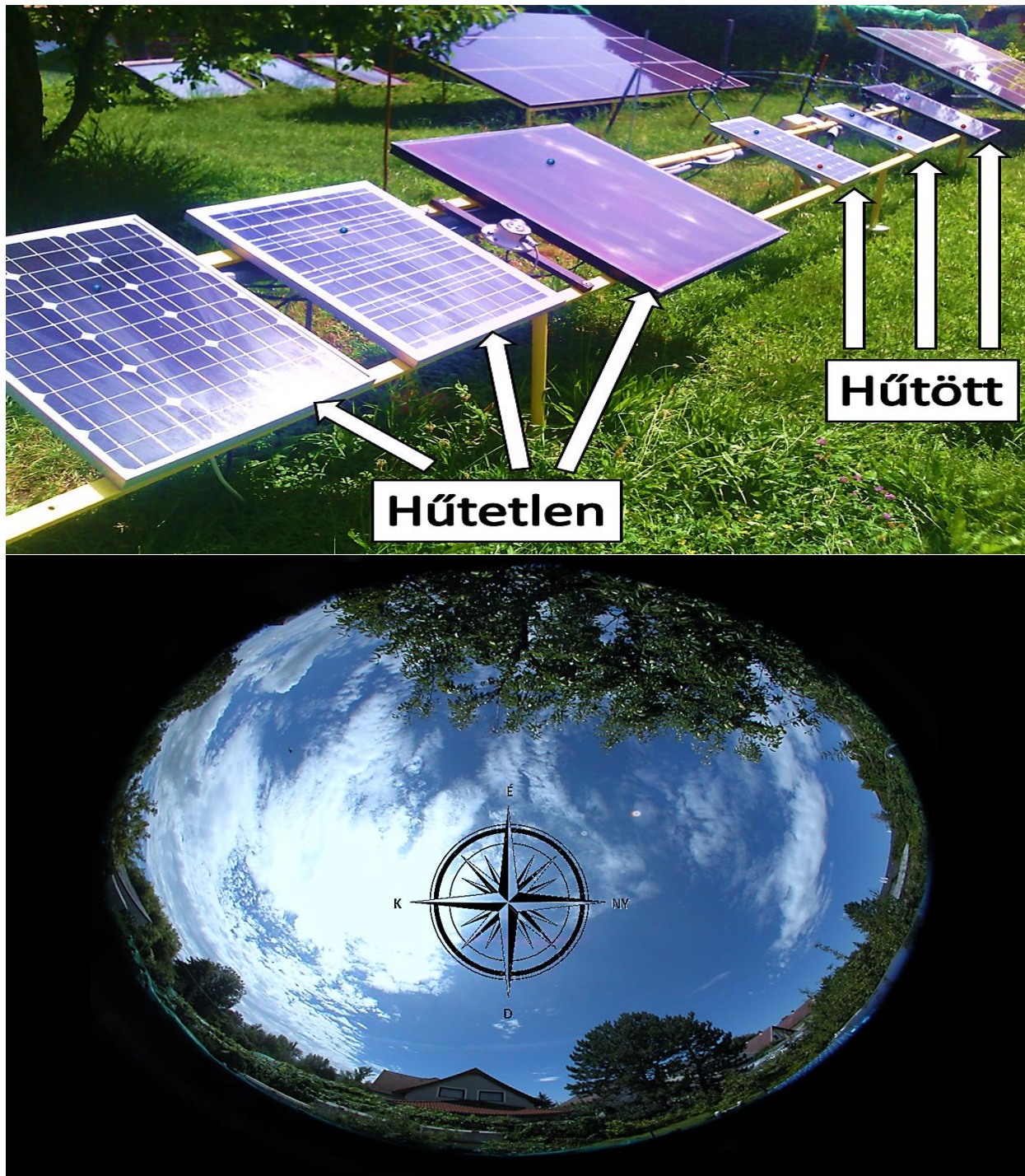
egyszerre, másodpercenként rögzítettem egy PC-n. A vizsgálatban használt mérésadatgyűjtő nagy előnye, hogy számítógéphez illeszthető, szoftvere rugalmas, így egyszerre láthatók a bejövő jelek (Zsiborács et al., 2015). A kontroll napelemnél a felületi hőmérsékletet egy ponton (a napelemmel szemben állva az 1. szenzor, a modul felső harmadának közepén, kék ponttal jelölve), valamint a feszültséget és az áramerősséget mértem.

A permetezőfejjel ellátott napelemnél a felületi hőmérsékletet a kipermetezett vízmennyiség eloszlásának vizsgálatai miatt két ponton (a napelemmel szemben állva a kék ponttal jelölt 1. szenzor, a modul felső harmadának közepén, a 2. szenzor a modul alsó harmadának bal oldali szélén, piros ponttal jelölt), a permetezendő víz hőmérsékletét, a feszültséget és az áramerősséget mértem. A rendszer hűtése a napelem felületi hőmérsékletét érzékelő termosztáttal szabályozva történt. A permetező víz mennyiségének csökkentése érdekében a permetezőfejeket szakaszosan, impulzusszerűen működtettem. A szakaszossággal sikerült minimalizálni a felhasznált víz mennyiségét és csak a párolgáshoz szükséges víz került kipermetezésre (Ennek kifejtése a 4.1. pont tárgya). A víz egy ioncserélő gyantás vízlágyítón keresztül került a cirkulációs, hidraulikus cseppképzésű és pörgető testes megoldású permetezőfejbe (Zsiborács et al., 2015).

4. táblázat. A vizsgált napelemek fő adatai

| Jellemzők | Monokristályos napelem | Polikristályos napelem | Amorf szilícium napelem (új) | Amorf szilícium napelem (11 éves) |
|--|------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Származási ország | Németország | Olaszország | Japán | Japán |
| Gyártó/Forgalmazó | Prevent GmbH | Energiesolaire100 | Kaneka | Kaneka |
| Modell | SM636-50 | SL50TU-18P | G-EA050 | K54 |
| Névleges teljesítmény (P_m) (W) | 50 | 50 | 50 | 54 |
| Teljesítmény tolerancia (%) | ±3% | ±3% | ±10% | ±10% |
| Névleges feszültség (V_{mp}) (V) | 18,18 | 19,12 | 67 | 62 |
| Névleges áram (I_{mp}) (A) | 2,8 | 2,62 | 0,75 | 0,87 |
| Üresjáratú feszültség (V_{oc}) (V) | 23,17 | 22,68 | 91,8 | 85 |
| Üresjáratú áram (I_{sc}) (A) | 3,08 | 2,80 | 1,19 | 1,14 |
| Modul mérete (mm):(Sz x Ma x Mé) | 510x680x35 | 545x668x28 | 960x990x40 | 920x920x40 |
| Modul tömege (kg) | 4,4 | 4,3 | 13,7 | 13,5 |

(Forrás: a szerző saját munkája a napelem modulok adatlapjai alapján)

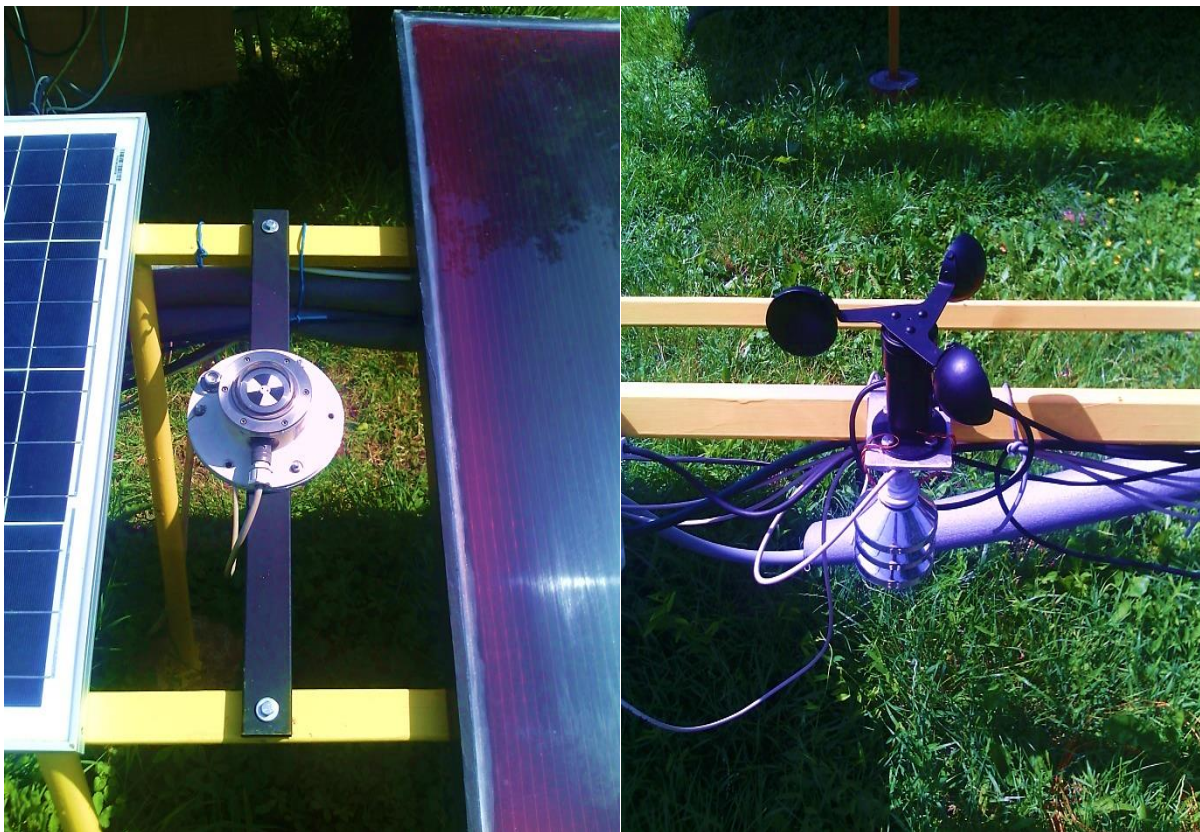


6. ábra. A vizsgált modulok mérőhelye és 90°-os látószöge az égboltra Keszthelyen

(Fotó: Zsiborács Henrik)

A hőmérséklet érzékeléséhez Pt100 érzékelőket alkalmaztam, amelyek két, vízálló dobozban elhelyezett 4-20 mA-es távadóra csatlakoztak. A távadók a jeleket a számítógép mellett elhelyezett áram-feszültség átalakítóra továbbították, ahonnan a feszültségjel a Picolog mérésadatgyűjtő bemenetére jutott. A teljes mérőkör kalibrálása egy digitális LM 35 alapú precíziós hőmérőszennzorral történt, amelynek feszültségváltozása lineáris (10,0 mV/°C). A

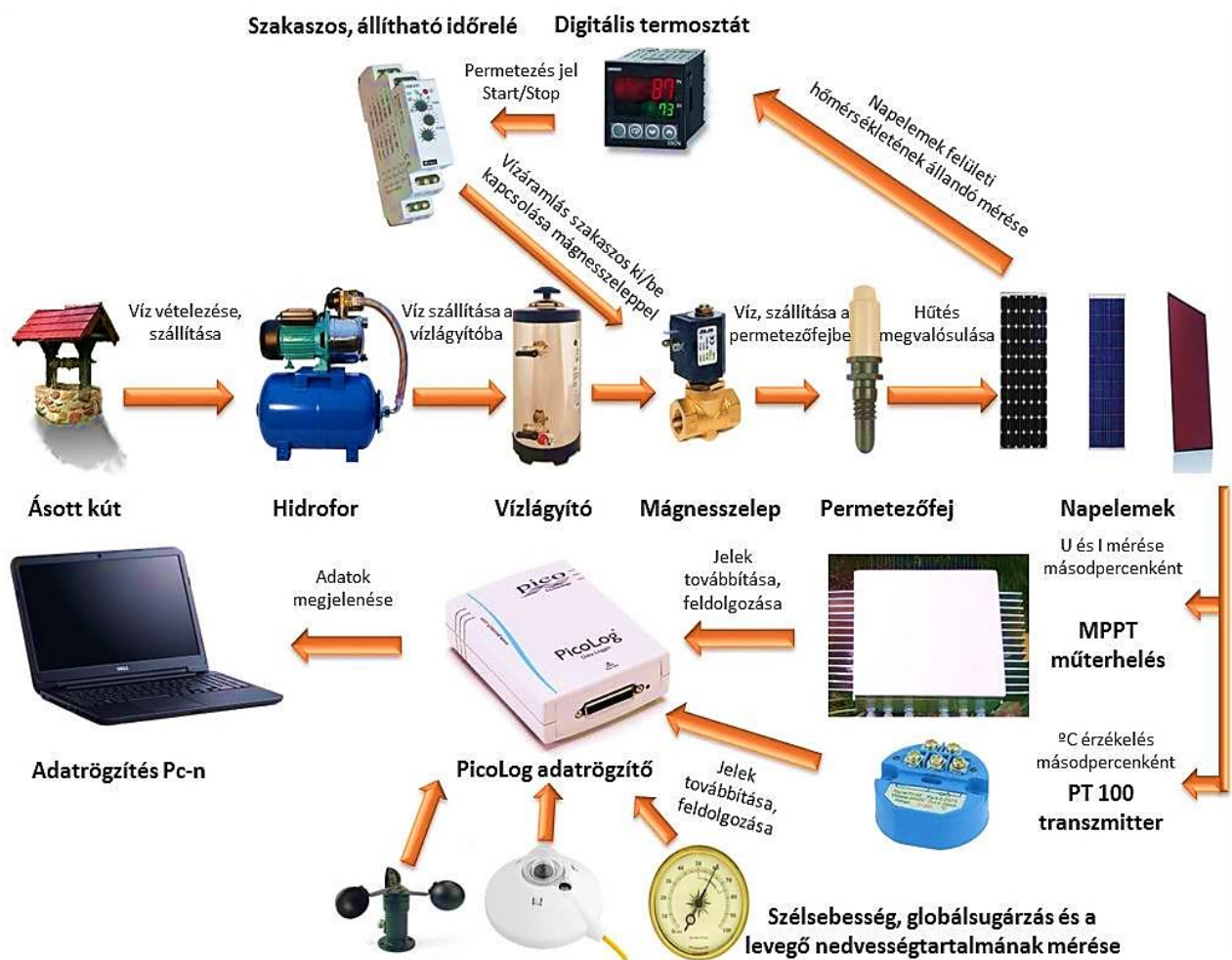
pontosságának jellemzője, hogy szobahőmérsékleten $\pm 1/4$ °C, illetve -55 és + 150 °C között $\pm 3/4$ °C lehet az eltérés. A feszültség és az áramerősség kalibrálása egy Voltcraft VC607 professzionális multiméterrel történt, amelyet a mérések előtt egy LT1021 feszültségreferenciával (10,000 V ± 5 mV) ellenőriztem. A fent említett jellemzőkön kívül meghatároztam a levegő nedvességtartalmát (HYTE-ANA-1735, $\pm 3\%$ mérési pontosság), a sugárzási intenzitást (Országos Meteorológiai Szolgálat által hitelesített Eppley Black and White Model 4-48 pyranométer, mérési bizonytalanság napi szinten $\pm 3\%$) és a szélességet (JL-FS2, 4-20 mA, 3 kanalas alumínium, $\pm 3\%$ mérési pontosság) is. Az analóg villamos jelek megfelelő illesztés után a PicoLog bemenetére kerülnek. Az alkalmazott pyranométer a napelem modulokhoz dőlésszögének megfelelően, 35°-ban került kitelepítésre. A levegő nedvességtartalmának meghatározása, valamint a szélesség mérése a napelem modulok szintjén történt 80 cm-es magasságban (7. ábra) (Zsiborács et al., 2015; Zsiborács et al., 2016a, b, e).



7. ábra. A Keszthelyi mérőhelyen lévő pyranométer, szélességmérő, valamint levegő nedvességtartalom mérő műszerek

(Forrás: Zsiborács et al., 2016b)

A napelemek esetében a maximális teljesítményű pont követéséhez több megoldás is létezik (2.3. pont), aminek segítségével magasabb hatásfokot illetve energiahozamot érhetünk el. A mérések során, egy oszcillációs elven működő, TMPS műterhelést alkalmaztam. A feszültség és az áramerősség szorzatának (azaz a pillanatnyi teljesítménynek) a legnagyobb értéken tartásával a napelem modul a maximális teljesítményű pontban működött. Így a napelemeknél kiküszöbölhető volt a hatásfokválozásból (a beeső sugárzási teljesítmény és a hőmérséklet változása) származtatható mérési hiba. Ezáltal adatokat kaptam a napelem adattábláján szereplő névleges munkaponti feszültségtől való eltérésekre is. A feszültség és áramerősségjeleket a mérésadatgyűjtő bemenetére vezettem. Így lehetővé vált a napelemek hőmérsékletének és a teljesítményének az együttes megjelenítése. A napelemek hűtéséhez szükséges vízellátás a mérési ponton lévő hidroforról történt, kerti ásott kútból, szűrt talajvízzel, vízlágyítás után (8. ábra) (Zsiborács et al., 2015).



8. ábra. A mérőhálózat felépítésének sematikus ábrázolása

(Forrás: Zsiborács et al., 2015)

Az adatok mintavételezése a permetezés során óránként történt, felhőtlen, árnyékmentes, napos időben, amikor zavartalan volt a besugárzás értéke, ezáltal egy zavartalan, folyamatos villamosenergia-termelési területet elérve. A villamosenergia-termelési terület a besugárzási viszonyokat pontosan visszatükrözik, így bármilyen felhőzet sugárzásmódosító hatása a másodpercenkénti mérések által jól láthatók. Ezen besugárzási jellemzőket tekintettem ideális körülményeknek, mivel ilyen feltételek mellett lehet a hűtés hatását hatékonyan vizsgálni. Ezen körülményekhez fontos volt a hűtőrendszer alkalmazásához szükséges nappali levegőhőmérséklet (20 °C) és a besugárzás értékének a meghatározása (450 W/m²). Ezen értékeket és jellemzőket a 3.2.2. pont, valamint a 4.1.4. pont részletezi. A hűtés időtartama az adott órában 10 és 20 perc között változott a mérés hosszától függően. A vizsgált időszakban a kimutatott többletenergiát a permetezés bekapcsolása előtti állapot, majd a permetezés hatására elért végállapot szerint határoztam meg az adott órában (Zsiborács et al., 2016b). A környezeti hatások esetleges energiatermelés módosító hatása a kontroll napelemen érvényesült, így bármilyen változás a hűtött napelem energiahozamából korrigálásra került (Zsiborács et al., 2016a, c).

A mérések időintervallumában a napelem modulokra gyakorolt komplex környezeti tényezők módosító hatásait a hőtechnikai folyamatok összefüggéseinek feltárását leíró egyenletek részletezik a 2.5. pontban. A mérések során tapasztalt empirikus megfigyeléseknek fontos szerepük van, amelyek értékelése a 4.2. pontban, a 4.3. pont 9-12. táblázataiban és a 4.4. pont 13-14. táblázataiban kerülnek bemutatásra.

3.1.1. A napelem modulok hőtechnikai vizsgálata

Jelen vizsgálatoknál a földre telepített, hűtetlen és permetezéssel hűtött monokristályos, polikristályos és amorf szilícium napelem modulok hőtani jellemzőinek mérési körülményeit mutatom be.

A hűtetlen napelem modulok kísérleti körülményei

A három napelem modul melegedése során lejátszódó hőtechnikai folyamatok vizsgálatait 2015.07.19-én végeztem el, 09:00-17:40 közötti időszakban, mivel a vizsgálat szempontjából a környezeti és kísérleti feltételek ekkor voltak a legkedvezőbbek. Célom volt,

hogy meghatározzam a napelem melegedése során tapasztalt átlagos maradék hőenergia-hőmérséklet változás kapcsolatát, a függvény jellemzőit és a hozzá kapcsolódó relatív szórást.

A vízpermetezési technológia kísérleti körülményei

A három napelem modul hűtését 2015.07.05-én illetve 2015.08.10-én végeztem el, 11:00-13:00 óra között 7-7 ismétléssel, mivel a vizsgálat szempontjából a környezeti és kísérleti feltételek ekkor voltak a legkedvezőbbek. Az átlagos besugárzási értékek az eltérő párolgási idő miatt minimálisan eltérnek. A számításokhoz 0,97 abszorpciósértékkel, valamint 0,3 m/s mért átlagos szélességgel számoltam.

A kísérletben 1 fűvókával dolgoztam, és 1 fűjás történt a modulok közepére, körülbelül 0,5 másodpercig. Így biztosítottam, hogy csak a párolgáshoz szükséges, veszteség nélküli víztérfogatot permetezzem ki. A kipermetezett mennyiség meghatározásához szórófejenként 4-4 ismétlést végeztem, és a víz tömegét egy KERN PLS 510-3A (mérési pontosság $\pm 0,002$ g) típusú digitális mérleggel mértem meg (Zsiborács et al., 2016e).

3.1.2. Az amorf szilícium napelem modulok kísérleti körülményei

Ebben a pontban elvégzett vizsgálatok célja eldönteni, hogy az optimális elhelyezésű, tájolású és átlagos teljesítményű hálózatra nem tápláló új és 11 éves hűtött amorf szilícium napelem modulok, valamint a hálózatra tápláló hűtött modulsor esetében a hőmérséklet 1°C-os csökkentése a megnövekedett energiatermelés vonatkozásában egységesen jelentkezik-e? Felül ugyanis kérdésként, hogy a hálózatra nem tápláló moduloknál és a hálózatra tápláló modulsornál a hűtés során tapasztalt adatok eltérőek lehetnek a modulok kora, a maximális teljesítményű pont követő eljárások különbözősége és a hálózatra táplálás vesztesége miatt.

A 11 éves amorf szilícium napelemek méréséhez egy 84 db modulból álló napelem mező állt rendelkezésemre mely 4,5 kW névleges teljesítményű. Ez a rendszer ugyanazon a mérőhelyen található, mint az új modulok, melynek tájolása és dőlésszöge is azonos (9. ábra). A napelemes rendszerhez Fronius Ig Tl inverter került korábban beüzemelésre.

Az amorf szilícium napelemeknél fontos a TCO (transparent conductive oxide) korrózió elleni védelem, amely a víz és a napelem kémiai reakciójából adódhat abban az esetben, ha a víz valamilyen módon behatol az üveg alá. Amennyiben a probléma elkerülését figyelmen kívül hagyjuk, úgy a napelemek pár év alatt tönkremehetnek (SMA Solar Technology AG, 2010.). A TCO korrózió ellen a földelést a Tl inverteren keresztül nem

lehetett megoldani, azonban egy háromállású kapcsolóval kiküszöbölésre került a probléma. Ezen kívül a keret és az üveg között átlátszó szilikon tömítőanyag is védi a modulokat (Zsiborács et al., 2016b).

Vizsgálataim során a 11 éves modulokhoz az adatokat a PicoLog mérésadatgyűjtő (a 3.1. pontban említett, mért adatokkal együtt) illetve a Fronius inverter szolgáltatta. A hűtés vizsgálatához 6 db modul és 6 db modulból álló modulsort választottam a napelemes rendszerből, kontroll napelemnek egy új amorf modul használtam. A napelemek hűtéséhez szükséges vízellátás ismét a mérési helyen lévő hidroforról történt, kerti ásott kútból, szűrt talajvízzel, vízlágyítás után. A napelemek hőmérséklet ellenőrzésére egy Lux Tools lézeres hőmérőt használtam, amelynek pontatlanságát a kalibrált Pt100 szenzorok segítségével határoztam meg. Azt tapasztaltam, hogy az eszköz értékeit 3 °C-al korrigálni kellett. Az eszköz használatát az indokolta, hogy a használt amorf moduloknál nem volt lehetőség Pt100 szenzorok alkalmazására a mérésadatgyűjtők korlátozott csatornaszáma miatt. Az új modulokhoz használt oszcillációs elven működő, maximális teljesítményű pont követő alkalmas volt a használtak fogadására is, mivel a feszültség, az áramerősség és a teljesítménytartományok közel voltak egymáshoz. A vizsgált napelemek az 9. ábrán látható napelemes mezővel szemben állva bal kéz felől soronként az első kettő (zöld pontokkal jelölt). Két esetet tanulmányoztam a 11 éves napelemek esetében:

- Először a földre telepített 6 db modul árasztásos hűtési módszerre adott reakcióját vizsgáltam egyenként az újakéhoz viszonyítva 2015.06.16.-án 11:00 – 12:15 között. Ekkor a vizsgált modulsort leválasztottam a rendszerről és egyenként vizsgáltam meg a hűtésre adott jellemzőket (9. ábra) (Zsiborács et al., 2016b). Céлом volt eldönteni azt a kérdést, hogy a hálózatra nem tápláló új és 11 éves hűtött amorf szilícium napelem modulok esetében a hőmérséklet 1°C-os csökkentése a megnövekedett energiatermelés vonatkozásában egységesen jelentkezik-e a modulok korából adódóan?
- A modulsor vizsgálatát 2015.08.26-án 13:00 és 14:00 óra között végeztem el. Ebben az esetben csak a tetőre telepített, 6 db modulból álló modulsort vizsgáltam az árasztásos hűtési módszerrel (10. ábra), így a kísérlet időtartama alatt csak ezek voltak az inverterre kötve, a többi (78 db) leválasztásra került. Ezáltal tudtam biztosítani, hogy a hűtés hatására esetlegesen megjelenő energiátöbbletet ki tudjam mutatni. Emiatt az előző kísérletekhez használt MPPT-t nem tudtam alkalmazni, így a hálózatra visszatápláló inverter szolgáltatta a fő adatokat, melyek rögzítésre kerültek (Zsiborács

et al., 2016b). Céлом volt eldönteni, hogy a hálózatra tápláló modulsornál, valamint a hálózatra nem tápláló moduloknál a hűtés során tapasztalt adatok eltérőek lesznek-e a modulok kora, a maximális teljesítményű pont követő eljárások különbözősége és a hálózatra táplálás vesztesége miatt.



9. ábra. 11 éves amorf szilícium napelem modulok

(Forrás: Zsiborács et al., 2016b)



10. ábra. Tetőn lévő, hálózatra visszatápláló amorf szilícium modulsor

(Forrás: Zsiborács et al., 2016b)

Az amorf szilícium napelem modulok mintavételezésének körülményei

Az új a-Si napelem modulok adatainak mintavételezése a permetezés során derült időben, óránként történt. A hűtés időtartama az adott órában 10 és 20 perc között változott. A vizsgált időszakban a kimutatott többletenergiát az adott időszakban az alábbiak szerint határoztam meg:

- permetezés bekapcsolása előtti állapot,
- permetezés hatására elért végállapot az adott órában (Zsiborács et al., 2016b).

Az árasztásos módszernél a 11 éves a-Si napelemek esetében jellemzően 10 perc elégségesnek bizonyult a vizsgálatra. Ebben az esetben a kimutatott többletenergiát az adott időszakban az alábbiak szerint határoztam meg:

- hűtőrendszer bekapcsolása előtti állapot,
- a permetezési módszerénél tapasztalt hőmérséklet csökkenés hatására elért végállapot az adott órában (Zsiborács et al., 2016b).

3.1.3. A kristályos napelem modulok kísérleti körülményei

A napelem modulok vizsgálata során az időjárási körülményeknek megfelelően óránként 9:00 és 18:00 óra között vettem az adatokat, 46 napon keresztül. A mérőhelyen a kora reggeli és késő délutáni órákban előfordulnak árnyékos periódusok, ami torzítaná az eredményeket. A monokristályos és a polikristályos napelemet külön kezeltem. Annak ellenére, hogy egyszerre került bekapcsolásra a hűtőrendszer szabályozása, nem ugyanakkor indult el a permetezés. Emiatt pár másodperc eltérés volt az 1. fűjás során, ami például 10 perc után már nagyobb különbséget eredményezett. Előfordult néhány esetben, hogy technikai zavarok miatt nem volt használható a két napelem fajta adatsora, de a hűtési időszakok időpontjai és a mérések hossza azonos. A vizsgált időszakban a kimutatott többletenergiát az adott időszakban az alábbiak szerint határoztam meg:

- permetezés bekapcsolása előtti állapot,
- permetezés hatására elért végállapot az adott órában.

3.1.4. Statisztikai kiértékeléshez alkalmazott módszerek

Munkám során az alábbi statisztikai módszerek alkalmazására került sor:

- kétmintás z -próba,
- szóródási együttható,
- kétmintás t -próba.

Vizsgálataim során a mérések nagy elemszáma miatt kétmintás z -próbákat alkalmaztam annak megállapítására, hogy hűtés nélkül a napelem modul párok (hűtött és hűtetlen) energiatermelésében bekövetkező relatív változás szignifikánsan eltér-e? Ennek segítségével igazolható, hogy a napelem modulok ugyanolyan környezeti feltételek során azonosan reagálnak-e vagy sem. A H_0 hipotézis ennek megfelelően azt fejezte ki, hogy a napelem modulok (hűtött és hűtetlen) energiatermelésében bekövetkező relatív változás szignifikánsan nem tér el, míg a H_1 hipotézis ennek ellenkezőjét (Zsiborács et al., 2016a, b).

A hőtechnikai vizsgálatoknál a napi adatból meghatározásra került a melegedés során tapasztalt átlagos maradék hőenergia-hőmérséklet változás kapcsolati jellemzője és a hozzá kapcsolódó relatív szórás, amely a 4.2.2. pontban kerül bemutatásra (CV%). A hűtés hatására megjelent átlagos energiatöbblet, illetve a hozzá kapcsolódó relatív szórás (CV%) minden órában meghatározásra került. Ennek bemutatására a 4.4.1. pontban kerül sor. A szóródási együttható (CV%) alkalmazására azért került sor, mivel a szórás csak a változékonyságot mutatja; de nem közömbös, hogy milyen átlag körül szóródnak az adatok. A szóródási együttható 0-10% között homogenitást, 10,1-20% között az adatok közepes, 20,1-30% között erős változékonyságát fejez ki, 30,1 % felett pedig heterogénnek tekintjük az adatsort (Csatai, 2012; Szűcs, 2002.) A vizsgálatban megengedhetőnek tartottam az átlag elfogadását közepes differenciáltság mellett az időjárás változékonysága miatt.

A hűtés hatására tapasztalható energiatöbblet értékeinek elemzéséhez nyár-össz illetve nyár-tavasz vonatkozásában (a minták kis elemszáma miatt) kétmintás t -próbát használtam. A kétmintás t -próba a két átlagot hasonlítja össze és a kapott mintaátlagok segítségével a sokaság-átlagokra következtetünk. A nullhipotézise azt fogalmazza meg, hogy a két sokaságnak szignifikánsan nem különbözik az átlaga ellenhipotézise pedig azt, hogy különbözőek az átlagok 5 %-os szignifikancia szint mellett. A szórások azonosságának vagy különbözőségének eldöntése F -próba alapján történt (Az F -próba a variancia négyzetek hányadosa) (Zsiborács et al., 2016a, c; Fidy-Makara, 2005; Szűcs, 2002).

3.2. Permetezéssel hűtött napelemes rendszer alkalmazásához szükséges jellemzők és módszerek

A permetező hűtőrendszer használhatóságát nem csak Magyarország esetében, hanem olyan országokra is meghatároztam, amelyek egyrészt ideálisabb klimatikus viszonyokkal, másrészt kiszámíthatóbb zöldenergia átvételi szabályozással rendelkeznek.

Magyarország esetében három vízvételési megoldás gazdaságosságát vizsgáltam meg:

- hűtés megvalósítása esővízzel,
- hűtés megvalósítása ásott kút segítségével,
- hűtés megvalósítása vezetékes ivóvíz hálózaton keresztül.

A napelemes rendszer kúttal történő hűtése esetén felmerül az kérdésként, hogy az ásott vagy a fűrt kút-e a célszerűbb? Ez leginkább attól függ, hogy milyen a terület adottsága vízgazdálkodási szempontból. Ennek kifejtése a 4.5. pont tárgya.

Magyarországon a napelemes rendszer beruházása mellett a hűtéssel elérhető éves többletenergiát és ennek eléréséhez szükséges ráfordításokat (villamos energia, víz, egyéb berendezések) vizsgáltam a 2016-ban érvényes szabályozás mellett a lakosság és vállalkozások számára elérhető HMKE-rendszerrel, éves időszakra kivetítve.

A nemzetközi összehasonlítás során fontos szempont volt, hogy a permetezőrendszer használatának eredményei víz közelében lévő településekre kerüljön meghatározásra, mivel vízvételési pont meglétét feltételeztem. A nemzetközi vizsgálatnál csak lakossági fogyasztókat elemeztem.

3.2.1. Napelemes rendszer bővítésének lehetősége Magyarországon

Vizsgálatomban a napelemes rendszerek hűtését 5 kW névleges teljesítményű, tetőre szerelt háztartási méretű kiserőműre (250 W napelem) (HMKE) vetítettem ki. Magyarországon egy fázisú csatlakozás esetén, beruházás szempontjából az 5 kW rendszerek a legkedvezőbbek (Zsiborács et al., 2014c, d, e, f). Ebben az esetben maximum 5 kW termelő berendezés (inverter) csatlakoztatható, akkor is, ha a háztartásnál rendelkezésre álló teljesítmény lehetőséget adna nagyobb csatlakozási teljesítményre (E.ON Energiaszolgáltató Kft., 2016c).

Az alábbi esetet vizsgáltam gazdasági és műszaki jellemzők figyelembe vétele mellett:

- hűtési rendszer telepítése a már meglévő napelemes rendszerhez.

3.2.2. Napelem rendszer energiatermeléséhez szükséges jellemzők

A különböző országok globálsugárzási jellemzőit, valamint az 1 kW napelemes rendszerrel megtermelhető villamos energiát az 5. táblázat mutatja be. A Photovoltaic Geographical Information System (2016) és a National Renewable Energy Laboratory (2016) adatai voltak segítségemre, melyek értékei az első esetben 10 éves, míg a másik esetben több évtizedes valós időjárás adatok éghajlati adataira épülnek (Zsiborács et al., 2016a).

5. táblázat. A különböző országok globálsugárzási és 1 kW napelemes rendszerrel megtermelhető villamos energia jellemzői, forrás saját szerkesztés

| Ország | Világ | Magyarország (Keszthely) | Horvátország (Šibenik) | Spanyolország (Murcia) | Ausztrália (Broome) | USA (San-Diego) | USA (Miami) |
|--|------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|
| Átlagos globálsugárzás (kWh/m ² /év) | 800 - 2800 | 1200 - 1360 | 1200 - 1600 | 1200 - 1950 | 1100 - 2300 | 1200 - 2200 | 1200 - 2200 |
| Átlagos villamos-energiatermelés 1 kW napelemes rendszer esetében (kWh/év) | - | 1280 | 1580 | 1720 | 1863 | 1763 | 1568 |

(Forrás: Photovoltaic Geographical Information System, 2015, National

Renewable Energy Laboratory, 2016; Solargis, 2014a, b; Zsiborács et al., 2016a alapján)

A Magyarországon végzett kísérlet során a hűtés hatására megjelent energiatöbblet nyáron és ősszel illetve nyáron és tavasszal is hasonló értéket mutatott a mérési időszakban, amely adatok az eredmények a 4. fejezetben kerülnek kifejtésre. Emiatt ezek az értékek alkalmasak a hűtőrendszer becsült működési időszakainak elemzéseire. Ez szorosan összefügg azzal, hogy lineáris kapcsolat van a hatásfok-hőmérséklet, így a hőmérséklet-energiatermelés változása között is (Zsiborács et al., 2016a; Radziemska-Klugmann, 2002; Chandrasekar et al., 2015).

Az ideális energiatermelési időszakok (közel vagy teljesen harang alakú napi villamosenergia-termelési terület) meghatározásához egyrészt olyan napelemes rendszereket használtam, melyek internetes távfelügyelettel és/vagy napi szinten mért energiatermelési

adattal rendelkeznek (így az energiatermelési adatok könnyen elérhetők órás bontásban). A Photovoltaic Geographical Information System (2015), a National Renewable Energy Laboratory, (2016) valamint a Cedar Lake Ventures, Inc (2016) től származó adatok is segítséget nyújtottak a hűtőrendszer használhatóságának meghatározásához (Zsiborács et al., 2016a, c).

A Cedar Lake Ventures, Inc (2016) WeatherSpark nevű modellező rendszerének adatai több helyről származnak:

- Nemzeti Éghajlati Adatközpont,
- Norvég Meteorológiai Intézet,
- World Weather Online,
- több mint 4000 időjárás-állomás,
- METAR állomással rendelkező repülőterek.

A Cedar Lake Ventures, Inc (2016) WeatherSpark nevű modellező rendszer lehetővé tette, hogy az adott település meteorológiai jellemzőiről részletes elemzéshez jussunk.

Nemzetközi összehasonlítás módszertana:

A mérési adataim szerint akkor használható gazdaságosan a hűtőrendszer, ha a levegő nappali átlaghőmérséklete legalább 20 °C és a besugárzás értéke legalább 450 W/m² az említett hőmérsékleten. Az éves adatok ország specifikus meghatározása során a WeatherSpark időjárás modellező rendszert alkalmaztam, aminek segítségével meghatározásra kerültek az átlagos nappali 20 °C időszakok. A besugárzási értékek napi és havi szintű ellenőrzése a Photovoltaic Geographical Information System segítségével történt.

Az egyes naperőművek napi villamosenergia-termelési görbéi azonos lefutásúak a napi besugárzással, ugyanis alapvetően ez határozza meg az energiatermelést. A havi energiatermelés napi bontású adatainak elemzéséből következtettem az adott hónap ideális napjainak számára, vagyis azon napokra, melyeken többnyire zavartalan volt a besugárzás értéke (közel vagy teljesen harang alakú napi villamosenergia-termelési terület). A napelemek energiatermelését árnyékmentes, ideális körülmények között vizsgáltam, amelyet döntően két tényező, a besugárzás és a hőmérséklet befolyásol. Megvizsgáltam a rendelkezésre álló éves energiatermelési adatokat és ezek alapján meghatároztam egy-egy hónap átlagos ideális napjainak számát. Az így meghatározott ideális napokból (6. táblázat) kiszámoltam az elkövetkezendő 15 év hűtésének átlagos gazdasági jellemzőit (Zsiborács et al., 2016a).

6. táblázat. A hűtés szempontjából ideális időszakok a vizsgált országokban

| Megnevezés | Magyarország | Horvátország | Spanyolország | Ausztrália | USA | |
|--|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| | Keszthely, Siófok | Šibenik | Murcia | Broome | San Diego | Miami |
| Rendelkezésre álló éves energia-termelési időszak (év) | 1,5 | 3 | 4 | 5 | 3 | 5 |
| Időszakok és 9 órás hűtési időre alkalmas napok | Június, Augusztus 70 | Június, Augusztus 85 | Május, Szeptember 128 | Szeptember, Június 270 | Július, Szeptember 83 | Május, Szeptember 114 |
| Időszakok és 8 órás hűtési időre alkalmas napok | Május 18 | Április vége, Május, Szeptember 53 | Március első harmada, Április 33 | Július, Augusztus 31 | Április közepe, Június, Október 78 | Március, Április és Október 75 |
| Időszakok és 7 órás hűtési időre alkalmas napok | - | Október 19 | Október, November 32 | - | November 17 | November, Február 92 |
| Időszakok és 6 órás hűtési időre alkalmas napok | Szeptember 13 | - | - | - | - | - |

(Forrás: saját szerkesztés, SMA Solar Technology AG, 2015a, b, c, d, f, g; Cedar Lake Ventures, Inc, 2016a, b, c, d, f; Zsiborács et al., 2016a alapján)

3.2.3. A napelemes rendszer nemzetközi gazdasági számításaihoz használt jellemzők és módszerek

A kristályos napelemeknél jelentkező éves teljesítményromlást 0,5%-ban határoztam meg, amely általánosan elfogadott értékek tekinthető (Jordan-Kurtz, 2012; Belluardo et al., 2015). Üzemelési időszakhoz 15 éves időintervallumot vizsgáltam, mivel egy hálózatra visszatápláló napelemes rendszert 15 évente érdemes felülvizsgálni. A karbantartási munkákat ezen időszak elteltével célszerű elvegezni, illetve az inverter cseréje hozzávetőlegesen 15 év elteltével esedékes (Zsiborács et al., 2016a; Zsiborács et al., 2014 c, d, e, f; Pintér et al., 2015; Allenbach Holzbau und Solartechnik AG, 2014). A hűtés nélküli rendszerek esetében 100% önerő mellett a 15 éves időintervallum alatt nem kalkuláltam fenntartási költséggel, ellenben a

hűtött rendszereknél a vízfelhasználással arányosan vízszűrő cseréket feltételeztem. Az alacsony kihasználtsági idő és/vagy üzemóra miatt a szivattyú (a sós vizet is tűrő) javítása/cseréje nem szükséges. Gazdasági számításaimat a villamos energia átvételi szabályozásából adódóan 5 kW napelemes rendszerekre végeztem el (Zsiborács et al., 2016a; Pintér et al., 2015, Allenbach Holzbau und Solartechnik AG, 2014). Ezen felül vizsgálatomban 6%-os rendszerveszteséggel és 35 fokos dőlésszöggel számoltam (Zsiborács et al., 2016a, c; Pintér et al., 2015).

A kísérlethez használt házi vízmű szivattyú motorjának teljesítménye 750 W, fogyasztása 1 óra alatt 750 Wh, ami alatt a szivattyú 30 l/perc (1800 l/óra) vizet szállít. A szivattyúnak nem kell állandóan működnie, mivel egy nyomástartály tartozik hozzá. A díjmegtakarítást a fenntartási költséggel csökkentve fedezeti hozzájárulásnak neveztem (Zsiborács et al., 2016a, c).

Vizsgálataim során a villamos energia változása esetén az első évet követően 4 év (2012-2015) átlag inflációs értékkel, valamint a kamatot 10 vagy 15 éves futamidejű kötvényhozam 2016.01.15-i állapota szerint számoltam. Horvátországban és az USA-ban 10 éves futamidejű kötvényhozam érhető el. Az infláció a kötelező átvételi árak változása miatt fontos, míg az állampapír-hozam a jövőbeni jövedelem-elvárások miatt szükséges. A villamos energia tekintetében az első évben a 2.6 pontban lévő, a lakossági fogyasztók és az üzleti ügyfeleknél érvényes átvételi árakkal számoltam (US Energy Information Administration, 2016a, c; Fusion Media Limited, 2016a, b, c, d, e; The World Bank Group, 2015; Trading Economics, 2015a, b, c, d, e, f; Zsiborács et al., 2016a). A 7. táblázat bemutatja a vizsgált országokra jellemző átlagos inflációt, a kötvényhozam kamatot és az 5 kW rendszer esetében érvényes villamos energia átvételi árakat. Vizsgálatomban a saját igényt kielégítő, de ezen felül többlet villamosenergiát nem előállító rendszerrel számoltam.

7. táblázat. Kötvényhozam kamatok, valamint villamos energia átvételi árak 5kW rendszer esetében

| Ország | HU | HR | E | AUS | USA (S-D) | USA (M) |
|--|-------|-------|-------|-------|-----------|---------|
| Átlagos infláció mértéke (2012-2015) (%) | 1,79 | 2,4 | 0,8 | 2,22 | 1,33 | |
| Kötvényhozam kamata, 2016.01.15* (%) | 3,88 | 3,99 | 2,29 | 2,89 | 2,04 | |
| Villamos energia átvételi árak 5kW rendszer esetében (EUR/kWh) | 0,112 | 0,344 | 0,283 | 0,045 | 0,082 | 0,046 |

(Forrás: saját szerkesztés, US Energy Information Administration, 2016a, c; Fusion Media Limited, 2016a, b, c, d, e, The World BankGroup, 2015; Trading Economics, 2015a, b, c, d, e, f; Zsiborács et al., 2016a alapján)

*MO, SP, AU 15 éves, míg HR és USA 10 éves kötvényhozam kamat

Beruházás-hatékonyágát elemző módszerek

A gazdasági számításokhoz a beruházás-gazdaságossági elemző módszereknél használatos dinamikus mutatók alkalmazására került sor, amely számítási módszerek figyelembe veszik az időtényezőt. A jövő gazdasági körülményeit becslés alapján határozzák meg. A becslés hibákat, illetve kockázatot tartalmaz (Ertsey et al., 2009). Az alkalmazott mutatók az alábbiak voltak:

- Nettó jelenérték módszer:

A nettó jelenérték módszer megmutatja, hogy a jövőbeni értékek (jövedelmek) jelenbeli értéke mekkora. Számítása a diszkontált bevételek, valamint a diszkontált ráfordítások különbségéből történik. A beruházás akkor kedvező, ha $NPV > 0$, azaz a bevételek jelenértéke nagyobb, mint a beruházás létrehozása és a működtetésre tervezett összes ráfordításoké (Nábrádi et al., 2008; Nábrádi, 2015):

$$NPV = -C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (28)$$

- Belső megtérülési ráta:

A belső megtérülési ráta megmutatja azt a kamatlábat, amely mellett a beruházás egyszeri és a működés folyamatos költségei a bevételekből a működés élettartama alatt éppen

egyszer térülnek meg. Ha $IRR > r_h$, akkor elfogadható a beruházási javaslat (Nábrádi et al., 2008).

- Jövedelmezőségi index:

A jövedelmezőségi index (PI) kifejezi a beruházás hozamainak a beruházás tőkeigényéhez viszonyított arányát (Nábrádi et al., 2008; Nábrádi, 2015).

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}{-C_0}. \quad (29)$$

Amennyiben

$PI > 0$, elfogadható, érdemes megvalósítani a beruházást,

- $PI = 1$, egyszer térül meg a beruházás hozamaiból a ráfordítás,
- $PI < 0$, nem szabad megvalósítani a beruházást.

- Diszkontált megtérülési idő

A diszkontált megtérülési idő számítása esetén arra keressük a választ, hogy a beruházás megtérülési ideje hogyan alakul. Ennek megfelelően az NPV-t időszakról időszakra számszerűsíteni szükséges. A megtérülés azon időszakban következik be, ahol az NPV értéke nulla, illetve pozitív szám (Pupos-Pintér, 2013; Nábrádi, 2015):

$$C_0 + \sum_{t=1}^n PV(C_t) = 0. \quad (30)$$

A vízkő kezelésének módja

Azzal a feltételezéssel éltem, hogy a vízkő és/vagy a sós víz ellen védekezni kell. A hidrofor után egy fordított ozmózis víztisztító megfelelően kezeli az említett problémákat. Az alacsony kihasználtsági idő és üzemóra miatt a (egyébként sós vizet is jól tűrő) szivattyú javítása/cseréje nem szükséges. A szükséges nyomást a víztisztító után egy tágulási tartály biztosítja, amely a szűrt vizet tartalmazza. A szórófejek számára egy ipari mágnes szelep megfelelően nyitja meg a vizet. Ebből adódóan a szűrt víz létrehozásához szükséges energia csak a hidrofornál és a mágnes szelepnél jelentkezik (Zsiborács et al., 2016a).

Az energiaköltségek gazdasági elemzésekor csak a hidrofor energiaigényével számoltam, mivel a mágnesszelepek napi energia felvétele elenyésző, a műszerek mérési tartománya alatt volt. A hűtött rendszereknél a vízfelhasználással arányosan vízsűrő cseréket feltételeztem és építettem be a gazdasági számításokba. A fordított ozmózis víztisztító esetében számos szűrőfajta elérhető, az általam választott szűrőt 20.000-30.000 liter tisztított víz után célszerű cserélni (Zsiborács et al., 2016a).

A gazdasági számításoknál egy intelligens digitális termosztát használatával számoltam, ami azonos módon csökkenti a napelem modulok hőmérsékletét minden ország esetében. Ezzel lehetséges biztosítani az országoként megegyező energianövekedést a hőmérsékletváltozás - energiatermelés módosulása közötti lineáris változásából adódóan (Zsiborács et al., 2016a).

Ezen információk a földre telepített, hűtött és hűtetlen amorf szilícium, valamint kristályos napelemes rendszereknél ténylegesen nyerhető napi, havi és éves energiatermeléséhez nyújtottak alapinformációkat, amelyek a gazdasági számítások szerves részét képezték.

4. Eredmények és következtetések

A kutatás során kidolgoztam a permetezett kristályos és amorf szilícium napelem modulok hőmérlegének modelljét, amely alkalmas napelem modul és a napelemen lévő vízréteg hőmérlegének együttes számítására. A hűtetlen napelem modulok hőtechnikai vizsgálatainál meghatároztam az optimális elhelyezésű, tájolású és átlagos teljesítményű napelem moduloknál a szokásos 27-37 °C levegőhőmérsékleti és 35-62 °C működési modul hőmérsékleti tartományokban a modulok hőmérsékletének 1 °C-al történő megváltoztatásához szükséges hőenergiát.

Vizsgálataim során ezen felül kidolgoztam a napelem modulokra integrált vízpermetezési technológia alkalmazhatóságát, a használatához szükséges ideális műszaki-környezeti jellemzőket hazai és nemzetközi viszonyokra, valamint a gazdaságosságának modellezését.

Ebben a fejezetben a mérési és számítási eredményeket ismertetem, amelyek során új tudományos téziseket fogalmaztam meg.

4.1. A hűtési rendszerrel kapcsolatos jellemzők és paraméterek meghatározása

Az alábbi pontban a hűtési rendszer használatához szükséges műszaki és környezeti jellemzők eredményeit ismertetem.

4.1.1. A szórófej beállítása

A kísérleti vizsgálatokban használt szórófejeknél azt tapasztaltam, hogy a kristályos napelemek esetében az ideális beállítást 2 db alkalmazása során, 55 cm szélességű, közel homogén permetezett felület esetén értem el 2 bar nyomáson. Hosszanti irányban a szórófejek hatótávolsága 100-120 cm között változott az időjárás függvényében, melyek távolsága egymáshoz képest 26 cm (Zsiborács et al., 2016a, c).

Az amorf szilícium napelemeknél a közel homogén permetezett felületet 3 db szórófej alkalmazásával értem el, a kristályos napelemeknél is tapasztalt 2 bar nyomáson. A szórófejek hatótávolsága ebben az esetben egymáshoz képest 32 cm volt. Hosszanti irányban a szórófejek hatótávolsága a kristályos napelemekhez hasonlóan 100-120 cm között változott az időjárás függvényében.

4.1.2. A szórófejek számának meghatározása a kristályos napelemekhez

A gazdasági értékeléshez választott 5 kW névleges teljesítményű napelemes rendszerhez 20 db 250 W-os polikristályos napelemet használnak. A 250 W-os napelem modul hosszúsága 164 cm, valamint szélessége 99,2 cm. A permetezés alkalmazása esetén célszerű egyrészt hosszanti irányban egymás mellé telepíteni a napelemeket, így 6 db szórófejjel biztosítani lehet a megfelelő permetezett felületet egy modul esetében, másrészt a telepítésnél a szerelő keretek közé megfelelő távolság tartása indokolt a szórófejek telepítése és az esetlegesen megjelenő árnyékok miatt (Zsiborács et al., 2016a, c).

4.1.3. A vízfogyasztás meghatározása

A kristályos napelemek hűtéséhez szükséges vízfogyasztásának jellemzői

A kísérletek során 2015.06.16.-án, 07.07.-én, 07.22.-én valamint 08.08.-án a vízfogyasztást vizsgáltam egész napos, ideális üzemi körülmények között, mivel a vizsgálat szempontjából a környezeti és kísérleti feltételek ekkor voltak a legkedvezőbbek.

A digitális termosztát segítségével manuálisan tesztelésre került egy olyan hőmérsékletkövetési elv, ami a kontroll napelem hőmérsékletének függvényében a hűtés után kiátlagolt hőmérsékleti értékkel (az adott órára) képes csökkenteni a hűtendő modul felületét. Az említett megoldást 07.07.-én sikerült a legjobban szimulálni, a hűtés időtartama alatt (09:00 - 17:50). Ez a módszer azért is célszerű, mivel így a hűtési időszak maximális hatékonysággal kihasználható. Az 50 W-os monokristályos napelem esetében 2 szórófej alkalmazása során 3,2 l, míg az 50 W-os polikristályos napelemnél 3 l víz kipermetezése valósult meg a mérés kb. ~9 órás időtartama alatt. 8 órás működés esetén 2,9 l, 7 órás működés esetén 2,6 l, 6 órás működés esetén 2,3 l, míg 5 órás működés esetén 1,9 l víz felhasználása várható (Zsiborács et al., 2016a, c). 5 kW névleges teljesítményű napelemes rendszer esetében, 9 órás hűtési időtartam alatt ez 180 l víz / nap vízfogyasztást jelentene.

Az amorf szilícium napelem napelemek hűtéséhez szükséges vízfogyasztásának jellemzői

Az amorf szilícium napelem hűtéséhez szükséges vízfogyasztást 2015.08.08.-án vizsgáltam, valós ideális időjárási körülmények között, mivel egyrészt a vizsgálat szempontjából a környezeti és kísérleti feltételek ekkor voltak a legkedvezőbbek, másrészt a

TMPS műterhelés kellő érzékenységének elérését augusztusra sikerült megalkotni. Az 50 W-os amorf szilícium napelem esetében 3 szórófej alkalmazása során, 9:00-17:00-ig terjedő időszakban 4,2 l víz kipermetezése valósult meg (Zsiborács et al., 2016b).

4.1.4. Környezeti jellemzők a permetezős hűtőrendszer használatához

A méréseim azt mutatták, hogy a hűtőrendszer alkalmazásához minimum 20 °C-os levegőhőmérséklet esetén legalább 450 W/m², míg 30 °C-os levegőhőmérsékletnél legalább 390 W/m² besugárzás szükséges. Ennek az az oka, hogy a melegebb modulnál már kevesebb sugárzás esetén is bekapcsol a hűtés, mivel hamarabb éri el a magasabb hőmérsékletet (Zsiborács et al., 2016a, c).

A levegőhőmérséklet és a hűtésre használt víz hőmérséklete és változása azonos volt. Ez a permetezéshez felhasznált alacsony vízmennyiségből adódott, mivel a csőhálózatban lévő víz felmelegedett.

4.1.5. A kontroll napelemek korrekciós szerepe a hűtés során

Csak a napelem modul energiatermelésénél bekövetkező változásokat vizsgáltam. A környezeti hatások esetleges energiatermelés módosító hatása a kontroll napelemben érvényesült, így a pozitív vagy negatív változás a hűtött napelem energiahozamából korrigálásra került, mivel a hűtött és hűtetlen modulok energiatermelésében bekövetkező relatív változás egyforma (Zsiborács et al., 2016a, c).

4.2. A hőtechnikai vizsgálatok eredményei

Az alábbi pontban bemutatom az általam kidolgozott permetezett napelem modulok hőmérlegének egyenletét, a hűtetlen és hűtött napelem modulok hőtechnikai vizsgálatainak mérési eredményeit.

4.2.1. A permetezett napelem modulok hőmérlege

Felállítottam a napelem és a napelemben lévő vízréteg kombinált hőmérlegét. Ennek segítségével kidolgoztam azt az összefüggést, amivel leírható a permetezett napelemben visszamaradó hőáram (Q_m):

$$Q_m = Q_{s2} - Q_{cpv} - Q_{hs} - P_{pv} - (q_{s1} - q_e - q_{cv} - q_v)A_{v\acute{z}} , \quad (31)$$

Megállapítottam továbbá, hogy a napelemek esetében a napsugárzás (Q_{s2}) a hőtechnikai viszonyokat elsősorban a konvektív hőáramon (Q_{cpv}), a hőszigetelésen (Q_{hs}) és a modul villamosenergia-termelésén keresztül befolyásolja (P_{pv}). A párolgás során fellépő hőáramsűrűség (q_e) számítható a kipermetezett és elpárolgó víz mennyiségek, valamint a víz- és modul hőmérsékleti értékek ismeretében. A teljes hőmérséklethez a napelemből a vízrétegbe vezetéssel bejutó hőáramsűrűség (q_v), napsugárzás során fellépő hőáramsűrűség a nedvesített felületen (q_{s1}) valamint a vízfelület és a levegő közötti konvektív hőáramsűrűség (q_{cv}), ismerete szükséges. A hőáramsűrűségek hőáramra való átalakításához a nedvesített felület ($A_{v\acute{z}}$) figyelembevétele szükséges. A napelem modul felületét (A_{pv}) a nedvesített felülettel arányosan ($A_{v\acute{z}}$) csökkenteni szükséges a modult ért napsugárzás (Q_{s2}), a konvektív hőáramon (Q_{cpv}), és a hőszigetelésen (Q_{hs}) keresztül. A hőszigetelés (Q_{hs}) értékének tényleges megállapításához a napelem modul nem nedvesített és nedvesített felületét külön szükséges számítani az eltérő modul hőmérsékleti értékek miatt.

A permetezett napelem modul hűtésének modellezését és számítását két fontos tényező nehezíti:

- Az első tényező a párolgásban ténylegesen résztvevő vízmennyiség, mivel földre telepített, valós időjárási körülmények között a szélsebesség állandó változása és iránya különböző mértékű sodródást eredményez.
- A második tényező a napelemben lévő vízpermet állandó hőmérséklet változása, amelynek mérésére nem volt lehetőség. Ez a jelenség egy tranziens folyamatot eredményez. A vízpermet hőmérséklete a vízfelület és a levegő közötti konvektív hőáram illetve a víztükör alatti rétegből (napelem) vezetéssel bejutó hőáram meghatározása miatt fontos.

Az említett nehézségek miatt az üzemi körülmények során tapasztalt empirikus megfigyeléseknek kiemelt szerepe van.

4.2.2.A hűtetlen napelem modulok hőtechnikai mérésének eredményei

A hűtetlen napelem modulok hőtechnikai vizsgálatait 2015.07.19. 09:00 - 17:40 közötti időszakra határoztam meg, mivel a vizsgálat szempontjából a környezeti és kísérleti feltételek ekkor voltak a legkedvezőbbek.

A napelem hőmérlegének számításaihoz Tsai (2014) összefüggéseit alkalmaztam (2.5.1. pont, 1-4. összefüggés). Az α_c meghatározásánál Agrawal-Tiwari (2011) munkájában tapasztalt megközelítéssel számoltam (2.5.2. pont, 20. összefüggés), valamint figyelembe vettem Jones-Underwood (2000) és Tsai-Tsai (2012) által számításba vett szabad konvekciós koeficiens is (2.5.2. pont, 24. összefüggés).

A 11-13. ábrák a maradék hőenergia, a modul hőmérséklet, a levegő hőmérséklet és a villamos energia napi összefüggését szemléltetik folyamatos, másodpercenként szemléltetett adatok segítségével optimális elhelyezésű, tájolású és átlagos teljesítményű napelem moduloknál a szokásos 27-37 °C levegőhőmérsékleti és 35-62 °C működési modul hőmérsékleti tartományok között. Látható, hogy a napelem modulokban lévő maradék hőenergia és a modulok hőmérsékletei egy napi karakterisztikát követnek. A maradék energiához tartozó modul hőmérsékleti értékek a delelés előtt (ábrák bal felső része) és után (ábrák jobb alsó része) is eltérnek, amit a besugárzás és a nappali levegőhőmérséklet változása okoz. Ez a napi karakterisztika mind a három napelem modul esetében megfigyelhető volt.

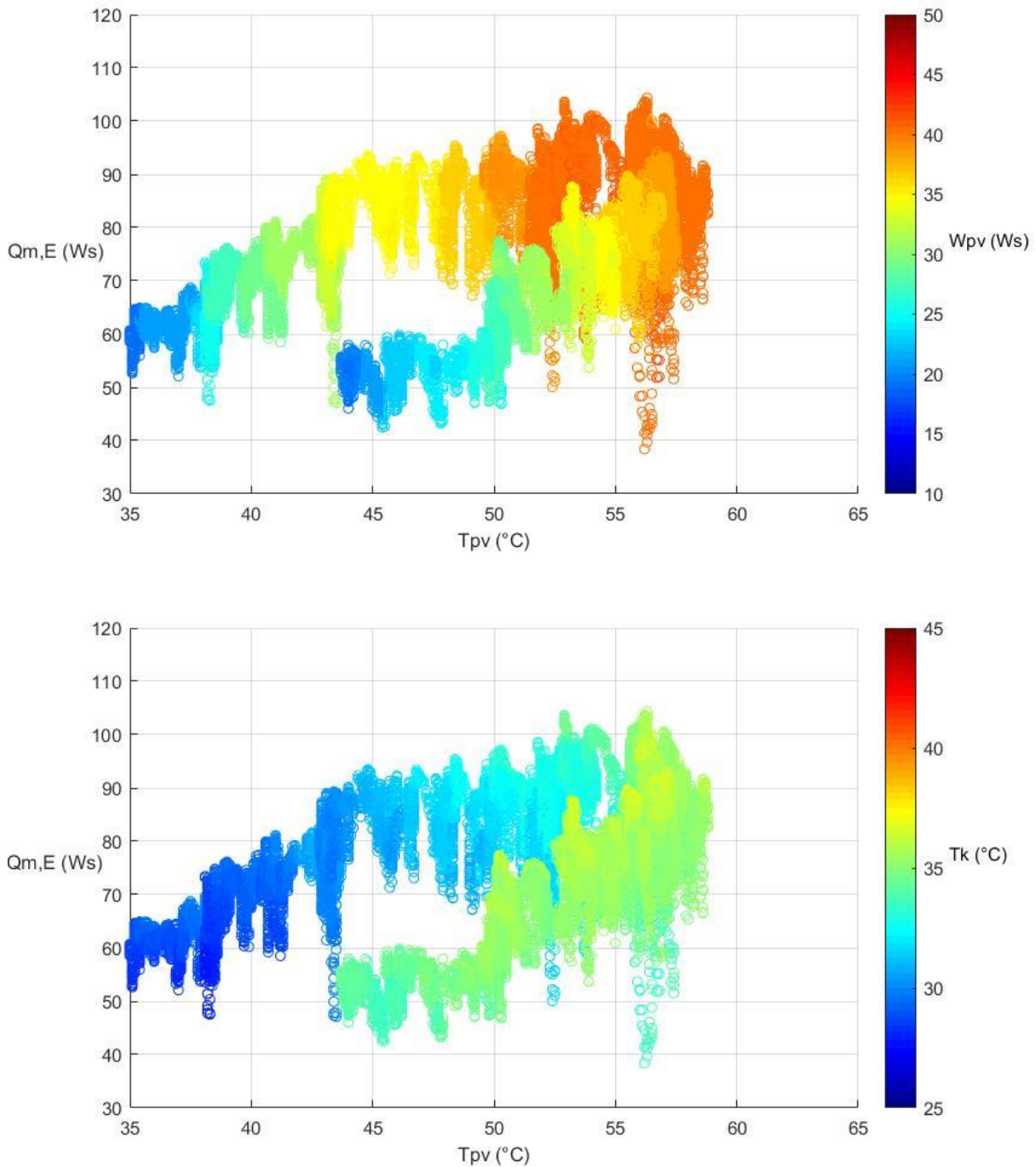
Az ábrán lévő színek az időben változó maradék energia és modul hőmérséklet kapcsolata során fennálló villamosenergia-termelés illetve a levegő hőmérsékletének változását szemléltetik.

Az eredmények egy időben folyamatosan változó maradék energiaváltozást szemléltetnek, emiatt azt az összefüggést kellett meghatározni, hogy a mérés levegő- és modul hőmérsékleti tartományai között átlagosan mennyi W_s energia okozza a napelem szerkezetének 1°C-al való változását és a hozzá kapcsolódó relatív szórását.

Kísérletek segítségével meghatároztam az optimális elhelyezésű, tájolású és átlagos teljesítményű napelem moduloknál a szokásos 27-37 °C levegőhőmérsékleti és 35-62 °C működési modul hőmérsékleti tartományokban a modulok hőmérsékletének 1 °C-al történő megváltoztatásához szükséges hőenergiát:

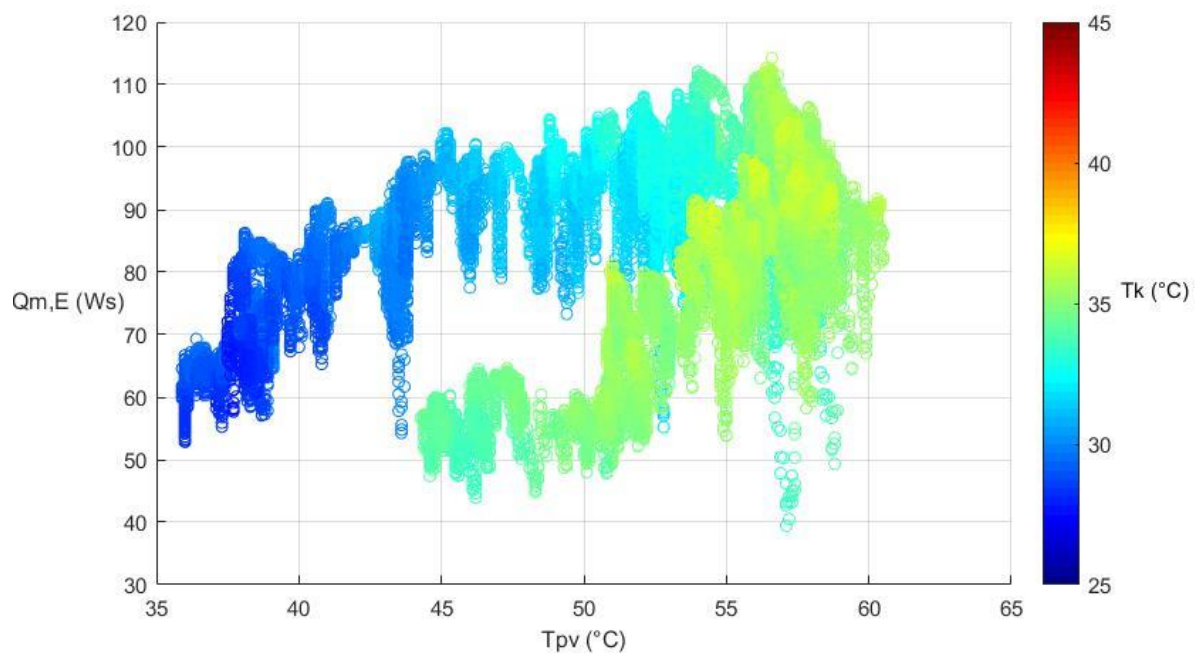
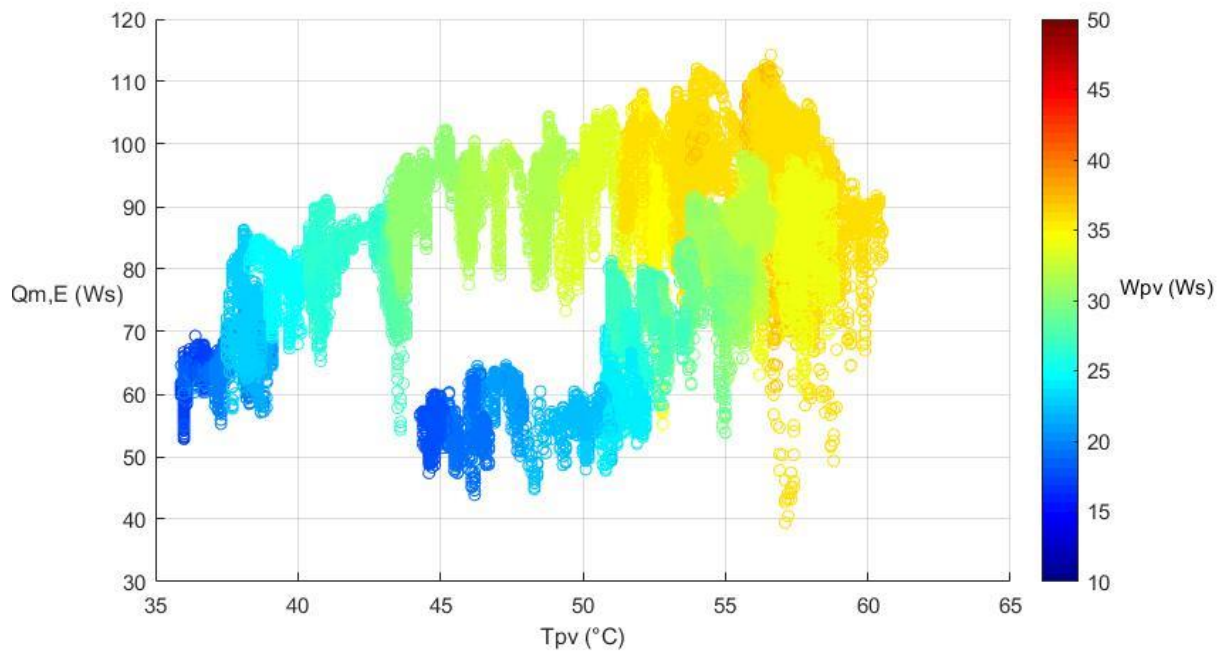
- monokristályos moduloknál 1,5 W_s (CV% 15),
- polikristályos moduloknál 1,6 W_s (CV% 16,8),
- amorf szilícium napelem moduloknál 4,7 W_s (CV% 13,7).

A kristályos és az a-Si napelem modulok hőenergiájának eredményei átszámíthatók más modulokra a fajhő, a felület, a tömeg és a ΔT ismeretében.



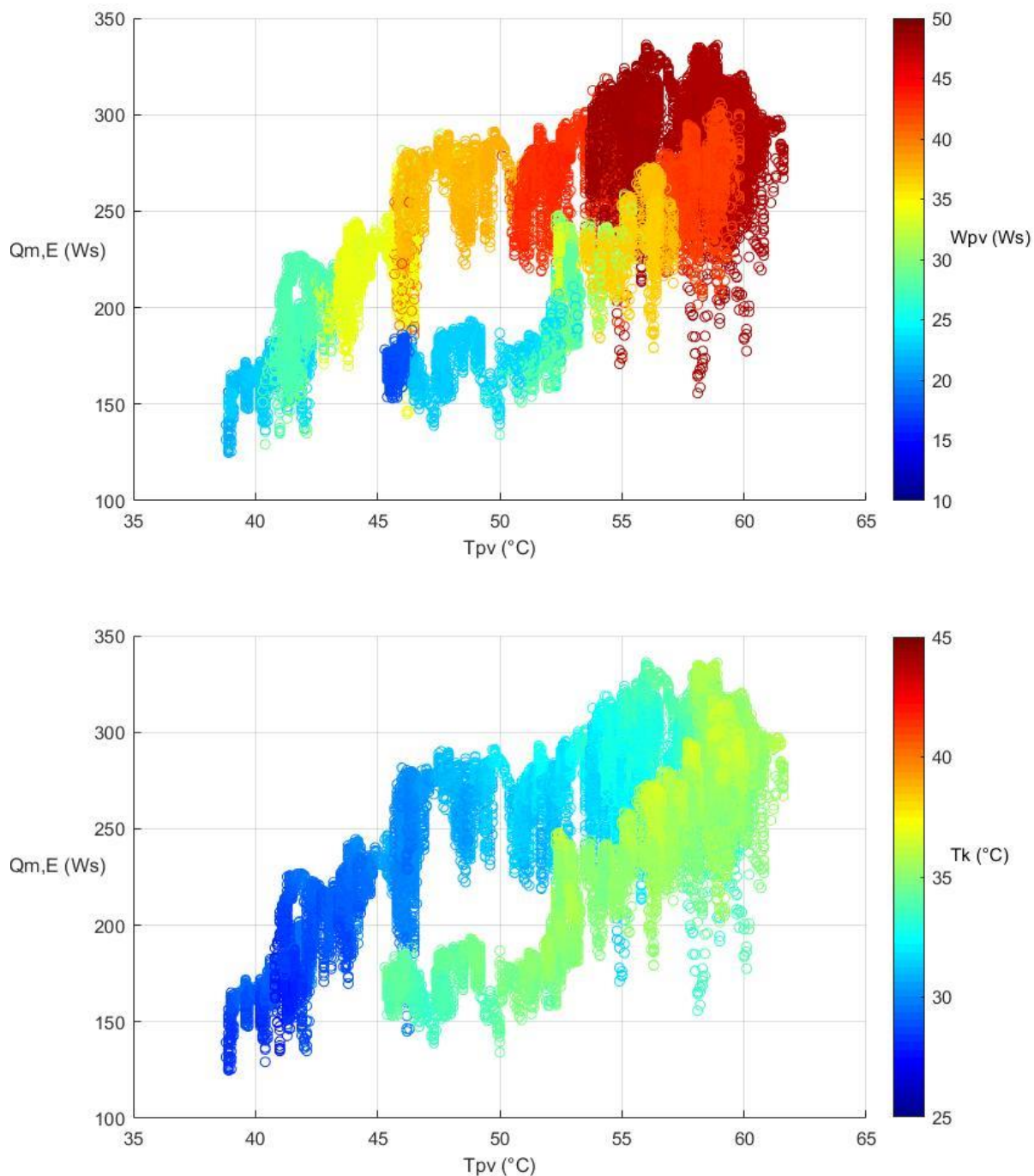
11. ábra. A maradék hőenergia, a modul hőmérséklet, a levegő hőmérséklet és a villamos energia napi összefüggése a monokristályos napelem esetében

(Forrás: saját szerkesztés)



12. ábra. A maradék hőenergia, a modul hőmérséklet, a levegő hőmérséklet és a villamos energia napi összefüggése a polikristályos napelem esetében

(Forrás: saját szerkesztés)



13. ábra. A maradék hőenergia, a modul hőmérséklet, a levegő hőmérséklet és a villamos energia napi összefüggése az amorf szilícium napelem esetében

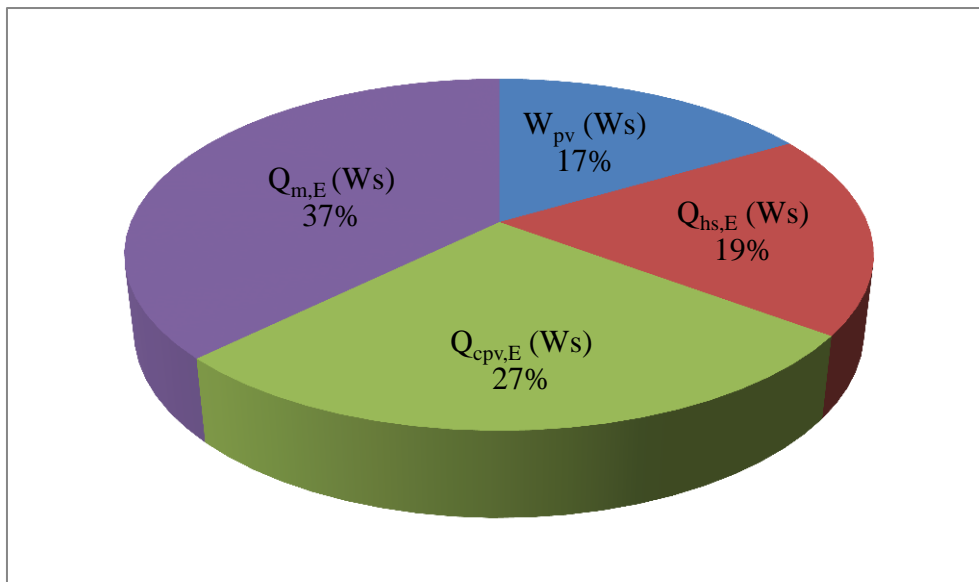
(Forrás: saját szerkesztés)

Mind a három napelem fajta esetében a hűtetlen napelem modulok hőtechnikai vizsgálati során 2015.07.19. 09:00 - 17:40 közötti időszakban meghatározásra került a maradék hőenergia ($Q_{m,E}$), a villamos energia (W_{pv}), a sugárzás energia vesztesége a napelem modulból a környezetbe ($Q_{hs,E}$) és konvektív energiaveszteség ($Q_{cpv,E}$) napi összesített

jellemzője. Látható, hogy közel 9 órás, másodperc alapú mérési idő alatt a napsugárzás energiájának ($Q_{s2,E}$) döntő többsége a napelem modulok szerkezetében maradék hőenergiaként ($Q_{m,E}$) jelent meg, ezzel növelve a modulok hőmérsékletét. A sugárzás energia vesztesége és a konvektív energiavesztés együttes nagysága az m-Si esetében 46%, a p-Si-nél 48%, míg az a-Si esetében 52%.

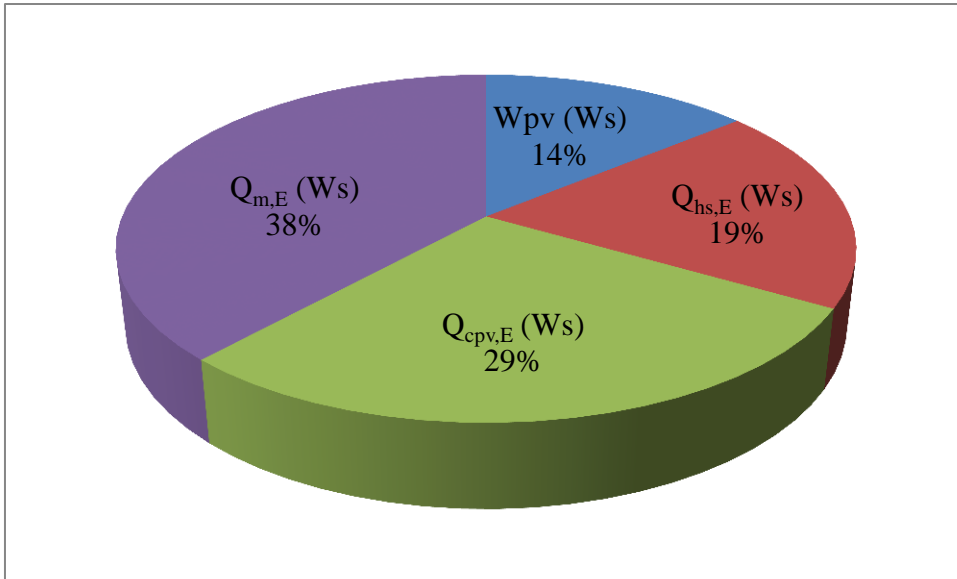
A villamosenergia-termelés a napelem modulok hatékonyságát jól szemlélteti. A monokristályos napelem modul a mérés időtartama alatt a beérkező összenergia 17%-át, a polikristályos modul 14%-át és az amorf szilícium modul 6%-át alakította át villamos energiává (14-16. ábra). Ezen értékek jól mutatják a különböző napelem technológiák hatásfokát, valamint megerősítik a TST Arge Solarstrom (2017) adatait az alacsonyabb hatásfokú kristályos és amorf szilícium napelem modulok alkalmazására vonatkozóan kedvezőbb bekerülési értékük miatt:

- Monokristályos napelemek modulok alkalmazása esetén jellemzőbb a 16-20% hatásfok választása.
- Polikristályos napelemek modulok alkalmazása esetén jellemzőbb a 14-17% hatásfok választása.
- Amorf szilícium napelemek modulok alkalmazása esetén jellemzőbb az 5-8% hatásfok választása.



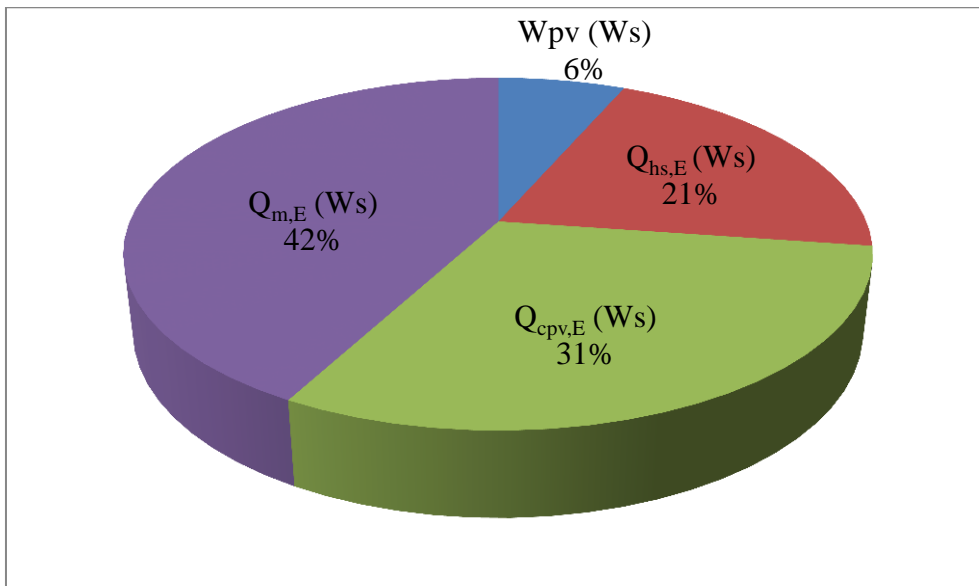
14. ábra. Napi energia eloszlás a monokristályos napelem esetén

(Forrás: saját szerkesztés)



15. ábra. Napi energia eloszlás a polikristályos napelem esetén

(Forrás: saját szerkesztés)



16. ábra. Napi energia eloszlás az amorf szilícium napelem esetén

(Forrás: saját szerkesztés)

4.2.3. A napelem modulon lévő vízréteg hőtechnikai mérésének eredményei

A permetezett napelemen lévő vízréteg hőmérsékletét a 2015.08.10. 11:50 - 12:00 közötti időszakra határoztam meg, mivel a vizsgálat szempontjából a környezeti és kísérleti feltételek ekkor voltak a legkedvezőbbek.

A vízréteg hőmérsékletének számításaihoz az α_e és α_i meghatározásánál Agrawal-Tiwari (2011) munkájában javasolt megközelítéssel számoltam (2.5.2. pont, 20, 27. összefüggés).

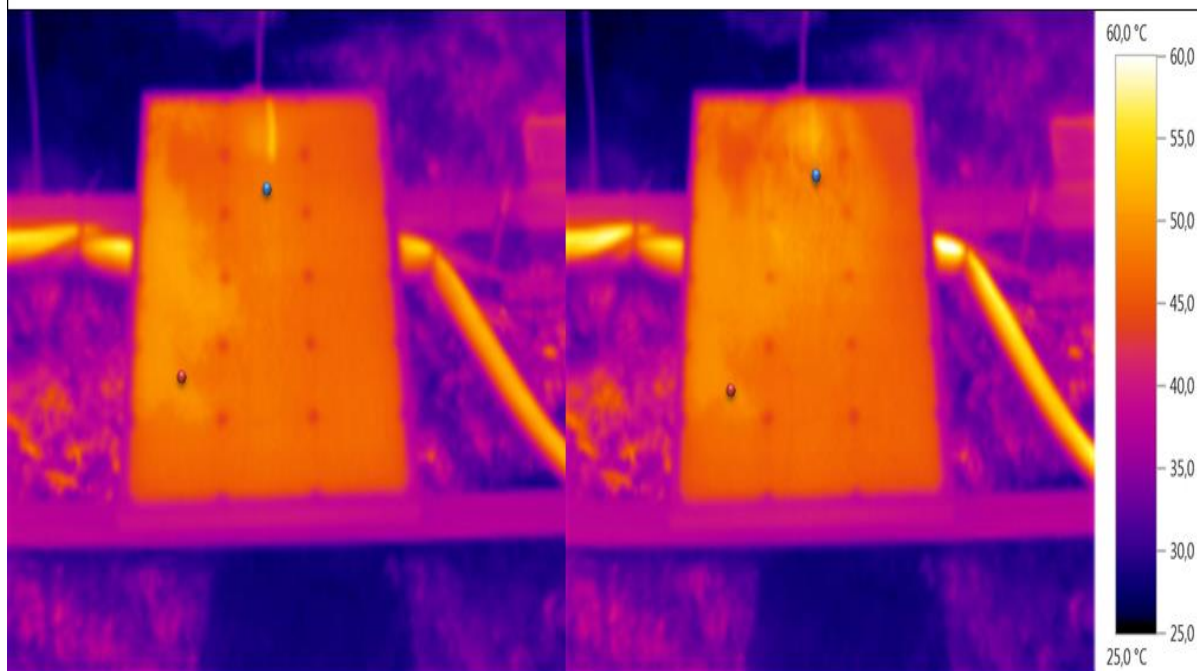
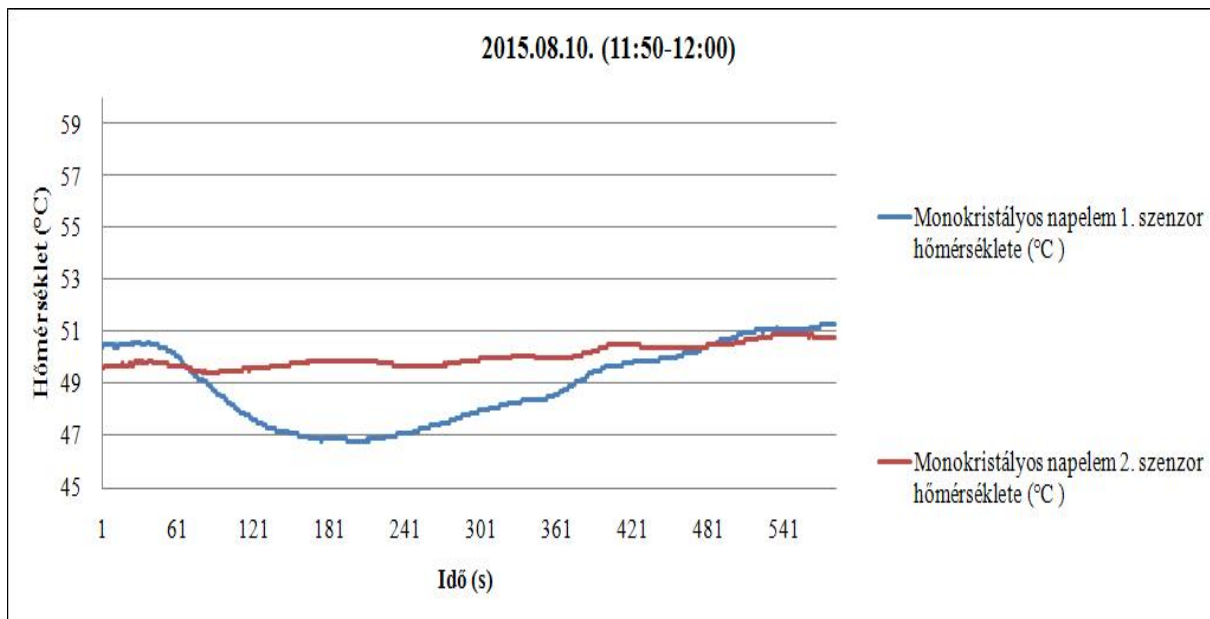
A 17-19. ábrák mutatják be, hogy általánosságban milyen karakterisztikát követ a hűtés folyamata. Látható, hogy egy szórófej alkalmazása során a napelemek szélét minimálisan (vagy egyáltalán nem) érte permet, így a 2. szenzoron a hőmérsékletcsökkenés negatív, azaz hőmérsékletemelkedés tapasztalható. Egy szórófej alkalmazását a vízpermet veszteségmentes kijuttatása indokolta, elérve a teljes vízmennyiség hűtő hatásának érvényesülését. A diagramok alatt látható hőképek tájékoztató jellegűek, mivel tükröződő felület esetén nem mérhető az adott tárgy hőmérséklete (Fábián, 2009), viszont a szóráskép jól látható 1 fűjás esetén (Zsiborács et al., 2016e). A hőképeken az 1. szenzor kék, míg a 2. szenzor piros ponttal került megjelölésre.

A monokristályos napelemnél átlagosan 6,19 ml, a polikristályos napelemnél 8,99 ml, míg az amorf szilícium napelemnél 7,66 ml víz került a modulokra egy-egy mérés alkalmával (Zsiborács et al., 2016e).

A monokristályos napelemek esetében megállapítható (17. ábra), hogy egy fűjás során a modul felső harmadának közepén átlagosan 4°C, alsó harmadának bal szélén 0,3°C hőmérsékletcsökkenés volt tapasztalható, amelynek eléréséhez átlagosan 151 másodpercre volt szükség. A felületen lévő permetcseppek döntő hányada 110-130 másodperc alatt párologt el (8. táblázat) (Zsiborács et al., 2016e).

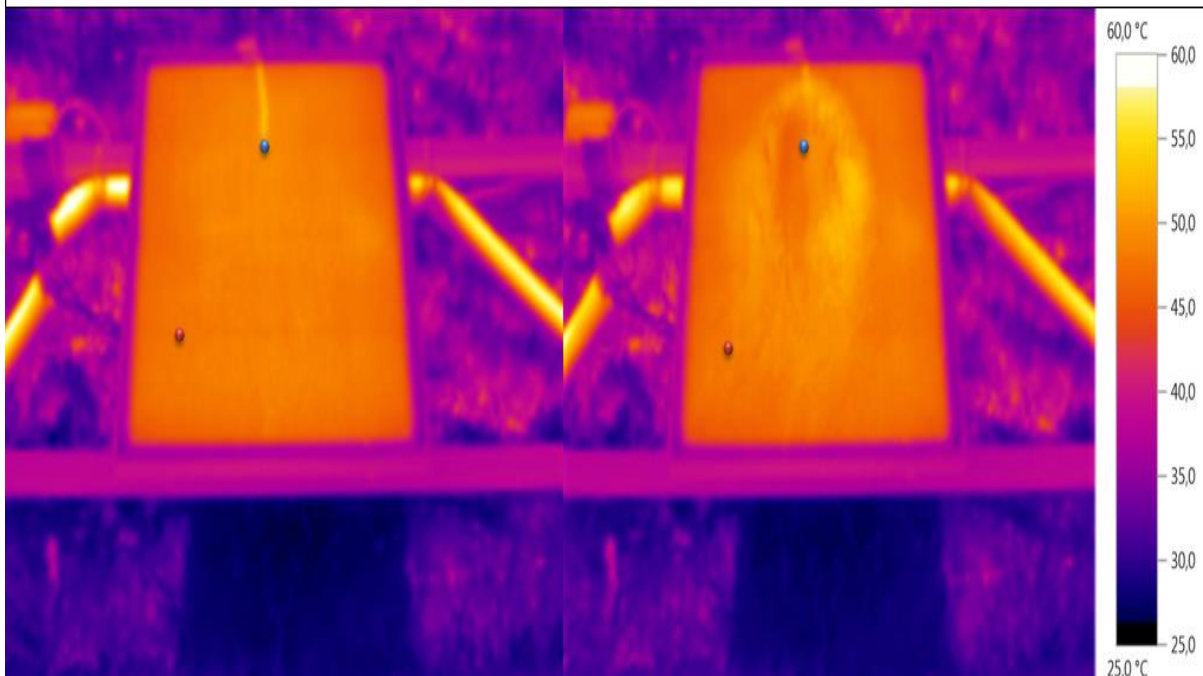
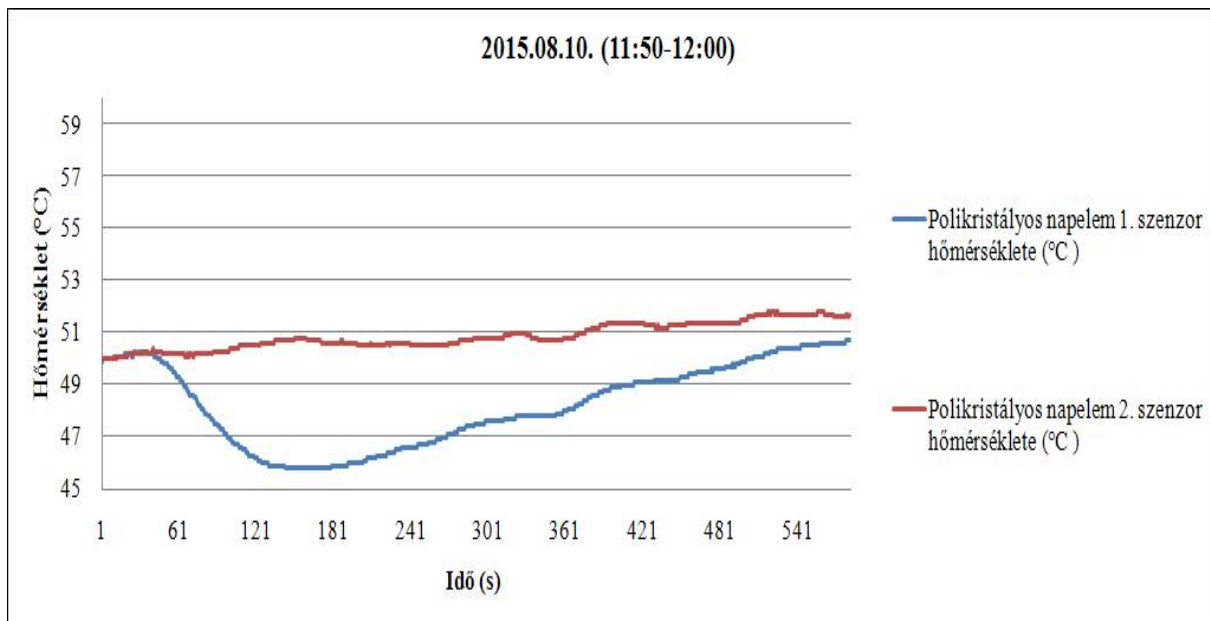
A polikristályos napelemeknél (18. ábra) egy fűjás során az 1. szenzoron (a modul felső harmadának közepén) 5,2 °C hőmérsékletcsökkenés volt tapasztalható, míg a 2. szenzoron (alsó harmadának bal szélén) -0,6 °C, amelynek eléréséhez átlagosan 131 másodpercre volt szükség. A felületen lévő permetcseppek döntő hányada szintén 110 és 130 másodperc között párologt el (Zsiborács et al., 2016e).

Az amorf szilícium napelemeknél (19. ábra) egy fűjás során a modul első szenzorán 1,3 °C hőmérsékletcsökkenés volt tapasztalható, míg a 2. szenzoron -0,2 °C, amelynek eléréséhez átlagosan 83 másodpercre volt szükség. A felületre juttatott permetcseppek legnagyobb része 60 és 80 másodperc közötti idő alatt párologt el (Zsiborács et al., 2016e).



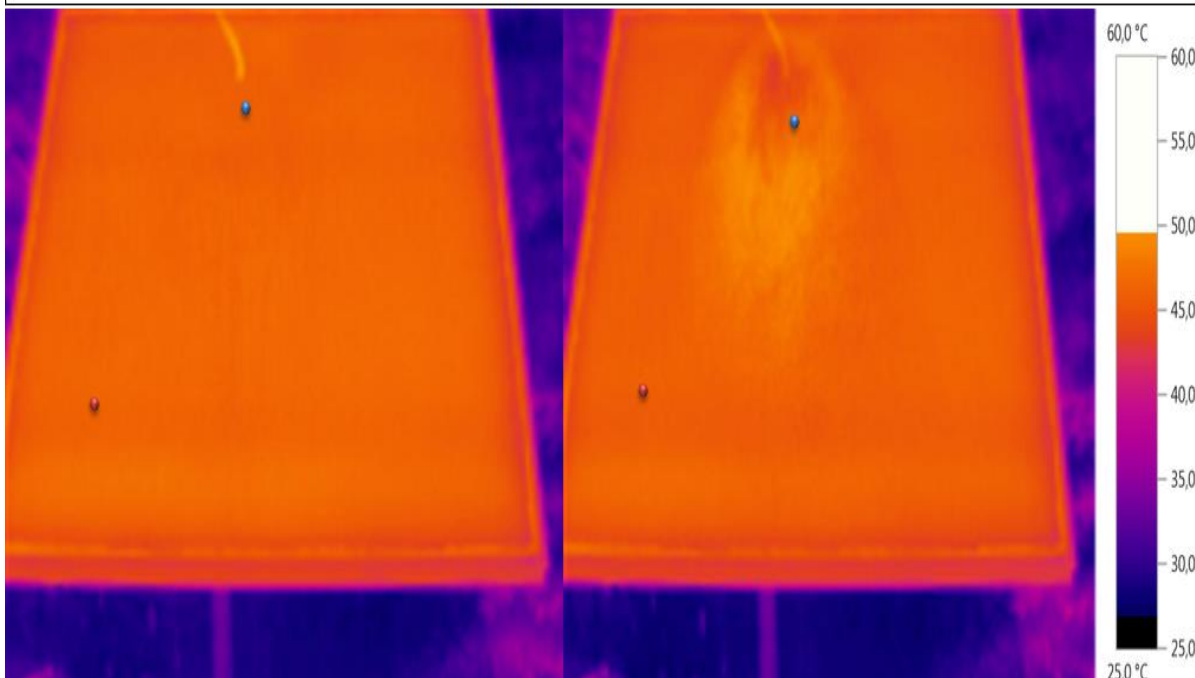
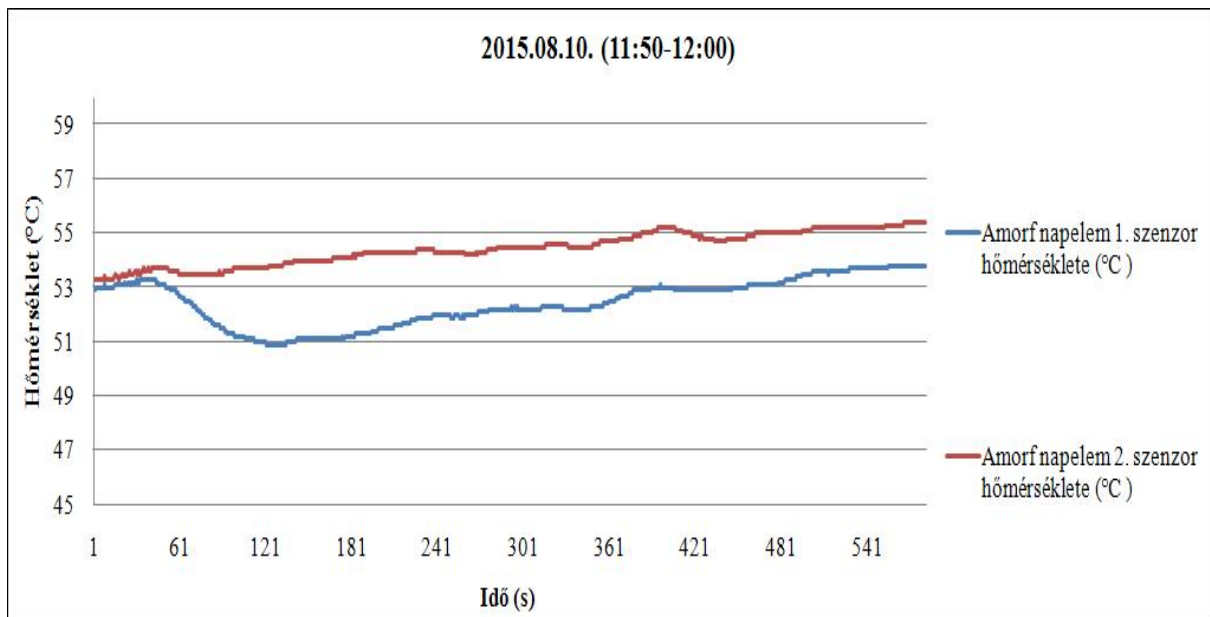
17. ábra. Monokristályos napelem hőmérsékletének változása és szórásképének jellemzője 1 fűtés során

(Forrás: saját szerkesztés, Zsiborács et al., 2016e alapján)



18. ábra. Polikristályos napelem hőmérsékletének változása és szórásképének jellemzője 1 fűtés során

(Forrás: saját szerkesztés, Zsiborács et al., 2016e alapján)



19. ábra. Amorf szilícium napelem hőmérsékletének változása és szórásképének jellemzője 1 fűjás során

(Forrás: saját szerkesztés, Zsiborács et al., 2016e alapján)

A vizsgálat jellemzőit és a hőáramsűrűségek arányait a 8. táblázat mutatja be. A permetezett víz hőmérlege ($-q_e + q_{s1} - q_c + q_v$) állandósult állapotra írható fel, viszont jelen esetben egy tranziens folyamatról van szó. A nem állandósult állapot miatt a maradék tag szükségzerű. A párolgás során az elpárolgó víz hőfoka változik, így a számításokhoz a kipermetezett víz hőmérsékletének, valamint a napelem permetezés előtti felületi hőmérsékletének az átlagát vettem figyelembe. A párolgás során fellépő hőáramsűrűség (q_e)

kivételével az összes többi q_x hőáramsűrűség kiszámításakor ugyanazt a felületnagyságot vettem figyelembe (amely a nedvesített felülettel azonos, miután a felhasznált összefüggések kizárólag m^2 -re vetített, fajlagos értékeket tartalmaznak), így a q_x -re kapott eredmények egymással összevethetők. A q_e -vel való összehasonlításhoz azokat is a nedvesített felületre kell vonatkoztatni (Zsiborács et al., 2016e).

A gyakorlati alkalmazást tekintve megállapítható, hogy több szórófej alkalmazása indokolt, mivel a napelemek szélét minimálisan (vagy egyáltalán nem) érte permet. Változásukat elsősorban a környezeti jellemzők (például a szél) megváltozása okozta (Zsiborács et al., 2016e).

8. táblázat. A hűtött napelemen lévő vízréteg hőáramsűrűségeinek számítása 1 fújás során
2015.08.10. (11:50-12:00)

| Napelem típusa | Monokristályos | Polikristályos | Amorf szilícium |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| A_{PV} , modul felülete (m^2) | 0,34 | 0,36 | 0,95 |
| $A_{v\acute{e}z}$, nedvesített felület (m^2) | 0,14 | 0,18 | 0,46 |
| $M_{v\acute{e}z}$, felületről elpárolgó víz mennyisége, (kg) | $6,19 \times 10^{-3}$ | $8,99 \times 10^{-3}$ | $7,66 \times 10^{-3}$ |
| Párolgási idő (s) | 466 | 486 | 372 |
| \mathcal{L} , párolgási hő, (J/kg) | 2 416 696 | 2 414 366,4 | 2 411 454,4 |
| q_e, párolgás során fellépő hőáramsűrűség (W/m^2) | 229,3 | 248,1 | 107,9 |
| a_{pv} , víz abszorpciós tényező (-) | 0,97 | | |
| I , átlagos napsugárzás intenzitás, (W/m^2) | 843,1 | 845,4 | 838,2 |
| q_{sl}, napsugárzás során fellépő hőáramsűrűség, (W/m^2) | 817,8 | 820 | 813,1 |
| $T_{v\acute{e}z}$, víz átlag hőmérséklet, (K) | 315,15 | 315,95 | 316,95 |
| T_k , átlagos külső levegő hőmérséklet, (K) | 305,55 | | |
| α_e , külső hőátadási tényező az üveg felületről a környezetbe, ($W/(m^2K)$) | 6,84 | | |
| v_0 , szélesség, (m/s) | 0,3 | | |
| q_{ev}, vízfelület és a levegő közötti konvektív hőáramsűrűség, (W/m^2) | 65,7 | 71,1 | 78 |
| α_i , külső hőátadási tényező a tedlar hátuljáról vagy az üveg hátuljáról a környezetbe, ($W/(m^2K)$) | 3,7 | | 6,84 |
| $1/\alpha_i$ (-) | 0,27 | | 0,15 |
| U , hőátbocsátási tényező a belső tér és a vízréteg között, (W/m^2K) | 3,6 | | 6,6 |
| q_v, víztükör alatti rétegből vezetéssel bejutó hőáramsűrűség, (W/m^2) | 34,5 | 37,4 | 74,7 |
| q, maradéktag (W/m^2) | 557,4 | 538,2 | 701,8 |

(Forrás: saját szerkesztés, Zsiborács et al., 2016e alapján)

4.3. Az amorf szilícium napelemek mérési vizsgálatainak eredményei

Az optimális elhelyezésű, tájolású és átlagos teljesítményű, hálózatra nem tápláló új és 11 éves amorf szilícium napelem modulok, valamint hálózatra tápláló modulsor esetében ezen pont eredményeivel igazoltam, hogy az 1 °C hőmérséklet csökkenés az energiatermelés hatékonyságában egységesen jelentkezik.

4.3.1. Új amorf szilícium napelem moduloknál jelentkező energiatöbblet

Az új amorf szilícium napelem modulok (hűtött és hűtetlen) energiatermelésében bekövetkező relatív változást 2015.08.07-én 13:00-17:40-ig terjedő időszakban hűtés nélkül vizsgáltam, másodpercenkénti adatrögzítéssel. Kétmintás *z-próba* segítségével igazoltam, hogy a napelemek azonosan viselkedtek (H_0), ($P= 0,634$) (Zsiborács et al., 2016b).

Az új napelem modulok vizsgálata során az időjárási körülményeknek megfelelően óránként 9:00 és 17:00 óra között vettem az adatokat, így összesen 21 mérés áll rendelkezésre erről a kísérletről. A permetezőrendszer használata során jelentkezett kiátlagolt mérési adatokat a 9. táblázat tartalmazza. Jól látható a szakaszos permetezés módszerrel az adott órában elért átlagos energiatöbblet és a hőmérséklet csökkenés. 9:00-17:00 óra között az energiahozam átlagosan 3,6%-al nőtt a kontroll napelem modulhoz képest. Az energiaváltozás a permetezett a-Si modul hőmérsékletének 1°C-os csökkenése esetén átlagosan 0,27% volt (Zsiborács et al., 2016b, d).

9. táblázat. Új napelem modulok jellemzői hűtés során augusztusban

| Idő intervalum | Átlagos besugárzás | Átlagos szélesség | Levegő hőmérséklet | Levegő nedves-ségtartalom | Permetezett napelem átlagos hőmérséklet csökkenése | Hűtés hatására megjelent átlagos energiatöbblet | Energiaváltozás a permetezett modul hőmérsékletének 1°C-os csökkenése esetén |
|----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|--|---|--|
| (h) | (W/m ²) | (m/s) | (°C) | % | (°C) | (%) | (%) |
| 9-10 | 455,45 | 0,2 | 28,0 | 38,0 | 7,3 | 2,6 | 0,36 |
| 10-11 | 679,3 | 0,2 | 27,2 | 37,0 | 12,7 | 4,0 | 0,31 |
| 11-12 | 771,5 | 0,1 | 30,5 | 37,0 | 13,5 | 3,4 | 0,25 |
| 12-13 | 904,8 | 0,3 | 29,0 | 37,0 | 14,4 | 4,1 | 0,28 |
| 13-14 | 925,7 | 0,4 | 32,9 | 35,8 | 17,4 | 4,8 | 0,28 |
| 14-15 | 928,5 | 0,2 | 32,6 | 36,4 | 15,1 | 3,3 | 0,22 |
| 15-16 | 816,3 | 0,0 | 29,4 | 37,8 | 15,1 | 3,6 | 0,24 |
| 16-17 | 641,8 | 0,5 | 28,3 | 37,5 | 12,4 | 3 | 0,24 |
| Átlag | | | | | | 3,6 | 0,27 |
| CV (%) | | | | | | 17,9 | 15,6 |

(Forrás: saját szerkesztés Zsiborács et al., 2016b alapján)

4.3.2. 11 éves amorf szilícium napelemeknél jelentkező energiatöbblet

A használt modulok mérésére 2015.08.26-án került sor 11:00 és 12:15 között.

A földre telepített 11 éves modulok vizsgálata során szintén az energiatermelésében bekövetkező relatív változást vizsgáltam hűtés nélkül az új kontroll napelemhez viszonyítva. Ebben az esetben a hűtés megvalósulása előtti 30 másodpercet vettem alapul az adott kísérlet előtt, mind a 6 napelemnél. Kétmintás *z-próba* segítségével igazoltam, hogy a napelemek energiatermelésében bekövetkező relatív változás megegyezik (H_0), ($P=0,759$) (Zsiborács et al., 2016b).

Az árasztásos módszer használata során jelentkezett kiátlagolt mérési adatokat a 10. táblázat tartalmazza. Ennél a vizsgálatnál az elérhető energiatöbbletet, a napelem hőmérséklet csökkenését valamint az energiaváltozás-hőmérséklet kapcsolatát határoztam meg. Látható, hogy átlagosan a mérés időtartama alatt (11:00 – 12:15) a 6 db modul átlagos energianövekedése 3,8%-al nagyobb a kontroll napelemhez képest. Az új moduloknál 3,6% energianövekedést tudtam kimutatni, viszont az energiaváltozás átlagosan a permetezett modul hőmérsékletének 1°C-os csökkenése esetén megegyezik (0,27%), így a hűtésre adott reakciójuk azonos 11 év után is (Zsiborács et al., 2016b).

10. táblázat, 11 éves napelem modulok jellemzői hűtés során, 2015.08.26. (11:00 - 12:15)

| Idő interval-lum | Átlagos besugár-zás | Átlagos szélse-besség | Levegő hőmér-séklet | Levegő nedves-ségtar-talom | Permetezett napelem átlagos hőmérséklet csökkenése | Hűtés hatására megjelent átlagos energia-többlet | Energiaváltozás a permetezett modul hőmérsékle-tének 1°C-os csökkenése esetén |
|------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|----------------------------|--|--|---|
| Modul | (W/m ²) | (m/s) | (°C) | % | (°C) | (%) | (%) |
| 1 | 748,2 | 0,6 | 24,7 | 35,8 | 14,8 | 4,5 | 0,30 |
| 2 | 767,7 | 0,5 | 25,5 | 36,0 | 14,1 | 3,4 | 0,24 |
| 3 | 787,7 | 0,5 | 25,8 | 35,4 | 15,0 | 3,4 | 0,23 |
| 4 | 816,3 | 0,3 | 26,6 | 35,0 | 12,5 | 4,0 | 0,32 |
| 5 | 830,5 | 0,5 | 26,5 | 34,7 | 16,8 | 3,5 | 0,21 |
| 6 | 844,1 | 0,5 | 26,2 | 35,5 | 14,3 | 4,3 | 0,30 |
| Átlag | | | | | | 3,8 | 0,27 |
| CV (%) | | | | | | 10,1 | 16,0 |

(Forrás: saját szerkesztés Zsiborács et al., 2016b alapján)

4.3.3. 11 éves amorf szilícium modulornál jelentkező energiatöbblet

A modulsor vizsgálatát 2015.08.26-án 13:00 és 14:00 óra között végeztem el. A kísérlet során csak a tetőn lévő 6 db napelemmel működött az inverter, a többi leválasztásra került. Így a hűtés hatására megjelent energiatöbbletet egyszerűbben ki tudtam mutatni. A vizsgálat során 3 ismétlés valósult meg, viszont az utolsó mérés nem megbízható a besugárzás változása miatt. Az alkalmazott inverter jellemzője, hogy állandóan keresi az optimális munkapontot, emiatt a kijelzett energiatermelés 2 másodpercenként változik. Ebből adódóan az első mérés során a hűtés előtti és vége előtti 1 perctet átlagoltam (Zsiborács et al., 2016b). Az első mérés időtartama 8 percig tartott, ez alatt 18,3 °C-os hőmérsékletcsökkenés mellett 5,2% energianövekedést sikerült kimutatni (11. táblázat). A második mérés során a hűtés előtti 30 másodpercet és a vége előtti 1 perctet átlagoltam, mivel felhősödés miatt enyhe zavaró hatás érvényesült a mérés 30-90 másodperce között. A második mérés időtartama 6 percig tartott, mivel a sugárzási intenzitásban a mérés vége felé ismét változás történt. Ez alatt 15,3 °C-os hőmérséklet csökkenés mellett 3,8% energianövekedést sikerült kimutatni (11. táblázat). Ebben az esetben is azt tapasztaltam, hogy az energiaváltozás a hűtött a-Si modul hőmérsékletének 1 °C-os csökkenése esetén átlagosan 0,27% volt (Zsiborács et al., 2016b).

Bizonyítottam, hogy optimális elhelyezésű, tájolású és átlagos teljesítményű, hálózatra nem tápláló új és 11 éves amorf szilícium napelem modulok, valamint hálózatra tápláló modulsor esetében, hogy 1 °C hőmérséklet csökkenés az energiatermelés hatékonyságában egységesen, átlagosan 0,27% növekedést eredményez (Zsiborács et al., 2016b, d). Ezek az eredmények Chandrasekar et al. (2015) adatait közelítik (0,21% / 1 °C), valamint Skoplaki-Palyvos (2009) adatait megerősítik (0,2-0,3% / 1 °C). Az adatok birtokában meghatározható nyári időszakra a ténylegesen nyerhető napi energia az a-Si napelemek esetében.

11. táblázat. 11 éves napelem modulok vizsgálata árasztási módszer segítségével

2015.08.26-án 13:00 és 14:00 óra között

| Modulsor mérések száma | Átlagos besugárzás | Átlagos szélső-besség | Levegő hőmérséklet | Levegő nedvesség-tartalom | Permetezett napelem átlagos hőmérséklet csökkenése | Hűtés hatására megjelent átlagos energia-többlet | Energiaátvitel a permetezett modul hőmérsékletének 1°C-os csökkenése esetén |
|------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|---------------------------|--|--|---|
| (db) | (W/m ²) | (m/s) | (°C) | % | (°C) | (%) | |
| 1 | 887,5 | 0,2 | 27,5 | 36,3 | 18,3 | 5,2 | 0,28 |
| 2 | 880,4 | 0,2 | 26,9 | 36,9 | 15,3 | 3,8 | 0,25 |
| Átlag | | | | | | | 0,27 |
| CV (%) | | | | | | | 6,7 |

(Forrás: saját szerkesztés Zsiborács et al., 2016b alapján)

4.3.4. A ténylegesen nyerhető napi energia nyári időszakban a-Si napelemek esetében

A kapott értékek kiértékeléséhez egy Balatonudvarin lévő amorf szilícium alapú napelemes rendszert (4,6 kW) használtam, mivel a keszthelyi mérőhelyen a kora reggeli és késő délutáni órákban előfordulnak árnyékos periódusok, ami torzítaná az eredményeket. Ez a napelemes rendszer a keszthelyi mérés helyszínétől 44,6 km-re található légvonalban. Azért esett erre a rendszerre a választás, mivel internetes távfelügyelettel rendelkezik, így az energiatermelési adatok könnyen elérhetők. Az átlagos napi hozam kiszámítására 3 ideális augusztusi napot választottam (2015.08.01,10,28). A rendszer 2010.11.28-án került beüzemelésre. A napelemes rendszer 2 ideális nyári nap 13:00 és 14:00 óra közötti időszakban 3,4 kW és 3,3 kW csúcsteljesítménnyel üzemelt. Ez azt jelenti, hogy az elméletileg lehetséges maximumhoz képest az inverter kapacitása 71,7 és 73,9%-a közötti kihasználtsággal működött, így az nem volt teljesen kihasználva, ami lehetőséget teremt a napelemes rendszer hűtés általi energianövelésére (SMA Solar Technology AG, 2015e; Zsiborács et al., 2016b).

9-17 óráig a hűtött új napelem modulok átlagos energianövekedése 3,6% a kontroll modulhoz képest. 1 db modul hűtése 2015.08.08-án 9:00-17:00 óra között 4,2 l víz igénybevétele mellett 1,75 Wh energia került felhasználásra a szivattyú működése által. A 12. táblázat elkészítéséhez órás bontásban állt rendelkezésre valós energiatermelési adatsor. Ezen információk alapján az adott napokra, valamint 9:00-17:00 óra közötti időtartamra is meghatároztam a rendszer energiatermelését. Megállapítottam a hűtési módszer sajátosságai miatt, hogy a napi szinten átlagosan megtermelt energia 6,5%-a nem hasznosítható hűtésre. Emiatt a hűtés tényleges jelentősége az energiatermelés vonatkozásában 3,6%-ról 3,4%-ra csökkent napi szinten. Amennyiben a szivattyú működtetéséhez szükséges 1,75 Wh energiát

is beleszámítom a napi többlet energiatermelésbe, úgy a valódi energianyereség 2,7%-ra csökken (12. táblázat) (Zsiborács et al., 2016b).

12. táblázat, Balatonudvari 4,6 kW napelemes rendszer napi energiatermelési adatai

| Idő intervallum | Napi energia-termelés (7-20) | Hűtési idő alatt termelt energia (9-17) | Hűtési idő alatt megjelent 3,6%-os energia-többlet (9-17) | Összes energia-termelés hűtéssel együtt | Energia-többlet a hűtési idő alatt | Ennyit energiát nem tudunk használni hűtésre egy nap | Tényleges energia-többlet napi szinten | Valódi energia-többlet napi szinten |
|-----------------|------------------------------|---|---|---|------------------------------------|--|--|-------------------------------------|
| (Nap) | (kWh) | (kWh) | (kWh) | (kWh) | (kWh) | (%) | (%) | (%) |
| 2015.08.01 | 25,0 | 23,3 | 24,2 | 25,9 | 0,8 | 7,3 | 3,4 | 2,7 |
| 2015.08.10 | 23,1 | 21,5 | 22,3 | 23,9 | 0,8 | 7,3 | 3,4 | |
| 2015.08.28 | 23,5 | 22,4 | 23,2 | 24,3 | 0,8 | 4,9 | 3,4 | |

(Forrás: saját szerkesztés Zsiborács et al., 2016b alapján)

4.4. A kristályos napelem modulok vizsgálat eredményei

Ezen pont eredményeivel bemutatom, hogy a hűtött, optimális elhelyezésű, tájolású és átlagos teljesítményű mono- és polikristályos modulok 1 °C-os hőmérsékletcsökkenés energiahozam növelő hatását, a p-Si napelemek esetében ténylegesen nyerhető napi, havi és éves, nemzetközi viszonyokra is értelmezhető energianyereséget. Ezen felül az általam kidolgozott hűtetlen és vízpermetezéssel technológiával hűtött napelemes rendszerek gazdasági értékelését ismertetem.

4.4.1. A kristályos napelemeknél jelentkező energiatöbblet

A napelemek azonos típusúak és teljesítményűek a gyártó által megadott adatok alapján. A kristályos, hűtött és hűtetlen modulok energiatermelésében bekövetkező relatív változást vizsgáltam hűtés nélkül 2015.06.11-én 13:00-17:20-ig terjedő időszakban, Az adatok rögzítése másodpercenként történt. Kétmintás *z-próba* segítségével igazoltam, hogy a napelemek azonosan viselkedtek (H_0) ($P=0,767$, valamint $P=0,772$) (Zsiborács et al., 2016a).

A permetezőrendszer használata során jelentkezett kiátlagolt mérési adatokat a 13-14. táblázatok tartalmazzák. Az említett táblázatok jól szemléltetik a szakaszos permetezés módszerrel az adott órában elért energiatöbbletet és hőmérséklet csökkenést nyári időszakban (Zsiborács et al., 2016a, c).

13. táblázat. Monokristályos napelem modul jellemzői hűtés során nyári időszakban

| Idő intervalum | Átlagos besugárzás | Átlagos szélesség | Levegő hőmérséklet | Levegő nedvességtartalom | Permetezett napelem átlagos hőmérséklet csökkenése | Hűtés hatására megjelent átlagos energia-többlet | | Energiaváltozás a permetezett modul hőmérsékletének 1 °C-os csökkenése esetén |
|----------------|---------------------|-------------------|--------------------|--------------------------|--|--|------|---|
| | | | | | | (%) | CV% | |
| (h) | (W/m ²) | (m/s) | (°C) | % | (°C) | (%) | CV% | (%) |
| 9-10 | 437,3 | 0,1 | 27,5 | 36,8 | 4,6 | 3 | 19,7 | 0,7 |
| 10-11 | 579,3 | 0,1 | 27,9 | 37,9 | 7,5 | 3,5 | 17,7 | 0,5 |
| 11-12 | 780,3 | 0,2 | 30,4 | 36,3 | 11,9 | 6,8 | 13,2 | 0,6 |
| 12-13 | 894,2 | 0,3 | 30,1 | 36 | 14 | 7,3 | 16,6 | 0,5 |
| 13-14 | 959,5 | 0,3 | 33,4 | 33,2 | 13,9 | 8 | 17,3 | 0,6 |
| 14-15 | 919,1 | 0,2 | 35,1 | 32,4 | 15,3 | 8,5 | 17,5 | 0,6 |
| 15-16 | 833,5 | 0,2 | 35,2 | 31,8 | 16,3 | 8,8 | 15 | 0,5 |
| 16-17 | 672 | 0,1 | 34,3 | 34,7 | 13,2 | 6,7 | 17,1 | 0,5 |
| 17-18 | 509,1 | 0,2 | 30,9 | 34,1 | 12,1 | 5,4 | 19,4 | 0,4 |
| Átlag | | | | | | | | 0,5 |
| CV (%) | | | | | | | | 10,8 |

(Forrás: saját szerkesztés Zsiborács et al., 2016a, c alapján)

14. táblázat. Polikristályos napelem modul jellemzői hűtés során nyári időszakban

| Idő intervalum | Átlagos besugárzás | Átlagos szélesség | Levegő hőmérséklet | Levegő nedvességtartalom | Permetezett napelem átlagos hőmérséklet csökkenése | Hűtés hatására megjelent átlagos energia-többlet | | Energiaváltozás a permetezett modul hőmérsékletének 1 °C-os csökkenése esetén |
|----------------|---------------------|-------------------|--------------------|--------------------------|--|--|------|---|
| | | | | | | (%) | CV% | |
| (h) | (W/m ²) | (m/s) | (°C) | % | (°C) | (%) | CV% | (%) |
| 9-10 | 422,5 | 0,2 | 28,1 | 38,6 | 6,2 | 4,2 | 10,6 | 10,6 |
| 10-11 | 560 | 0,1 | 27,4 | 39 | 7,8 | 4,3 | 18 | 18 |
| 11-12 | 777,3 | 0,5 | 31,3 | 36,6 | 13,8 | 7,3 | 16 | 16 |
| 12-13 | 888,8 | 0,3 | 31,2 | 35,7 | 16,3 | 7,8 | 18,9 | 18,9 |
| 13-14 | 951 | 0,3 | 32,1 | 33,9 | 17,6 | 9,4 | 15,4 | 15,4 |
| 14-15 | 922,9 | 0,2 | 34,7 | 33,2 | 19,5 | 7,7 | 19,8 | 19,8 |
| 15-16 | 836,6 | 0,2 | 34,3 | 33 | 18,2 | 8,3 | 18,5 | 18,5 |
| 16-17 | 682,4 | 0,2 | 34,7 | 33 | 17,6 | 7,4 | 19,2 | 19,2 |
| 17-18 | 517,4 | 0,1 | 31,3 | 35,8 | 14,4 | 7,2 | 16,5 | 16,5 |
| Átlag | | | | | | | | 0,5 |
| CV (%) | | | | | | | | 15,6 |

(Forrás: saját szerkesztés Zsiborács et al., 2016a, c alapján)

A hűtés hatására megjelent energiatöbblet nyáron és ősszel illetve nyáron és tavasszal is szignifikánsan hasonló értéket mutatott a mérési időszakban, melyet kétmintás *t*-próbával igazoltam. A nyár-ősz vonatkozásában a monokristályos napelem $p=0,169$, míg a polikristályos napelem esetében $p=0,722$ értékeket kapunk. Ezen értékek a nyár-tavasz esetében a monokristályos napelemnél $p=0,549$, míg a polikristályos napelemnél $p=0,547$ voltak. Emiatt a magyarországi nyári mérések esetében kapott eredmények önmagukban is

alkalmasak voltak a hűtőrendszer becsült működési időszakainak az elemzéseikhez (Zsiborács et al., 2016a, c).

Méréseim azt mutatták a monokristályos és a polikristályos napelemek esetében, hogy az energiaváltozás átlagosan a permetezett modul hőmérsékletének 1°C-os csökkenése esetén átlagosan 0,5%. (Zsiborács et al., 2016a, c). Vizsgálataim Radziemska-Klugmann (2002), Chandrasekar et al. (2015), valamint Skoplaki-Palyvos (2008) adatait megerősíti, mivel a monokristályos és a polikristályos napelemek esetében is átlagosan 0,5% energiahozam javulást tudtam kimutatni a permetezett modul 1 °C hőmérsékletcsökkenése esetén. Odehand és Behina (2009) mérései átlagosan 0,22%, míg Abdolzadeh és Ameri (2009) eredményei átlagosan 0,74% energiahozam javulást mutattak a permetezett modul 1 °C-os hőmérsékletcsökkenése során

4.4.2. A ténylegesen nyerhető energia éves időszakban p-Si napelemek esetében

A magyarországi és nemzetközi összehasonlításaim során, a Magyarországon lévő, hűtött polikristályos napelemnél alkalmazott vízszabályozási beállításokat (3.1. pont és a 3.2.3. pont, a vízkő kezelésének módja című pontja) és vízfogyasztási jellemzőket (4.1.3. pont), valamint az adott időszakban elért átlagos hőmérsékletcsökkenést és szélsőséget feltételeztem (4.4.1. pont, 14. táblázat). A meghatározott energiatöbblet értékek (14. táblázat) rendszerszintű kiértékeléséhez az adott városban lévő napelemes rendszert használtam, így meghatározásra kerültek az átlagos napi többlet energiahozamok (minden ideális hónap 3 napja által, amikor a napi villamosenergia-termelési terület közel vagy teljesen harang alakú). Az említett módszer és a hozzá kapcsolódó logikai felépítés a 4.3.4. pontban került bemutatásra (Zsiborács et al., 2016a, c).

Az eltérő földrajzi elhelyezkedések miatt a Photovoltaic Geographical Information System (2016), a WeatherSpark időjárás modellező rendszer és az adott városban lévő napelemes rendszer napi villamosenergia-termelési görbéjének lefutásából korrigálásra került a hűtőrendszer ideális üzemelési időszaka (3.2.2. pont, 5. táblázat). A hűtés hatékonyságát a környezeti tényezők befolyásolják, amelyet a 13. és 14. táblázatokban közölt eredmények igazolnak. A sugárzási intenzitás változása szoros kapcsolatban van a hőmérsékletváltozással. A szél hatása a modulok hőmérséklet csökkenésében, így az energiahozam változásában és a kipermetezett víz mennyiségében is jelentkezik, emiatt a 14. táblázatban látható átlag értékekkel számoltam. A napelem modulokra gyakorolt komplex környezeti tényezők

módosító hatásait a hőtechnikai folyamatok összefüggéseinek feltárását leíró egyenletek részletezik a 2.5. pontban (Zsiborács et al., 2016a).

A kísérlethez használt házi vízmű 1 db modul hűtéséhez 2015.07.07-én ~9:00-18:00 óra között (9 órás hűtés esetén) 3 l víz igénybevétele mellett 1,25 Wh energiát használt fel. A mért vízfelhasználási értékekből adódóan (időszakosan korrigálva) 8 órás hűtés esetén 1,21 Wh, 7 óra során 1,08 Wh, míg 6 óra esetén 0,96 Wh energia felhasználást becsültem. Amennyiben a szivattyú működtetéséhez szükséges energiát is beleszámítjuk a napi többlet energiatermelésbe és éves szinten figyelembe vesszük az ideális napokat (3.2.2. pont, 5. táblázat), úgy a valódi éves energianyereség Magyarország (Keszthely és Siófok) esetében 2,2%, Horvátország (Šibenik) esetében 3,3%, Spanyolország (Murcia) esetében 3,8%, Ausztrália (Broome) esetében 6%, USA (San-Diego) esetében 3,3%, míg USA (Miami) esetében 5,6% számításaim alapján (15. táblázat) (Zsiborács et al., 2016a).

15. táblázat: A permetező hűtőrendszer segítségével nyerhető energiaváltozása a vizsgált országok esetében

| Megnevezés | HU | | | HR | | | E | | | AUS | | USA | | | | | | |
|---------------------------------|------------|-----|-----|---------|-----|-----|--------|-----|-----|--------|-----|-----------|-----|-----|-------|-----|-----|-----|
| | Siófok | | | Šibenik | | | Murcia | | | Broome | | San-Diego | | | Miami | | | |
| Energianyereség változása | 1*, 2*, 3* | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Január (%) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | 5,1 | - | - | - | 6,9 | 6,5 | 4,4 |
| Február (%) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | 5,7 | - | - | - | | | 5,8 |
| Március (%) | - | - | - | - | - | - | 6,1 | 5,7 | 2 | 7,0 | 6,6 | 5,5 | - | - | - | 7,0 | 6,6 | 5,7 |
| Április (%) | - | - | - | 6,1 | 5,7 | 1,3 | | | 4,2 | | | 5,7 | | | 1,5 | | | 5,7 |
| Május (%) | 5,8 | 5,4 | 3,2 | | | 4,4 | | | 5,5 | | | 5,9 | 6,7 | 6,3 | 4,8 | | | 5,1 |
| Június (%) | | | 4,6 | | | 5,7 | | | 6,1 | | | 5,7 | | | 5,0 | | | 4,9 |
| Július (%) | 6,1 | 5,7 | 4,2 | 6,7 | 6,3 | 5,9 | 6,7 | 6,3 | 6,1 | 6,8 | 6,4 | 6,2 | | | 5,5 | 6,8 | 6,4 | 3,9 |
| Augusztus (%) | | | 4,2 | | | 5,9 | | | 6,1 | | | 6,4 | 6,9 | 6,5 | 6,1 | | | 5,4 |
| Szeptember (%) | 5,5 | 5,2 | 2,9 | | | 4,8 | | | 4,8 | | | 6,6 | | | 6,1 | | | 4,7 |
| Október (%) | - | - | - | 7,2 | 6,8 | 4,3 | 6,5 | 6,1 | 4,7 | 7,0 | 6,6 | 6,2 | 6,7 | 6,3 | 5,0 | 7,0 | 6,6 | 4,8 |
| November (%) | - | - | - | - | - | - | | | 1,8 | | | 6,4 | 6,8 | 6,4 | 3,6 | 6,9 | 6,5 | 8,1 |
| December (%) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | 6,2 | - | - | - | | | 8,3 |
| Éves valódi energianyereség (%) | 2,2 | | | 3,3 | | | 3,8 | | | 6 | | 3,3 | | | 5,6 | | | |

(Forrás: saját szerkesztés)

1*: Adott hónap ideális napján elérhető átlagos napi energianyereség a vízvételzés energiaigénye nélkül

2*: Adott hónap ideális napján elérhető átlagos napi energianyereség a vízvételzés energiaigényével korrigálva

3*: Adott hónapban elérhető valós energianyereség, amely a vízvételzés energiaigényével és az éves szinten figyelembe vehető ideális napokkal korrigál

4.5. Hűtetlen és vízpermetezéssel hűtött napelemes rendszerek gazdasági értékelése

Ebben a pontban bemutatom a magyarországi és nemzetközi viszonyokra kiértékelt hűtetlen és permetezéssel hűtött napelemes rendszerek gazdasági eredményeit. A magyarországi viszonyokra több vízvételési megoldás alkalmazásának a lehetőségét is megvizsgáltam. A nemzetközi viszonyokra a leggazdaságosabb hűtési módszer került gazdasági kiértékelésre.

4.5.1. A hűtési technológiával elérhető gazdasági eredmények Magyarországon

5 kW hűtetlen napelemes rendszer gazdasági jellemzői

Vizsgálatomban a napelemes rendszerek hűtését 5 kW névleges teljesítményű, tetőre szerelt háztartási méretű kiserőműre (HMKE) vetítettem ki E.ON szolgáltatási területen. A napelemek hűtésének gazdasági elemzéséhez meghatároztam referenciaként az 5 kW rendszerek beruházás hatékonysági mutatóit, mivel ezekre kerülne telepítésre a hűtőrendszer. A napelemes rendszer telepítéséhez szükséges költségeket a 16. táblázat tartalmazza. A 19. táblázat a hűtés nélküli napelemes rendszerek dinamikus beruházás hatékonysági mutatóinak vizsgálatát mutatja be (Zsiborács et al., 2016c)

16. táblázat. A telepítés, valamint a szükséges anyagok és eszközök beruházásának jellemzői 5kW napelemes rendszer esetében

| Ország | Magyarország |
|---|--------------------------------|
| Napelemes rendszer nagysága | 5 kW |
| Szükséges eszközök, anyagok hűtetlen rendszer esetében | 250 W napelem |
| | 5 kW inverter |
| | Szerelő keret ferde tetőre |
| | Bekötő vezeték-csatlakozókkal |
| | Kiegészítő villamos szerelvény |
| Telepítést és szállítási költség | |
| Összesen nettó (EUR) | 5 619 |
| Összesen bruttó (EUR) | 7 136 |

(Forrás: saját szerkesztés, Euronorm Group Hungary Kft., 2015, Zsiborács et al., 2016c alapján)

A 17. táblázat alapján elmondható, hogy egy HMKE az alkalmazott módszer alapján 12,2 év alatt térülne meg a lakosság esetében az alkalmazott kamatszint és a villamos energia

díjmegtakarítás által. Vállalkozások esetében ez 8,9 év, ami 3,3 évvel kedvezőbb a lakossághoz képest. Ez a magasabb villamos energia árakból adódó nagyobb megtakarítással magyarázható (Zsiborács et al., 2016c).

17. táblázat. Hűtés nélküli napelemes rendszerek dinamikus beruházás hatékonysági mutatóinak vizsgálata tetőre telepített 5 kW rendszer esetében

| Megnevezés | Lakosság 5 kW | Vállalkozás 5 kW |
|--|---------------|------------------|
| Hasznos élettartam, év | 15 | |
| Figyelembe vett kamatszint ¹ (r) (%) | 3,88 | |
| Fenntartási költség összesen változatlan áron (EUR) | 0 | |
| Éves fedezeti hozzájárulások jelenértékeinek az összege (<i>dinamikusan</i>) (EUR) | 8 755 | 9 487 |
| Beruházási költség ² (EUR) | 7 136 | 5 619 |
| Nettó jelenérték (NPV) (EUR) | 1 620 | 3 869 |
| Belső megtérülési ráta (IRR), (%) | 6,8 | 12,2 |
| Jövedelmezőségi index (PI) | 1,23 | 1,69 |
| Diszkontált megtérülési idő, (év) | 12,2 | 8,9 |

(Forrás: saját szerkesztés, Zsiborács et al., 2016c alapján)

1:Fusion Media Limited., 2016c, 2016.01.15.

2:Euronorm Group Hungary Kft., 2016

5 kW hűtött napelemes rendszer gazdasági jellemzői

A vízfogyasztás meghatározása (4.1.3. pont), a szórófejek számának meghatározása a kristályos napelemekhez (4.1.2. pont), valamint a ténylegesen nyerhető energia éves időszakban p-Si napelemek esetében (4.4.2. pont) című pontban közölt összefüggések segítik a vizsgált vízvételési megoldások számításait.

Ebben a pontban több vízvételési megoldás gazdaságosságát vizsgáltam meg:

- Hűtés megvalósítása esővízzel:

Az alábbi megoldásnál a következő feltételezésekkel éltem: Esővíz használata esetén az épület tetejéről, az ereszcatorna segítségével gyűjtésre kerül a víz tároló tartályokba, valamint esik annyi eső, hogy a víztárolóban mindig elegendő vízmennyiség (legalább 180 l / nap) legyen (4.1.3. pont), ami 6 db fekete IBC tárolótartály alkalmazását teszi szükségessé 5 kW rendszer esetében. 1 db IBC tartály 1000 l víz tárolását teszi lehetővé. A fekete szín az algásodás elleni védelem szempontjából fontos. Az algásodás ellen klórmentes

fertőtlenítőszer használatát is feltételeztem. Az esővíz vízkövet nem tartalmaz, így ez ellen nem kell védekezni, de a gyűjtött esővizet ajánlatos megszütni a hordozott szennyeződésektől.

A szükséges anyagokat és eszközöket a 18. táblázat tartalmazza. A 19. táblázat az esővízzel hűtött napelemes rendszerek dinamikus beruházás hatékonysági mutatóinak vizsgálatát mutatja be. Megállapítható, hogy amennyibe egy HMKE rendszerhez esővízzel üzemelő permetező rendszer települ, úgy lakosság esetében 14,6 év, míg vállalkozások esetében 10,5 év alatt térülne meg, mivel a permetezéshez szükséges hűtési mód kiépítése jelentős befektetéssel jár (Zsiborács et al., 2016c).

18. táblázat. A telepítés, valamint a szükséges anyagok és eszközök beruházásának jellemzői esővízhűtés esetén

| Ország | Magyarország |
|--|---|
| Napelemes rendszer nagysága | 5 kW |
| Szükséges kiegészítő anyagok és eszközök esővízhűtés esetén | IBC tartályok |
| | Ipari mágnesszelep |
| | Csőrendszer összekötő elemekkel |
| | Permetező szórófejek |
| | Házi vízmű |
| | Vízszűrő |
| | Tágulási tartály |
| | Intelligens digitális termosztát hőmérséklet szenzorral |
| | Telepítés, kiszállás |
| Összesen nettó (EUR) | 990,7 |
| Összesen bruttó (EUR) | 1 285 |

(Forrás: saját szerkesztés, Euronorm Group Hungary Kft., 2015; Zsiborács et al., 2016c alapján)

19. táblázat. Napelemes rendszerek dinamikus beruházás hatékonysági mutatóinak vizsgálata tetőre telepített 5kW rendszer esetében, esővízhűtés esetén

| Megnevezés | Lakosság 5 kW | Vállalkozás 5 kW |
|--|---------------|------------------|
| Hasznos élettartam, év | 15 | |
| Figyelembe vett kamatszint ¹ (r) (%) | 3,88 | |
| Fenntartási költség összesen változatlan áron (EUR) | 476 | 347 |
| Éves fedezeti hozzájárulások jelenértékeinek az összege (<i>dinamikusan</i>) (EUR) | 8 603 | 9 434 |
| Beruházási költség ² (EUR) | 8 394 | 6 610 |
| Nettó jelenérték (NPV) (EUR) | 208 | 2 824 |
| Belső megtérülési ráta (IRR), (%) | 4,22 | 9,24 |
| Jövedelmezőségi index (PI) | 1,03 | 1,43 |
| Diszkontált megtérülési idő, (év) | 14,6 | 10,5 |

(Forrás: saját szerkesztés, Zsiborács et al., 2016c alapján)

1: Fusion Media Limited., 2016c, 2016.01.15.

2: Euronorm Group Hungary Kft., 2016

- Hűtés megvalósítása ásott kút segítségével:

Napelemes rendszer kúttal történő hűtése esetén felmerül az a kérdés, hogy az ásott vagy a fűrt kút-e a célszerűbb? Erre nincs egyértelmű válasz, mivel ez leginkább attól függ, hogy milyen a terület adottsága vízgazdálkodási szempontból. Amennyiben viszonylag magasan van a talajvíz, ami állandóan pótlódik, akkor az ásott kútat célszerű választani, ha ez a helyzet nem áll fent, akkor a fűrt kút alkalmazása indokolt. A vízgazdálkodási hatósági jogkör gyakorlásáról szóló 72/1996. (V. 22.) Korm. rendelet 24. § (1) a. pontja alapján olyan ásott, vagy fűrt kút létesítéséhez, használatbavételéhez és megszüntetéséhez, amely a létesítő házi vízigényének 500 m³/év mennyiségig terjedő kielégítését szolgálja, valamint - parti szűrésű és a karszt- vagy rétegvízkészlet igénybevétele, érintése nélkül - kizárólag a talajvíz felhasználásával működik, a települési önkormányzat jegyzőjének hatósági engedélye szükséges (Győr-Moson-Sopron Megyei Kormányhivatal, 2015) Vizsgálataim során ásott kút alkalmazásával számoltam, elegendő vízutánpótlást feltételezve. Az alkalmazott megoldásnál a vízkő ellen védekezni kell a 3.2.3. pont, a vízkő kezelésének módja című pontjának megfelelően (Zsiborács et al., 2016a, c).

Jelen számításnál két feltételezéssel éltem:

- 1, nem áll rendelkezésre kút,
- 2, rendelkezésre áll kút.

Amennyiben indokolt kiépíteni az ásott kutat, úgy a szükséges anyagokat és eszközöket a 20. táblázat tartalmazza. A 21. táblázat az ásott kút segítségével hűtött napelemes rendszerek dinamikus beruházás hatékonysági mutatóinak vizsgálatát mutatja be. Amennyiben egy HMKE rendszerhez külön ásott kutat létesítünk a hatásfoknövelés érdekében, úgy a rendszer a lakosság esetében nem térül meg 15 év alatt (16,6 év) viszont a vállalkozások esetében 11,8 év alatt térülne meg. A permetezéshez szükséges hűtési mód kiépítése ebben az esetben igényli a legnagyobb befektetést. Ezen felül a fordított ozmózis víztisztító esetében évenként számolni kell a szűrők cseréjével (Zsiborács et al., 2016c).

20. táblázat. Permetezett napelemes rendszerekhez szükséges anyagok és eszközök ásott kút létesítése esetén

| Ország | Magyarország |
|---|---|
| Napelemes rendszer nagysága | 5 kW |
| Szükséges kiegészítő anyagok és eszközök ásott kút létesítése esetén | Ásott kút létesítése, telepítés, kitermelt föld elszállítása, kiszállás |
| | Fordított ozmózis víztisztító |
| | Ipari mágnesselepe |
| | Csőrendszer összekötő elemekkel |
| | Permetező szórófejek |
| | Házi vízmű |
| | Vízszűrő |
| | Tárgulási tartály |
| Intelligens digitális termosztát hőmérséklet szenzorral | |
| Összesen nettó (EUR) | 1 582 |
| Összesen bruttó (EUR) | 2 009 |

(Forrás: saját szerkesztés, Euronorm Group Hungary Kft., 2015; Zsiborács et al., 2016c alapján)

21. táblázat. Napelemes rendszerek dinamikus beruházás hatékonysági mutatóinak vizsgálata tetőre telepített 5 kW rendszer esetében, ásott kút alkalmazása esetén

| Megnevezés | Lakosság 5 kW | Vállalkozás 5 kW |
|--|---------------|------------------|
| Hasznos élettartam, év | 15 | |
| Figyelembe vett kamatszint ¹ (r) (%) | 3,88 | |
| Fenntartási költség összesen változatlan áron (EUR) | 952 | 686 |
| Éves fedezeti hozzájárulások jelenértékeinek az összege (<i>dinamikusan</i>) (EUR) | 8 247 | 9 174 |
| Beruházási költség ² (EUR) | 9 146 | 7 201 |
| Nettó jelenérték (NPV) (EUR) | -899 | 1 973 |
| Belső megtérülési ráta (IRR), (%) | 2,49 | 7,42 |
| Jövedelmezőségi index (PI) | 0,90 | 1,27 |
| Diszkontált megtérülési idő, (év) | 16,6 | 11,8 |

(Forrás: saját szerkesztés, Zsiborács et al., 2016c alapján)

1: Fusion Media Limited., 2016c, 2016.01.15.

2: Euronorm Group Hungary Kft., 2016

Meglévő kút esetén a szükséges anyagokat és eszközöket a 22. táblázat tartalmazza. Meglévő kút esetén érjük el a permetezési megoldások közül a legkedvezőbb megtérülési időt, ami 14,6 év a lakosság esetében, míg a vállalkozásoknál 10,3 év (23. táblázat). Ebben az esetben nem szükséges a kutat létrehozni, hanem csak a permetezéshez szükséges hűtési mód kiépítése jár költségekkel. Szintén számolni kell évente a fordított ozmózis víztisztító szűrők cseréjével (Zsiborács et al., 2016c).

22. táblázat. Permetezett napelemes rendszerekhez szükséges anyagok és eszközök meglévő ásott kút alkalmazása esetén

| Ország | Magyarország |
|---|--|
| Napelemes rendszer nagysága | 5 kW |
| Szükséges kiegészítő anyagok és eszközök ásott kút megléte esetén | Fordított ozmózis víztisztító |
| | Ipari mágnesszelep |
| | Csőrendszer összekötő elemekkel |
| | Permetező szórófejek |
| | Házi vízmű |
| | Vízszűrő |
| | Táglási tartály |
| | Intelligens digitális termosztát hőmérséklet szenzorral kiszállás |
| Összesen nettó (EUR) | 688 |
| Összesen bruttó (EUR) | 874 |

(Forrás: saját szerkesztés, Euronorm Group Hungary Kft., 2015; Zsiborács et al., 2016c alapján)

23. táblázat. Napelemes rendszerek dinamikus beruházás hatékonysági mutatóinak vizsgálata tetőre telepített 5 kW rendszer esetében, meglévő ázott kút alkalmazása esetén

| Megnevezés | Lakosság 5 kW | Vállalkozás 5 kW |
|--|---------------|------------------|
| Hasznos élettartam, év | 15 | |
| Figyelembe vett kamatszint ¹ (r) (%) | 3,88 | |
| Fenntartási költség összesen változatlan áron (EUR) | 952 | 686 |
| Éves fedezeti hozzájárulások jelenértékeinek az összege (<i>dinamikus</i>) (EUR) | 8 247 | 9 174 |
| Beruházási költség ² (EUR) | 8 038 | 6 307 |
| Nettó jelenérték (NPV) (EUR) | 237 | 2 867 |
| Belső megtérülési ráta (IRR), (%) | 4,28 | 9,55 |
| Jövedelmezőségi index (PI) | 1,03 | 1,45 |
| Diszkontált megtérülési idő, (év) | 14,6 | 10,3 |

(Forrás: saját szerkesztés, Zsiborács et al., 2016c alapján)

1: Fusion Media Limited., 2016c, 2016.01.15.

2: Euronorm Group Hungary Kft., 2016

- Hűtés megvalósítása vezetékes ivóvíz hálózaton keresztül:

Vezetékes ivóvízhálózat esetén locsolási célú víz használatát alkalmaztam, emiatt a jelentős beruházást igénylő műszaki berendezések elhagyhatók az előző megoldásokhoz képest, úgy, mint a házi vízmű és víztároló tartályok. Ezen felül ázott kút létesítésére sincs szükség. Az alkalmazott megoldásnál szintén védekezni szükséges a vízkő ellen fordított ozmózis víztisztító segítségével. A permetező szórófejeknél szükséges nyomás biztosításában ebben az esetben is a 3.2.3 pont, a vízkő kezelésének módja című pontjának megfelelően jártam el. Vezetékes ivóvízhálózat esetén elkülönített, locsolási célú vízmérőt kell létesíteni, amit tervengedélyeztetni szükséges (Dunántúli Regionális Vízmű Zrt., 2013). Az ivóvíz-szolgáltatás díja bruttó 453,77 Ft vízdíj + 297,18 Ft alapidíj (Dunántúli Regionális Vízmű Zrt., 2017).

A szükséges anyagokat és eszközöket a 24. táblázat tartalmazza. A 25. táblázat a vezetékes ivóvízhálózat segítségével hűtött napelemes rendszerek dinamikus beruházás hatékonysági mutatóinak vizsgálatát mutatja be. Locsolási célú vezetékes ivóvíz használata során a megtérülési idő lakosság esetében 15 év, míg vállalkozások esetében 10,5 év. Ebben az esetben a víz keménysége miatt ismét számolni kell évente a fordított ozmózis víztisztító szűrők cseréjével, valamint a vízdíjjal is (Zsiborács et al., 2016c).

24. táblázat. Permetezett napelemes rendszerekhez szükséges anyagok, eszközök és engedélyek vezetékes ivóvízhálózat alkalmazása esetén

| Ország | Magyarország |
|---|---|
| Napelemes rendszer nagysága | 5 kW |
| Szükséges kiegészítő anyagok és eszközök ásott kút megléte esetén | Fordított ozmózis víztisztító |
| | Ipari mágnesszelep |
| | Csőrendszer összekötő elemekkel |
| | Permetező szórófejek |
| | DRV tervengedélyezés, kiépítés, locsolómérő átvétel |
| | Tágulási tartály |
| | Vízszűrő |
| | Intelligens digitális termosztát hőmérséklet szenzorral |
| Telepítés, kiszállás | |
| Összesen nettó (EUR) | 705 |
| Összesen bruttó (EUR) | 896 |

(Forrás: saját szerkesztés, Euronorm Group Hungary Kft., 2015; Zsiborács et al., 2016c alapján)

25. táblázat. Napelemes rendszerek dinamikus beruházás hatékonysági mutatóinak vizsgálata tetőre telepített 5 rendszer esetében, vezetékes ivóvízhálózat alkalmazása esetén

| Megnevezés | Lakosság 5 kW | Vállalkozás 5 kW |
|---|---------------|------------------|
| Hasznos élettartam, év | 15 | |
| Figyelembe vett kamatszint ¹ (r) (%) | 3,88 | |
| Fenntartási költség összesen változatlan áron (EUR) | 1 217 | 923 |
| Éves fedezeti hozzájárulások jelenértékeinek az összege (dinamikus) (EUR) | 8 051 | 9 006 |
| Beruházási költség ² (EUR) | 8 032 | 6 324 |
| Nettó jelenérték (NPV) (EUR) | 19 | 2 681 |
| Belső megtérülési ráta (IRR), (%) | 3,91 | 9,19 |
| Jövedelmezőségi index (PI) | 1,00 | 1,42 |
| Diszkontált megtérülési idő, (év) | 15 | 10,5 |

(Forrás: saját szerkesztés, Zsiborács et al., 2016c alapján)

1: Fusion Media Limited., 2016c, 2016.01.15.

2: Euronorm Group Hungary Kft., 2016

A 26. táblázat a vizsgált megoldások nettó jelenértékét, jövedelmezőségi indexét, valamint diszkontált megtérülési idejét foglalja össze. Megállapítható, hogy meglévő kút esetén érjük el a permetezési megoldások közül a legkedvezőbb megtérülési időt, ami 14,6 év

a lakosság esetében, míg a vállalkozásoknál 10,3 év. Magyarországi éghajlati viszonyok között, az alkalmazott inflációs érték (1,79%), a kamatszint (3,88%), a hűtőrendszer éves kihasználtsága és energianyeresége által (3.2.2. pont, 5. táblázat, 4.3.4. pont, 12. táblázat), a várható profit és fenntartási költségekből adódóan egyik hűtési megoldás sem képes jobb megtérülési időre, mint a hűtés nélküli referencia naperőmű (Zsiborács et al., 2016c).

26. táblázat. Összefoglaló eredmények a különböző hűtési megoldásokról

| Lakosság esetében 5 kW | | | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Alkalmazott villamos energia növelő módszer megnevezése | Hűtés nélküli referencia | Ásott kút megléte esetén | Hálózati víz használata esetén | Ásott kút telepítése esetén | Esővíz használata esetén |
| Nettó jelenérték (NPV) (EUR) | 1 620 | 237 | 19 | -899 | 208 |
| Jövedelmezőségi index (PI) | 1,22 | 1,03 | 1,00 | 0,90 | 1,02 |
| Diszkontált megtérülési idő (év) | 12,2 | 14,6 | 15 | 16,6 | 14,6 |
| Vállalkozások esetében 5 kW | | | | | |
| Nettó jelenérték (NPV) (EUR) | 3 869 | 2 867 | 2 682 | 1 973 | 2 824 |
| Jövedelmezőségi index (PI) | 1,69 | 1,45 | 1,42 | 1,27 | 1,43 |
| Diszkontált megtérülési idő (év) | 8,9 | 10,3 | 10,5 | 11,8 | 10,5 |

(Forrás: saját szerkesztés, Zsiborács et al., 2016c alapján)

4.5.2. A hűtési technológiával elérhető gazdasági eredmények nemzetközi viszonylatban

Nemzetközi vizsgálataim során olyan országokat választottam ki, ahol a napelemes rendszerekre vonatkoztatott piaci környezet és szabályozás Magyarországhoz képest jelentősen eltérő átvételi árakat eredményez, valamint más éghajlati és földrajzi adottságokkal rendelkeznek. A 27. táblázat bemutatja a vizsgált országok esetében egyrészt egy 5 kW napelemes rendszer létesítéséhez szükséges anyagokat és eszközöket, másrészt a hűtőrendszer kiegészítőit. Ezen felül bemutatásra kerül a hűtés nélküli, valamint a hűtött napelemes rendszerek dinamikus beruházás hatékonysági mutatóinak vizsgálata tetőre telepített 5 kW hűtött és hűtetlen rendszer esetében (28-29. táblázat) (Zsiborács et al., 2016a).

27. táblázat. A telepítés, valamint a szükséges anyagok és eszközök beruházásának jellemzői hűtés nélküli, valamint hűtött 5 kW napelemes rendszer esetében

| Ország | HU | HR | E | AUS | USA |
|---|---|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Napelemes rendszer nagysága | 5 kW | | | | |
| Szükséges eszközök, anyagok hűtetlen rendszer esetében | Napelem. | | | | |
| | 5 kW inverter | | | | |
| | Szerelő keret tetőre. | | | | |
| | Bekötő vezeték-csatlakozókkal. | | | | |
| | Kiegészítő villamos szerelvény. | | | | |
| | Telepítés és szállítási költség. | | | | |
| Összesen bruttó (EUR) | 7 136 | 8 749 | 8 631 | 7 912 | 14 352 |
| Szükséges kiegészítő, anyagok és eszközök hűtött napelemes rendszer esetében | Fordított ozmózis víztisztító | | | | |
| | Ipari mágnesszelep | | | | |
| | Csőrendszer összekötő elemekkel | | | | |
| | Permetező szórófejek | | | | |
| | Házi vízmű | | | | |
| | Vízszűrők | | | | |
| | Tágulási tartály | | | | |
| | Intelligens digitális termosztát hőmérséklet szenzorral | | | | |
| | Fordított ozmózis víztisztító | | | | |
| | Telepítés és szállítási költség | | | | |
| Összesen bruttó (EUR) | 874 | 1 048 | 1 092 | 1 092 | 1 136 |

(Forrás: saját szerkesztés, Euronorm Group Hungary Kft., 2015, SEVERUS D.O.O., 2016; FUSION energia solar, 2015; Aussie Solar World, 2015; FreeCleanSolar.com, 2015; Zsiborács et al., 2016a alapján)

28. táblázat. Hűtés nélküli napelemes rendszerek dinamikus beruházás hatékonysági mutatóinak vizsgálata tetőre telepített 5 kW rendszer esetében

| Ország | HU | HR | E | AUS | USA (S-D) | USA (M) |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------|
| Hasznos élettartam, év | 15 | | | | | |
| Figyelembe vett kamatszint¹ (r) (%) | 3,88 | 3,99 | 2,29 | 2,89 | 2,04 | |
| Fenntartási költség összesen változatlan áron (EUR) | 0 | | | | | |
| Éves fedezeti hozzájárulások jelenértékeinek az összege (dinamikusan) (EUR) | 8 755 | 34 127 | 31 196 | 5 644 | 9 761 | 4 883 |
| Beruházási költség (EUR) | 7 136 | 8 749 | 8 631 | 7 912 | 14 352 | |
| Nettó jelenérték (NPV) (EUR) | 1 620 | 25 378 | 22 564 | -2 268 | -4 591 | -9 469 |
| Belső megtérülési ráta (IRR), (%) | 6,8 | 32,3 | 27,7 | -1,3 | -2,6 | -9,6 |
| Jövedelmezőségi index (PI) | 1,23 | 3,90 | 3,61 | 0,71 | 0,68 | 0,34 |
| Diszkontált megtérülési idő, (év) | 12,2 | 3,8 | 4,2 | 21,0 | 22,1 | 44,1 |

(Forrás: saját szerkesztés, Zsiborács et al., 2016a alapján)

1: Fusion Media Limited., 2016a, b, c, d, e, 2016.01.15.

29. táblázat. Napelemes rendszerek dinamikus beruházás hatékonysági mutatóinak vizsgálata tetőre telepített hűtött 5 kW rendszer esetében

| Ország | HU | HR | E | AUS | USA (S-D) | USA (M) |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------|
| Hasznos élettartam, év | 15 | | | | | |
| Figyelembe vett kamatszint¹ (r) (%) | 3,88 | 3,99 | 2,29 | 2,89 | 2,04 | |
| Fenntartási költség összesen változatlan áron (EUR) | 953 | 1 778 | 2 415 | 3 942 | 2 213 | 3 465 |
| Éves fedezeti hozzájárulások jelenértékeinek az összege (dinamikusan) (EUR) | 8 234 | 33 949 | 30 346 | 2 820 | 8 189 | 2 195 |
| Beruházási költség (EUR) | 8 010 | 9 797 | 9 723 | 9 004 | 15 488 | |
| Nettó jelenérték (NPV) (EUR) | 224 | 24 152 | 20 623 | -6 183 | -7 299 | -13 293 |
| Belső megtérülési ráta (IRR), (%) | 4,26 | 28,58 | 23,56 | -9,23 | -5,33 | -16,52 |
| Jövedelmezőségi index (PI) | 1,03 | 3,47 | 3,12 | 0,31 | 0,53 | 0,14 |
| Diszkontált megtérülési idő, (év) | 14,6 | 4,3 | 4,8 | 47,9 | 28,4 | 105,8 |

(Forrás: saját szerkesztés, Zsiborács et al., 2016a alapján)

1: Fusion Media Limited, 2016a, b, c, d, e, 2016.01.15.

A vizsgált országok éghajlati viszonyai között, a beruházás költségei miatt, az alkalmazott inflációs értékek, a kamatszint, a hűtőrendszer éves kihasználtsága, a várható profit és fenntartási költségekből adódóan a vizsgált hűtési megoldás nem képes jobb megtérülési időre, mint a hűtés nélküli referencia naperőmű (30. táblázat) (Zsiborács et al., 2016a).

30. táblázat. Összefoglaló eredmények a különböző hűtési megoldásokról

| 5 kW napelemes rendszer jellemzői | | | | | | |
|---|-------|--------|--------|--------|-----------|---------|
| Ország | HU | HR | E | AUS | USA (S-D) | USA (M) |
| Nettó jelenérték (NPV) (EUR) | 1 620 | 25 378 | 22 564 | -2 268 | -4 591 | - 9 469 |
| Jövedelmezőségi index (PI) | 1,22 | 3,90 | 3,61 | 0,71 | 0,68 | 0,34 |
| Diszkontált megtérülési idő (év) | 12,2 | 3,8 | 4,2 | 21,0 | 22,1 | 44,1 |
| 5 kW hűtött napelemes rendszer jellemzői | | | | | | |
| Ország | HU | HR | E | AUS | USA (S-D) | USA (M) |
| Nettó jelenérték (NPV) (EUR) | 224 | 24 152 | 20 623 | -6 183 | -7 299 | -13 293 |
| Jövedelmezőségi index (PI) | 1,03 | 3,47 | 3,12 | 0,31 | 0,53 | 0,14 |
| Diszkontált megtérülési idő (év) | 14,6 | 4,3 | 4,8 | 47,9 | 28,4 | 105,8 |

(Forrás: saját szerkesztés, Zsiborács et al., 2016a alapján)

Magyarország esetében tapasztaltuk a legkedvezőbb beruházási költségeket. Mindkét esetben 15 év alatti a megtérülési idő, viszont a hűtőrendszer ezt 2,4 évvel növeli meg. Horvátország és Spanyolország tekintetében nagyon kedvezőek az átvételi tarifák, ami kiemelkedő megtérülési időt eredményez mindkét esetben. Ennek ellenére, a hűtés még életképes beruházás az új napelemes rendszer mellett, azonban rangsorolva nem előzi meg az utóbbit. Ausztrália esetében a hűtőrendszer éves kihasználtsága kiemelkedő illetve a 2. legalacsonyabb beruházási költséggel rendelkezik a vizsgált országok esetében. Az alacsony átvételi árakból adódóan az éves profit a permetező hűtőrendszer fenntartási költsége miatt túl alacsony. Az USA esetében tapasztaltuk a legnagyobb beruházási költséget. Miami-ban a villamos energia átvételi árak majdnem megegyeztek az Ausztrál árakkal, viszont az éves energianyeresség és a kevesebb ideális nap miatt legrosszabb a megtérülési ideje.

Méréssel igazoltam, hogy egy átlagos háztartási célú, 5 kW teljesítményű, a napelemes rendszer hűtéséhez szükséges kiegészítő berendezések (fordított ozmózis víztisztító, ipari mágnesszelep, csőrendszer összekötő elemekkel, permetező szórófejek, házi vízmű, vízszűrők, tágulási tartály, intelligens digitális termosztát hőmérséklet szenzorral, fordított ozmózis víztisztító, telepítés és szállítási költség) összességében 10-15%-al növelik a beruházás bekerülési értékét (874-1136 EUR). Bizonyítottam továbbá, hogy azoknál a rendszereknél, ahol beruházás pozitív nettó jelenértékkel rendelkezik, ott a már maximális helykihasználtsággal rendelkező (helyhiány miatt tovább nem bővíthető) naperómű energianövelésére alternatívát kínál a meglévő vízvételzési pontból történő hűtés, hiszen ez a beruházás pozitív nettó jelenértékkel rendelkezik az említett 3 ország esetében (Zsiborács et al., 2016a).

5. Tézisek

1. Felállítottam a napelem és a napelemen lévő vízréteg kombinált hőmérlegét. Ennek segítségével kidolgoztam azt az összefüggést, amivel leírható a permetezett napelemben visszamaradó hőáram (Q_m):

$$Q_m = Q_{s2} - Q_{cpv} - Q_{hs} - P_{pv} - (q_{s1} - q_e - q_{cv} - q_v)A_{v\acute{z}} ,$$

Megállapítottam továbbá, hogy a napelemek esetében a napsugárzás (Q_{s2}) a hőtechnikai viszonyokat elsősorban a konvektív hőáramon (Q_{cpv}), a hőszugárzáson (Q_{hs}) és a modul villamosenergia-termelésén keresztül befolyásolja (P_{pv}). A párolgás során fellépő hőáramsűrűség (q_e) számítható a kipermetezett és elpárolgó víz mennyiségek, valamint a víz- és modul hőmérsékleti értékek ismeretében. A teljes hőmérleghez a napelemből a vízrétegbe vezetéssel bejutó hőáramsűrűség (q_v), napsugárzás során fellépő hőáramsűrűség a nedvesített felületen (q_{s1}) valamint a vízfelület és a levegő közötti konvektív hőáramsűrűség (q_{cv}), ismerete szükséges. A hőáramsűrűségek hőáramra való átalakításához a nedvesített felület ($A_{v\acute{z}}$) figyelembevételre van szükség. A napelem modul felületét (A_{pv}) a nedvesített felülettel arányosan ($A_{v\acute{z}}$) csökkenteni szükséges a modult ért napsugárzáson (Q_{s2}), a konvektív hőáramon (Q_{cpv}), és a hőszugárzáson (Q_{hs}) keresztül. A hőszugárzás (Q_{hs}) értékének tényleges megállapításához a napelem modul nem nedvesített és nedvesített felületét külön szükséges számítani az eltérő modul hőmérsékleti értékek miatt.

2. Kísérleti vizsgálatok alapján igazoltam, hogy optimális elhelyezésű, tájolású és átlagos teljesítményű, hálózatra nem tápláló új és 11 éves amorf szilícium napelem modulok esetében, 1 °C hőmérséklet csökkenés az energiatermelés hatékonyságában egységesen, átlagosan 0,27% növekedést eredményez. Ez igazolja, hogy a kapcsolat nem függ a napelem modul korától, egyaránt igaz az új és a régi eszközre. Bizonyítottam a hálózatra tápláló a-Si modulsor alkalmazása során a hűtés hatásának veszteségmentes, a hálózatra nem tápláló modulokkal azonos nagyságú megjelenését.

3. Új számítási módszert dolgoztam ki, amellyel meghatározhatók a napelemek vízpermetezéssel hűtési technológiájának alkalmazásához szükséges optimális műszaki valamint környezeti jellemzők és paraméterek. Megállapítottam továbbá, hogy ezen módszer alkalmazásához a vízkő kezelésének a módja, a szórófej használata és beállítása, a vízfogyasztás meghatározása, a hűtés szempontjából ideális időszakok és környezeti jellemzők ismerete szükséges. A kidolgozott módszer alkalmas napelemes rendszerek költséghatékonysági modellezésére hazai és nemzetközi viszonylatban egyaránt.

4. Modellszámításokkal igazoltam, hogy egy átlagos háztartási célú, 5 kW teljesítményű, a napelemes rendszer hűtéséhez szükséges kiegészítő berendezések (fordított ozmózis víztisztító, ipari mágnesszelep, csőrendszer összekötő elemekkel, permetező szórófejek, házi vízmű, vízszűrők, tágulási tartály, intelligens digitális termosztát hőmérséklet szenzorral, fordított ozmózis víztisztító, telepítés és szállítási költség) összességében 10-15%-al növelik a beruházás bekerülési értékét. Bizonyítottam továbbá, hogy azoknál a rendszereknél, ahol beruházás pozitív nettó jelenértékkel rendelkezik, ott a már maximális helykihasználtsággal rendelkező (helyhiány miatt tovább nem bővíthető) naperőmű energianövelésére alternatívát kínál a meglévő vízvételési pontból permetezéssel történő hűtés.

6. Thesis

1. I have set up the combined heat balance of the photovoltaic module and the water layer sprayed over the front of the module. In this way I have worked out the relationship which describes the residual heat of the sprayed photovoltaic module:

$$Q_m = Q_{s2} - Q_{cpv} - Q_{hs} - P_{pv} - (q_{s1} - q_e - q_{cv} - q_v)A_{viz} ,$$

I have also found that with solar modules, solar radiation (Q_{s2}) primarily influences thermal relationships through convection (Q_{cpv}), radiation (Q_{hs}) and the module's electricity energy output (P_{pv}). If the amount of sprayed water and the water-module temperature values are known, the evaporative heat transfer from water to ambient air (q_e) can also be calculated. Furthermore, it is also important to know the conductive heat transfer from the photovoltaic surface to the water layer (q_v), the convective heat transfer from water to ambient air (q_{cv}), the solar radiation on the wetted surface (q_{s1}) and the wetted (A_{PV}) surface. I also proved that the surface of the solar module (A_{PV}) should be reduced proportionally to the wetted surface (A_{viz}) through the solar radiation (Q_{s2}) the convective heat exchange (Q_{cpv}), and the the long-wave radiation heat exchange (Q_{hs}). It is necessary to calculate separately the non-wetted and wetted module surface for the actual determination of the long-wave radiation heat exchange (Q_{hs}) value due to the different module temperatures.

2. I have proved by measurements that the average energy increase is 0.27% for every 1°C for optimally positioned, oriented and average performance amorphous silicon solar modules. This confirms that the relationship does not depend on the age of the PV module, this value is equally true for new and old devices. I have proved the lossless appearance of the effect of cooling on the grid-connected a-Si PV string.

3. I have elaborated a new calculation method which can be used to determine the technical-environmental features and parameters for the application of the spraying technology and for the cost-effectiveness modeling of this in Hungarian and international context. I also found that it is necessary to know the usage of this method the way to handle the limescale, the usage of the nozzle and his setting, the ideal terms and environmental features for cooling and the determination of water consumption.

4. I have proved by model calculations that the effective application of cooled solar photovoltaic system including (reversed osmosis water cleaner, industrial magnetic valve, pipes with joint elements, spray heads, household water pump, filters, dilatational tank, intelligent digital thermostat with temperature sensor, costs of installation and transportation) of solar module cooling requires about 10-15% increase in the investment even in a residential size of 5 kW capacity. In the case of those systems where payback time is ideal, the cooling from existing source of water offers a real alternative for increasing the energy of solar modules that cannot be extended due to the lack of space.

7. Összefoglalás

A fotovillamos napenergia hasznosítás területén jelenleg a szilícium alapú, kristályos és vékonyfilm szerkezetű napelemek a legelterjedtebbek, bár a napsugárzásnak csak kisebb hányadát képesek villamos energiává átalakítani, legnagyobb része hőenergiává alakul. Ideális napokon, megfelelő éghajlati adottságok következtében a napelem modul hőmérséklete akár a 60-70 °C hőmérsékletet is elérheti. A napelem melegezéséből adódóan energiatermelése csökken, melyre megoldást kínálnak a különböző hűtési technológiák.

A munka egy eddig Magyarországon – a napelemek hatásfokának javítására – még nem alkalmazott vízpermetezési technológia tudományos alapjait tárgyalja valós időjárási körülmények között elvégzett alátámasztó kísérletek bemutatásával együtt. Ez a hűtési mód a párolgás hűtőenergiáját használja ki, mivel a víz jelentős hőmennyiség leadására képes. A permetező víz mennyiségének csökkentése érdekében a permetezőfejeket szakaszosan, impulzusszerűen működnek, amely révén sikerült minimalizálni a felhasznált víz mennyiségét és csak a párolgáshoz szükséges víz került kipermetezésre.

Megegyező típusú és teljesítményű, 50 W-os hűtés nélküli és permetezési megoldással hűtött monokristályos, polikristályos és amorf szilícium napelem modulok összehasonlító vizsgálataira került sor kültéri, valós időjárási körülmények között 2015 és 2016-ban, különböző kísérleti szempontok alapján, azonos mérőponton.

A vizsgálatok során a hűtetlen és a permetezőfej segítségével hűtött napelem modulok hőtani jellemzői is elemzésre kerültek. A napelemek esetében a napsugárzás a hőtechnikai viszonyokat elsősorban a konvektív hőáramon, a hőszugárzáson és a modul villamosenergia-termelésén keresztül befolyásolja, a hővezetés jelentősége minimális. A vízzel való elárasztás, illetve permetezés a hőtechnikai viszonyokat alapvetően három módon befolyásolja. A víz, mint párolgó közeg jelentős hőmennyiség leadására képes, a vízréteg megváltoztatja a szerkezet hővezetési ellenállását, a víz az elárasztás esetén – mint egy újabb, nagy hőtehetlenségű réteg – növeli a határoló szerkezet (eredeti) hőtehetlenségét és javítja hőcsillapítását.

A gyakorlati alkalmazást tekintve megállapítható, hogy több szórófej alkalmazása indokolt, mivel a napelemek szélét minimálisan (vagy egyáltalán nem) érte permet egy szórófej alkalmazása esetén. Az változást elsősorban a környezeti tényezők (például a szél) megváltozása okozta.

Az optimális elhelyezésű, tájolású és átlagos teljesítményű, hálózatra nem tápláló új és 11 éves amorf szilícium napelem modulok, valamint hálózatra tápláló modulsor esetében 1 °C

hőmérséklet csökkenés az energiatermelés hatékonyságában egységesen, átlagosan 0,27% növekedést eredményez. Ez igazolja, hogy a kapcsolat nem függ a napelem modul korától, egyaránt igaz az új és a régi eszközre. Bizonyítottam a hálózatra tápláló a-Si modulsor alkalmazása során a hűtés hatásának veszteségmentes, a hálózatra nem tápláló modulokkal azonos nagyságú megjelenését.

A Magyarországon végzett kísérletek során a hűtés hatására megjelent energiátöbblet nyáron és ősszel illetve nyáron és tavasszal is hasonló értéket mutatott a mérési időszakban, emiatt ezen értékek alkalmasak a hűtőrendszer becsült működési időszakainak elemzéseire. Ez szorosan összefügg azzal, hogy lineáris kapcsolat van a hatásfok-hőmérséklet, így az energiaváltozás-hőmérséklet változása között is. Az ideális energiatermelési időszakok meghatározásához egyrészt olyan napelemes rendszerek kerültek felhasználásra, melyek internetes távfelügyelettel és/vagy napi szinten mért energiatermelési adattal rendelkeznek (így az energiatermelési adatok könnyen elérhetők órás bontásban).

A mérések azt mutatták, hogy a hűtőrendszer alkalmazásához minimum 20 °C-os levegőhőmérséklet esetén legalább 450 W/m², míg 30 °C-os levegőhőmérsékletnél legalább 390 W/m² besugárzás szükséges. Ennek az az oka, hogy a melegebb modulnál már kevesebb sugárzás esetén is bekapcsol a hűtés, mivel hamarabb éri el a magasabb hőmérsékletet. Az éves adatok ország specifikus meghatározása során a WeatherSpark időjárás modellező rendszer került felhasználásra, aminek segítségével meghatározásra kerültek az átlagos nappali 20 °C időszakok. A besugárzási értékek napi és havi szintű ellenőrzése a Photovoltaic Geographical Information System segítségével történt.

A magyarországi és nemzetközi összehasonlítások során, a Magyarországon lévő, hűtött polikristályos napelemnél alkalmazott vízszabályozási beállításokat, valamint az ott tapasztalt, az adott időszakban elért átlagos hőmérsékletcsökkenés került alkalmazásra 5 kW névleges teljesítményű, tetőre szerelt háztartási méretű rendszerekre.

Magyarország esetében három vízvételzési megoldás gazdaságosságát vizsgáltam meg: hűtés megvalósítása esővízzel, hűtés megvalósítása ázott kút segítségével és hűtés megvalósítása vezetékes ivóvíz hálózaton keresztül. Itt a napelemes rendszer beruházása mellett a hűtéssel elérhető éves többletenergiát és ennek eléréséhez szükséges ráfordításokat (villamos energia, víz, egyéb berendezések) vizsgáltam a 2016-ban érvényes szabályozás mellett a lakosság és vállalkozások számára elérhető HMKE-rendszerrel, éves időszakra kivetítve. Meglévő kút esetén érjük el a permetezési megoldások közül a legkedvezőbb megtérülési időt, ami 14,6 év a lakosság esetében, míg a vállalkozásoknál 10,3 év. Ebben az esetben nem szükséges a kutat létrehozni, hanem csak a permetezéshez szükséges hűtési mód

kiépítése jár költségekkel és évente számolni kell a fordított ozmózis víztisztító szűrők cseréjével. Magyarországi éghajlati viszonyok között, az alkalmazott inflációs érték (1,79%), a kamatszint (3,88%), a hűtőrendszer éves kihasználtsága, a várható profit és fenntartási költségekből adódóan egyik hűtési megoldás sem képes jobb megtérülési időre, mint a hűtés nélküli referencia naperómű.

Nemzetközi vizsgálatok során olyan országokat választottam ki, amelyek Magyarországhoz képest jelentősen eltérő földrajzi és éghajlati adottságokkal, valamint a napelemes rendszerek piaci környezetéből és szabályozásából adódóan különböző átvételi árakkal rendelkeznek, fontos szempont volt, hogy a permetezőrendszer használatának eredményei víz közelében lévő településekre kerüljön meghatározásra, mivel vízvételzési pont meglétét feltételeztem. A nemzetközi vizsgálatnál csak lakossági fogyasztókat elemeztem. A nemzetközi összehasonlítás során a vizsgált országok éghajlati viszonyai között, a beruházás költségei miatt, az alkalmazott inflációs értékek, a kamatszint, a hűtőrendszer éves kihasználtsága, a várható profit és fenntartási költségekből adódóan a vizsgált hűtési megoldás sehol sem képes jobb megtérülési időre, mint a hűtés nélküli referencia naperómű. Méréssel igazoltam, hogy egy átlagos háztartási célú, 5 kW teljesítményű, a napelemes rendszer hűtéséhez szükséges kiegészítő berendezések összességében 10-15%-al drágítják meg a beruházás költségét. Azoknál a rendszereknél, ahol beruházás pozitív nettó jelenértékkel rendelkezik, ott a már maximális helykihasználtsággal rendelkező (helyhiány miatt tovább nem bővíthető) naperómű energianövelésére alternatívát kínál a meglévő vízvételzési pontból történő hűtés.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetet mondok mindazoknak, akiknek vezetése, építő kritikája, támogatása és segítsége hozzájárult e disszertáció megszületéséhez.

Ezúton szeretném köszönetemet kifejezni témavezetőimnek, Dr. Pályi Béla egyetemi docens Úrnak és Dr. Farkas István Professor Úrnak, akik önzetlenül segítettek és egyengették kutató munkámat, szakmai tanácsaikkal segítették fejlődésemet.

Köszönöm az Agrárműszaki Tanszék dolgozóinak, hogy vizsgálataim elvégzésében sokszor munkaidőn túl is segítettek.

Köszönöm Dr. Pintér Gábor egyetemi adjunktusnak a gazdasági elemzések és a közös publikációk során nyújtott önzetlen segítségét.

Köszönöm Dr. Bai Attila egyetemi docens Úrnak az értékes tanácsokat és az ökonómiai elemzések során nyújtott önzetlen segítségét.

Köszönöm Gabnai Zoltán PhD hallgató szakmai észrevételeit.

Külön köszönettel tartozom Hegedűsné dr. Baranyai Nóra egyetemi docens Asszonynak, aki a statisztikai számítások értelmezésében segített.

Köszönöm az Osztrák-Magyar Akció Alapítványnak és a Tempus Közalapítványnak, hogy támogatták külföldi tartózkodásaimat, ami elősegítette a nemzetközi kutató munkám fejlődését.

Köszönöm Dr. Philipp Weihs Professor Úrnak a hőtani folyamatok megértéséhez nyújtott önzetlen segítségét.

Végezetül, de nem utolsó sorban szeretném megköszönni szüleimnek, menyasszonyomnak, testvéreimnek, barátaimnak, akik mindvégig mellettem álltak, támogattak és motivációt jelentettek a dolgozat elkészítéséhez.

Irodalomjegyzék

1. Abdolzadeh, M. – Ameri, M. (2009): Improving the effectiveness of a photovoltaic water pumping system by spraying water over the front of photovoltaic cells. *Renewable Energy*, 34(1), 91-96. p.
2. Acciani, G. – Falcone, O. – Vergura, S. (2010): Analysis of the thermal heating of poly-Si and a-Si photovoltaic cell by means of Fem. European Association for the Development of Renewable Energies, Environment and Power Quality. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*, 1-5. p.
3. Agrawal, S. – Tiwari, G.N. (2011): Performance evaluation of hybrid modified micro-channel solar cell thermal tile: an experimental validation. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 3(1) 244-254. p.
4. Alami, H.A. (2014): Effects of evaporative cooling on efficiency of photovoltaic modules. *Energy Conversion and Management*, 77, 668-679. p.
5. Allenbach Holzbau und Solartechnik AG. (2014): Fachbeiträge. Nur saubere Solarzellen sind ihr Geld wert!
<http://www.solarholzbauer.ch/asset/fd70c7b8-6ed1-34e9-8925-ada3f327d999/fachartikelhauswart-in-schweiz-ausgabe-2-2014.pdf> (letöltve: 2015.03.22)
6. Aman, M.M. – Solangi, K.H. – Hossain, M.S – Badarudin, A. – Jasmon, G.B. – Mokhlis, H. – Bakar, A.H.A. – Kazi S.N. (2015): A review of Safety, Health and Environmental (SHE) issues of solar energy system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1190-1204. p.
7. Arndt, R. – Puto, R. (2015): Basic Understanding of IEC Standard Testing For Photovoltaic Panels. *TÜV SÜD America Inc*, 1-15. p.
<http://www.tuvamerica.com/services/photovoltaics/articlebasicunderstandingpv.pdf>
8. Audubert, M.R. – Stora, M. C. – Perrin, M.J. (1932): Propriétés photovoltaïques du sulfure de cadmium. *Comptes rendus del' Académie des Sciences*. T 194, 1124-1126. p.
9. Australian Government Department of Industry and Science (2015): Energy in Australia, 2015. *Office of the Chief Economist*, 30. p.
<https://industry.gov.au/Office-of-the-Chief-Economist/Publications/Documents/energy-in-aust/Energy-in-Australia-2015.pdf> (letöltve: 2016.01.15)
10. Aussie Solar World. (2015): Solar Products.
https://www.google.com/url?hl=hu&q=http://aussiesolarworld.com.au/&source=gmail&ust=1478270949049000&usg=AFQjCNHstk5WWfzH_7o6RVO2O5-TROsM5g
(letöltve: 2016.01.18)
11. Aquaprofit Mszaki, Tanácsadási és Befektetési Zrt. (2006): Keszthely Településfejlesztési koncepció. Keszthely Város Önkormányzata.
https://www.keszthely.hu/ftp/koncepciok/KESZTHELY_TELEPULESFEJLESZTESI_KONCEPCIO_2006.pdf (letöltve: 2017.09.16)
12. Bahaidarah, H. – Subhan, A. – Gandhidasan, P. – Rehman, S. (2013): Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions. *Energy*, 59, 445-453. p.
13. Bai, A. – Durkó, E. – Tar, K. Tóth, B.J. – Lázár, I. Kapocska, L. – Kircsi, A. – Bartók, B. – Vass, R. – Péntes, J. – Tóth, T. (2016a): Social and economic possibilities for the energy utilization of fitomass in the valley of the river Hernád. *Renewable Energy*, 85, 777-789. p.
14. Bai, A. – Popp J.– Balogh P. – Gabnai Z. – Pályi B. – Farkas I. – Pintér G. – Zsiborács H. (2016b): Technical and economic effects of cooling of monocrystalline photovoltaic modules under Hungarian conditions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1086-1099. p.

15. Balaton fejlesztési Tanács (2016): eghajlat-276.
<http://www.balatonregion.hu/images/doc/public/> (letöltve: 2017.09.16)
16. Becqueret, A. E. (1839a): Recherches sur les effets de la radiation chimique de Ja lumière solaire, au moyen des courants électriques. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*. T9, 145-149. p.
17. Becqueret, A. E. (1839b): Mémoire sur les effets d'électriques produits sous l'influence des rayons solaires. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*. T9, 561-567. p.
18. Belluardo, G. – Ingenhoven, P. – Sparber, W. – Wagner, J. – Weihs, P. – Moser, D. (2015): Novel method for the improvement in the evaluation of outdoor performance loss rate in different PV technologies and comparison with two other methods. *Solar Energy*, 117, 139-152. p.
19. Blankenship, R.E. – Tiede, D.M. – Barber, J. – Brudvig, G.W. – Fleming, G. – Ghirardi, M. – Gunner, M.R. – Junge, W. – Kramer, D.M. – Melis, A. – Moore, T.A. – Moser, C.C. – Nocera, D.G. – Nozik, A.J. – Ort, D.R. – Parson, W.W. – Prince, R.C. – Sayre, R.T. (2011): Comparing Photosynthetic and Photovoltaic Efficiencies and Recognizing the Potential for Improvement. *Science*, 332, 805-809. p.
20. Breyer, C. – Schmid, J. (2010): Global Distribution of Optimal Tilt Angles for Fixed Tilted PV Systems. *25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*. 4715 - 4721.
21. Büyükgüzel-Aksoy (2016): A current-based simple analog MPPT circuit for PV systems. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*. 24, 3621-3637. p.
22. Carlson, D.E. – Wronski, C.R. (1976): Amorphous silicon solar cell *Applied Physics letters*. Vol 28, Issue 11, 671. p.
23. Carrier, W.H. (1968): The temperature of evaporation. *The American Society of Heating and Ventilating Engineers*, (24), 24-50. p.
24. Case, M.J. – Schoeman J.J. (1993): A minimum component Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracker. *Proceedings of the European Space Power Conference*, Graz.
25. Cedar Lake Ventures, Inc. (2016a): WeatherSpark, Average Weather For Alcantarilla/Murcia /Militar, Spain.
<https://weatherspark.com/averages/32048/Alcantarilla-Murcia-Militar-Spain> (letöltve: 2016.02.11)
26. Cedar Lake Ventures, Inc. (2016b): WeatherSpark, Average Weather For Broome, Australia.
<https://weatherspark.com/averages/34059/Broome-Western-Australia> (letöltve: 2016.02.11)
27. Cedar Lake Ventures, Inc. (2016c): WeatherSpark, Average Weather For Keszthely, Hungary.
<https://weatherspark.com/averages/32217/Sarmellek-Zala-Hungary> (letöltve: 2016.02.11)
28. Cedar Lake Ventures, Inc. (2016d): WeatherSpark, Average Weather For San Diego, California, USA.
<https://weatherspark.com/averages/31552/San-Diego-California-United-States> (letöltve: 2016.02.11)
29. Cedar Lake Ventures, Inc. (2016e): WeatherSpark, Average Weather For Miami, Florida, USA.
<https://weatherspark.com/averages/30883/Miami-Florida-United-States> (letöltve: 2016.02.11)
30. Cedar Lake Ventures, Inc. (2016f): WeatherSpark, Average Weather For Split, Croatia.
<https://weatherspark.com/averages/32016/Split-Split-Dalmatia-Croatia> (letöltve: 2016.02.11)

31. Chandrasekar, M. – Rajkumar, S. – Valavan, D. – (2015): A review on the thermal regulation techniques for non integrated flat PV modules mounted on building top. *Energy Buildings* 86, 692-697. p.
32. Chandrasekar, M. – Suresh, S. – Senthilkumar, T. – Ganesh karthikeyan, M. (2013): Passive cooling of standalone flat PV module with cotton wick structures. *Energy Conversion and Management*, 71, 43–50. p.
33. Chapin, D. M. - Fuller, C. S. - Pearson, G. L. (1954): A New Silicon p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power. *Journal of Applied Physics*, Vol 25, Issue 5, 676-677. p.
34. Chapin, D. M. - Fuller, C. S. - Pearson, G. L. (1957): Solar Energy converting Apparatus. *US Pat.* 2,760,765. p.
35. Chatterton R. – Du Rietz A. (2015): Renewables Targets That Bite? Comparing renewable energy targets with BNEF’s New Energy Outlook. *Bloomberg new Energy Finance*, 3. p.
https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/4/2015/11/BNEF_RN_Renewables-targets-vs-NEO_2015-07-20_v3.pdf (letöltve: 2015.02.18)
36. Chen, Y.–Yu, F. – Liang, S. – Wang, Z. – Liu, Z. – Xiong, Y. (2014) Utilization of solar energy in sewage sludge composting: Fertilizer effect and application. *Waste Management*, 34, 2014-2021. p.
37. Chin-Yi, – T. Chin-Yao, T. (2014): Development of tandem amorphous/microcrystalline silicon thin-film large-area see-through color solar panels with reflective layer and 4-step laser scribing for building-integrated photovoltaic applications. *Journal of Nanomaterials*, Vol. 2014, 1-9. p.
38. Chiu, P.T. – Law, D.L. – Woo, R.L.– Singer, S. – Bhusari, D. – Hong, W.D.– Zakaria, A. – Boisvert, J.C.– Mesropian, S. – King, R.R. – Karam, N.H. (2014): 35.8% space and 38.8% terrestrial 5J direct bonded cells. *Proc. 40th IEEE Photovoltaic Specialist Conference*, 11-13. p.
39. Cosme, I. – Cariou, R. – Chen, W. – Foldyna, M. – Boukhicha, R. – Cabarrocas, P.R.I. – Lee, K.D. – Trornpoukis, C. – Depauw, V. (2015): Lifetime assessment in crystalline silicon: From nanopatterned wafer to ultra-thin crystalline films for solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 135, 93-98. p.
40. Dember, H. (1931a): Über eine photoelektronische Kraft in Kupferoxydul-Kristallen. *Physikalische Zeitschrift*. Bd. 32. S.554.p.
41. Dember, H. (1931b): Über eine Kristallphotozelle. *Physikalische Zeitschrift*. Bd. 32. 856. p.
42. Dember, H. (1931c): Über eine Vorwärtsbewegung von Elektronen durch Licht. *Physikalische Zeitschrift*. Bd. 33. 207. p.
43. Dimroth, F. (2013): World record solar cell with 44.7. Press Releases 2013. *Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE*
<http://www.ise.fraunhofer.de/en/press-and-media/press-releases/presseinformationen-2013/world-record-solar-cell-with-44.7-efficiency> (letöltve: 2015.01.16)
44. Du, B. – Hu, E. – Kolhe, M. – (2012): Performance analysis of water cooled concentrated photovoltaic (CPV) system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(9), 6732-6736. p.
45. Dunántúli Regionális Vízmű Zrt. (2017): dijkalkulator.
<http://www.drvt.hu/dijkalkulator> (letöltve: 2017.09.18)

46. Dunántúli Regionális Vízmű Zrt. (2013): Elkülönített locsolási célú vízmérők felszerelése tájékoztató. 1-2. p.
http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:rGmsdRnYDEEJ:www.driv.hu/driv/driv_files/File/Nyomtatv%25E1nyok/%25DAj%2520nyomtatv%25E1nyok%25202013-05-09/elk%25FC1%25F6n%25EDtett%2520locsol%25E1si%2520c%25E9l%25FA%2520v%25EDzm%25E9r%25F5k%2520felszerel%25E9se%2520t%25E1j%25E9koztat%25F3%25202013.pdf+%&cd=1&hl=hu&ct=clnk&gl=hu (letöltve: 2015.02.18)
47. Dunkle, R.V. (1961): Solar water distillation: the roof type still and a multiple effect diffusion still. Melbourne: C.S.I.R.O. 1961. *International Heat Transfer Conference*, (2nd : 1961-1962 : Boulder, Colorado and Westminster, London, England) Libraries Australia ID: 9189687. 895-902. p.
48. E.ON Energiaszolgáltató Kft. (2016a): Egyetemes szolgáltatói árak, üzleti ügyfelek.
http://www.eon.hu/Uzleti_aram_egyetemes_szolgáltatoi_arak (letöltve: 2015.02.24)
49. E.ON Energiaszolgáltató Kft. (2016b): Egyetemes szolgáltatói árak, lakossági felhasználók.
http://www.eon.hu/Aram_informaciok_arak (letöltve: 2015.03.24)
50. E.ON Energiaszolgáltató Kft. (2016c): Háztartási Méretű Kiserőművek, Tájékoztató a háztartási méretű kiserőművek létesítéséről és közcélú elosztóhálózatra csatlakoztatásáról.
<http://www.eon.hu/eon.php?id=290> (letöltve: 2015.03.22)
51. Elnozahy, A. – Rahman, A.K.A. – Ali, A.H.H. – Abdel-Salam, M. – Ookawara, S. (2015): Performance of a PV module integrated with standalone building in hot arid areas as enhanced by surface cooling and cleaning. *Energy Buildings*, 88(1), 100-109. p.
52. Energy Policy Network for the 21st Century (REN21). (2015): Renewables 2015 Global Status Report. 1-272. p.
<http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/> (letöltve: 2015.04.26)
53. Energy Policy Network for the 21st Century (REN21). (2016): Renewables 2016 Global Status Report. 1-272. p.
<http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/> (letöltve: 2016.04.26)
54. Energy Policy Network for the 21st Century (REN21). (2017): Renewables 2016 Global Status Report. 1-302. p.
<http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/> (letöltve: 2017.09.26)
55. Ertsey, I. – Fenyves, V. – Katona, Sz. – Kovács, S. – Papdi, J.Á. – Szőke, Sz. (2009): A gabonavertikum komplex beruházás-elemzés módszertani fejlesztése = Methodological development of investment analysis in corn industry. Munkabeszámoló. OTKA. REAL - az MTA Könyvtárának Repozitóriuma, 1-16. p.
<http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/> (letöltve: 2016.11.22)
56. Euronorm Group Hungary Kft. (2015): Építőipari szolgáltatás és építőanyag adatok.
57. eurostat Statistics Explained. (2016) Energy from renewable sources.
http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_from_renewable_sources (letöltve: 2016.02.18)
58. Fábrián, A. (2009): Épületenergetikai felmérések termográfiai eszközök. *Hűtő-, Klíma- és Légtechnikai Épületgépészeti Szaklap HKL*.
<http://www.hklszaklap.hu/web-hkl/lapszamok/2009/aprilis/826-epuletenergetikai-felmeresek-termografiai-eszkozok> (letöltve: 2014.11.12)
59. Fábrián, T. (2015): Napelemek. In: Békei, F. (Szerk.): *A Rádiótechnika Évkönyve 2015*, 101–107. p.
60. Fidy, J. – Makara, G. (2005): Biostatistika. InforMed 2002 Kft.
<http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/biostatistika-1/ch08s04.html> (letöltve: 2016.01.18)

61. First Solar Inc. (2014): First solar builds the highest efficiency thin film PV cell on record.
<http://investor.firstsolar.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=864426> (letöltve: 2016.01.18)
62. First Solar Inc. (2017): Proven Performance Advantage Over Crystalline Silicon Solar Modules.
<http://www.aguacalientesolarproject.com/en/Technologies-and-Capabilities/PV-Modules/First-Solar-Series-4-Modules> (letöltve: 2017.09.18)
63. Fraunhofer ISE (2016): PHOTOVOLTAICS REPORT. Prepared by Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE, 14. p.
64. FreeCleanSolar.com. (2015): SOLAR KITS
<http://www.freecleansolar.com/default.asp> (letöltve: 2016.01.18)
65. Fritts, C. E. (1883): On a new form of selenium cel, and some electrical discoveries made by its use. *American Journal of Science*. Ser. 3, Vol 26, No. 156, 465-472. p.
66. Fronius International GmbH (2016): FRONIUS ENERGY PACKAGE. The personal storage solution for 24 hours of sun.
https://www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-69872104-852881CE/fronius_international/SE_DS_Fronius_Symo_Hybrid_EN_386411_snapshot.pdf (letöltve: 2016.11.23)
67. FUSION energia solar. (2015): Fotovoltaica.
<http://fusionenergiasolar.es/> (letöltve: 2016.01.18)
68. Fusion Media Limited. (2016a): Investing.Com, Australia 15-Year Bond Yield, in, Fusion Media Limited, 2016.
<http://www.investing.com/rates-bonds/australia-15-year-bond-yield-historical-data> (letöltve: 2016.01.15)
69. Fusion Media Limited. (2016b): Investing.Com, Croatia 10-Year Bond Yield Overview, in, Fusion Media Limited, 2016.
<http://www.investing.com/rates-bonds/croatia-10-year-bond-yield> (letöltve: 2016.01.15)
70. Fusion Media Limited. (2016c): Investing.Com, Hungary - Government Bonds, in, Fusion Media Limited, 2016.
<http://www.investing.com/rates-bonds/hungary-15-year-bond-yield> (letöltve: 2016.01.15)
71. Fusion Media Limited. (2016d): Investing.Com, Spain 15-Year Bond Yield, in, Fusion Media Limited, 2016.
<http://www.investing.com/rates-bonds/spain-15-year-bond-yield> (letöltve: 2016.01.15)
72. Fusion Media Limited. (2016e): Investing.Com, U.S. 10-Year Bond Yield, in, Fusion Media Limited, 2016.
<http://www.investing.com/rates-bonds/u.s.-10-year-bond-yield> (letöltve: 2016.01.15)
73. Ganguly, G. – Carlson, D.E. – Hegedus, S.S. – Ryan, D. – Gordon R.G. – Pang, D. – Reedy R.C. (2004): Improved fill factors in amorphous silicon solar cells on zinc oxide by insertion of a germanium layer to block impurity incorporation. *Applied Physics Letters*, 85(3), 1-3. p.
74. Gao, X-Z. – Hou, Z-X. – Guo, Z. – Chen, X-Q. (2015) Reviews of methods to extract and store energy for solar-powered aircraft. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 96-108. p.
75. Goldmann, A. (1914): Zur Theorie des Becquereffektes. I. Grundzüge einer lichtelektrischen Theorie des Becquereffektes. *Annalen der Physik*. Bd. 349. H. 14, 901-915. p.
76. Goldmann, A. - Brodsky, J. (1914): Zur Theorie des Becquereffektes. I. Lichtelektrische Untersuchungen an oxydierten Kupferelektroden. *Annalen der Physik*. Bd. 349. 14, 849-900. p.

77. Goldsmid, H.J. – Kaila, M.M. – Paul, G.L. (1983): Thermal Conductivity of amorphous silicon. *Physica Status Solidi*, A76, 31-33. p.
78. Green, M.A. – Emery, K. – Hishikawa, Y. – Warta, W. – Dunlop, E.D. (2016): Solar cell efficiency Tables (Version 48). *Progress in Photovoltaics*, 24(7), 905-913. p.
79. Green, M.A. – Keevers, M.J. – Concha Ramon, B. – Jiang, Y. – Thomas, I. – Lasich, J.B. – Verlinden, P.J. – Yang, Y. – Zhang, X. – Emery, K. – Moriarty, T. – King, R.R. – Bensch, W. (2015): Improvements in sunlight to electricity conversion efficiency: above 40% for direct sunlight and over 30% for global. *European Photovoltaic Solar Energy Conference*. 1-5.p.
80. Grubišić-Čabo. F – Nižetić, S. – Giuseppe Marco, T. (2016): Photovoltaic Panels - A Review of the Cooling Techniques. *TRANSACTIONS OF FAMENA XL - Special issue*, 1, 63-74.p.
81. Hay, H.R. – Yellott, I.J (1970): A naturally air-conditioned building. *Mechanical Engineering*, (1), 92. p.
82. Háber István (2016): Fotovillamos és fotovillamos-termikus rendszerek energetikai modellezése, doktori értekezés. Szent István egyetem, 1-112. p.
83. Herrmann, U. – Langer, H.G. – van der Broeck, H. (1993): Low Cost DC to AC Converter for Photovoltaic Power Conversion in Residential Applications. *Proc. IEEE, Power Electronics Specialists Conference*, 588-594. p.
84. Hosenuzzaman, M. – Rahim, N.A. – Selvaraj, J. – Hasanuzzaman, M. – Malek, A.B.M.A. – Nahar, A. (2015): Global prospects. progress. policies. and environmental impact of solar photovoltaic power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 284-297. p.
85. Hosoya, M. – Oooka, H. – Nakao, H. – Gotanda, T. – Mori, S. – Shida, N. – Hayase, R. – Nakano, Y. – Saito, M. (2013): Organic thin film photovoltaic modules. *Proceedings of the 93rd Annual Meeting of the Chemical Society of Japan*, 21-37. p.
86. International Energy Agency (IEA). (2014): Technology Roadmap. Solar Photovoltaic Energy, 1-60. p.
https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf (letöltve: 2015.03.28)
87. Jäger-Waldau, A. – Szabó, M. – Monforti-Ferrario, F. – Bloem, H. – Huld, T. – Arantegui, L.R. (2011): Renewable Energy Snapshots 2011. JRC Scientific and Technical Reports. *European Commission Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport*, 1-61. p.
88. Jäger-Waldau, A. (2011): PV status report 2011. JRC Scientific and Technical Reports. *European Commission Joint Research Centre, Institute for Energy*. 1-126. p.
89. Jäger-Waldau, A. (2013): PV status report 2013. JRC Scientific and Policy Report. European Commission, DG Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport, Renewable Energy Unit, 1-62. p.
90. Ji, J. – Pei, G. – Chow, T.T. – Liu, K. – He, H. – Lu, J. – Han, C. (2008): Experimental study of photovoltaic solar assisted heat pump system. *Solar Energy*, 82, 43-52. p.
91. Jones, A.D. – Underwood, C.P. (2001): A Thermal Model For Photovoltaic Systems. *Solar Energy*, 70(4), 349-359. p.
92. Jordan, D.C. – Kurtz, S.R. (2012): Photovoltaic Degradation Rates. An Analytical Review. NREL/JA-5200-51664. Contract No. DE-AC36-08GO28308. p.16.
<http://www.nrel.gov/docs/fy12osti/51664.pdf> (letöltve: 2015.01.12)
93. Kabir, M.I. – Shahahmadi, S.A. – Lim, V. – Zaidi, S. – Sopian, K. – Amin N (2012) Amorphous silicon single-junction thin-film solar cell exceeding 10% efficiency by design optimization. Hindawi Publishing Corporation. *International Journal of Photoenergy*, Vol. 2012, 1-8. p.

94. Kahoul, N. – Houabes, M. – Sadok M. (2014): Assessing the early degradation of photovoltaic modules performance in the Saharan region. *Energy Conversion and Management*, 82, 320-326. p.
95. Kawai, M. (2013): High-durability dye improves efficiency of dye-sensitized solar cells. *Nikkei Electronics*.
http://techon.nikkeibp.co.jp/english/NEWS_EN/20130131/263532/ (letöltve: 2015.01.16)
96. Kayes, B.M. – Nie, H. – Twist, R. – Spruytte, S.G. – Reinhardt, – F. – Kizilyalli, – I.C. – Higashi, G.S. (2011): 27.6% conversion efficiency. a new record for single-junction solar cells under 1 sun illumination. *Proceedings of the 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*.
<http://ieeexplore.ieee.org/document/6185831/> (letöltve: 2015.03.22)
97. Kayes, B.M. – Zhang, L. – Twist, R. – Ding, I.K. Higashi, G.S. (2014): Flexible thin-film tandem solar cells with >30% efficiency. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 4, 729-733. p.
98. Keavney, C.J. – Haven, V.E. – Vernon, S.M. (1990): Emitter structures in MOCVD InP solar cells. *Conference Record. 21st IEEE Photovoltaic Specialists Conference*. 141-144.
99. Keevers, M.J. – Young, T.L. Schubert, U – Green, M.A. (2007): 10% efficient CSG minimodules. *22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference*, 1783. p.
100. Komiya, R. – Fukui, A. – Murofushi, N. – Koide, N. – Yamanaka, R. – Katayama, H. (2011): Improvement of the conversion efficiency of a monolithic type dye-sensitized solar cell module. *Technical Digest. 21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference*, 2C-5O-08.
101. Krauter, S. (2004): Increased electrical yield via water flow over the front of photovoltaic panels. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 82(1-2), 131–137. p.
102. Krempasky, J. (1977): Félvezetők, Kérdések-feleletek. Műszaki Könyvkiadó (Budapest), 1-243. p.
103. Lamb, A.H. (1935): *Photoelectric device*. US Pat. 2,000,642. p.
104. Larramona, G. – Levchenko, S. – Bourdais, S. – Jacob, A. – Choné, C. – Delatouche, B. – Moisan, C. – Unold, T. – Dennler, G. (2015): Fine-tuning the Sn content in CZTSSe thin films to achieve 10.8% solar cell efficiency from spray-deposited water–ethanol-based colloidal inks. *Advanced Energy Materials*, 4, 1501404. p.
105. Leyva, R. - Alonso, C. - Queinnec, I. - Cid-Pastor, A. – Lagrange, D. - Martínez-Salamero, L. (2006): MPPT of Photovoltaic Systems using Extremum–Seeking Control. *IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS*, 42(1), 249-258. p.
106. Lőrincz, I. – Szénásy, I. (2010): Napenergiával hajtott kísérleti jármű hatékonyságának növelése. In FISITA, 2010: A jövő járműve. 9-13. p.
107. Lu, Z.H. – Yao, Q. (2007): Energy analysis of silicon solar cell modules based on an optical model for arbitrary layers. *Solar Energy*, 81, 636-647. p.
108. Martin, J. (2013): Solar power Western Australia: Are solar panels worth the investment in WA?
<http://www.solarchoice.net.au/blog/solar-power-western-australia/?map> (letöltve: 2015.02.11)
109. Masuko, K. – Shigematsu, M. – Hashiguchi, T. – Fujishima, D. – Kai, M. – Yoshimura, N. – Yamaguchi, T. – Ichihashi, Y. Yamanishi, T. – Takahama, T. – Taguchi, M. – Maruyama, E. – Okamoto, S (2014): Achievement of more than 25% conversion efficiency with crystalline silicon heterojunction solar cell. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 4, 1433–1435. p.
110. Matsui, T. – Sai, H. – Suezaki, T. – Matsumoto, M. – Saito K. – Yoshida, I. – Kondo, M. (2013): Development of highly Stable and efficient amorphous silicon based solar cells. *28th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, 2213-2217. p.

111. Magyar Napelem Napkollektor Szövetség (MNNSZ) (2017a): 2017.-től jelentősen változik a KÁT rendszer – jövő évtől gyakorlatilag nem éri meg kereskedelmi erőművet engedélyeztetni!
<http://www.mnnsz.hu/2017-jelentosen-valtozik-a-kat-rendszer/> (letöltve: 2017.02.20)
112. Magyar Napelem Napkollektor Szövetség (MNNSZ) (2017b): Változott a Villamos Energia Törvény – Március 31. után Teljesítménydíj a napelemes kiserőművekre
<http://www.mnnsz.hu/valtozott-a-villamos-energia-torveny-marcius-31-utan-teljesitmenydij-a-napelemes-kiseromuvekre/> (letöltve: 2017.03.16)
113. Magyar Napelem Napkollektor Szövetség (MNNSZ) (2017c): Szolár szótár
<http://www.mnnsz.hu/szolar-segedletek/szolar-szotar/> (letöltve: 2017.07.23)
114. MAVIR Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zártkörűen Működő Részvénytársaság (MAVIR ZRt.) (2017a): A megújuló támogatási rendszer.
<https://www.mavir.hu/web/mavir/megujulo-tamogatasi-rendszer> (letöltve: 2017.02.20)
115. MAVIR Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zártkörűen Működő Részvénytársaság (MAVIR ZRt.) (2017b): A 165/2016. Korm. Rendelet* (METÁR) alapján pályázati eljárás nélkül támogatott, megújuló energiaforrásból termelt villamos energia támogatott árai.
http://www.mekh.hu/download/6/6b/20000/metar_arak_megujulo_2016_2017.xlsx
 (letöltve: 2017.02.20)
116. Milman O. (2013): Australia on course to beat 2020 renewable energy target, says study.
theguardian
<https://www.theguardian.com/world/2013/may/30/australia-2020-renewable-energy-target> (letöltve: 2014.07.18)
117. Mizei, J. (2003): Napelemek. Segédlet a Napelemek laboratórium tárgyhoz. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Villamosmérnöki és Informatikai Kar. BME Elektronikus Eszközök Tanszéke.
118. Mori, S. – Oh-oka, H. – Nakao, H. – Gotanda, T. – Nakano, Y. – Jung, H. – Iida, A. – Hayase, R. – Shida, N. – Saito, M. – Todori, K. – Asakura, T. – Matsui, A. – Hosoya, M. (2015): Organic photovoltaic module development with inverted device structure. *Materials Research Society Proceedings*, 1737. 26-31.p.
119. Moslehi, M.M. – Kapur, P. – Kramer, J. – Rana, V. – Seutter, S. – Deshpande, A. – Stalcup, T. – Kommera, S. – Ashjaee, J. – Calcaterra, A. – Grupp, D. – Dutton, D. – Brown, R. (2012): World-record 20.6% efficiency 156 mm × 156 mm full-square solar cells using low-cost kerfless ultrathin epitaxial silicon & porous silicon lift-off technology for industry-leading high-performance smart PV modules. *PV Asia Pacific Conference*, 11. p.
https://dea.lib.unideb.hu/dea/bitstream/handle/2437/216867/file_up_1_MUNDO_V%C3%A1llalkoz%C3%A1si%20ismeretek_online.pdf?sequence=1&isAllowed=y (letöltve: 2017.03.20)
120. N.C. Clean Energy Technology Center. (2015a): Orlando Utilities Commission - Solar Programs, Orlando Utilities Commission (OUC).
<http://programs.dsireusa.org/system/program/detail/2867> (letöltve: 2015.02.11)
121. N.C. Clean Energy Technology Center. (2015b): Renewable Market Adjusting Tariff, California Public Utilities Commission.
<http://programs.dsireusa.org/system/program/detail/5665> (letöltve: 2015.02.11)
122. National Renewable Energy Laboratory (2016): PVWatts Calculator.
<http://pvwatts.nrel.gov/> (letöltve: 2016.02.11)
123. Nábrádi, A. (2015): Munkaerőpiac-Orientált, Vállalkozói Kompetenciák Fejlesztése, Vállalkozási Ismeretek. Kiadja a Debreceni Egyetem. Elektronikus változat, Center-Print Nyomda, Debrecen.

124. Nábrádi, A. – Pupos, T. – Tanácsné, Gy.K. (2008): Üzemtan I. *Szaktudás Kiadó Ház*, Budapest, 1-193. p.
125. Ndiaye, A. – Kebe, C.M.F. – Charki, A. – Ndiaye, P.A. – Sambou, V. – Kobi, A. (2014): Degradation evaluation of crystalline-silicon photovoltaic modules after a few operation years in a tropical environment. *Solar Energy*, 103, 70-77. p.
126. Nemzeti Fejlesztési Minisztérium. (2011): Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terve 2010-2020. 29, 76. p.
http://2010-2014.kormany.hu/download/2/b9/30000/Meg%20C3%BAjul%C3%B3%20Energia_Magyarorsz%C3%A1g%20Meg%20C3%BAjul%C3%B3%20Energia%20Hasznos%C3%ADt%C3%A1si%20Cselekv%C3%A9si%20terve%202010_2020%20kiadv%C3%A1ny.pdf (letöltve: 2014.11.16)
127. Németh K. - Péter E. - Szabó L. (2015): Geotermikus energia - a nemzet aranya, Útkeresés - Tudomány - Felelősség: Very Best of KHEOPS (2006-2015) tanulmánykötet, Mór, KHEOPS Automobil-Kutató Intézet, 2015, ISBN:978-963-89779-5-3, 455. p.
128. Odehand, S. – Behnia, M. (2009): Improving photovoltaic module efficiency using watercooling, *Heat Transfer Engineering*, 30(6) 499-505. p.
129. Ohl, R. S. (1946): Light-sensitive electric device. US Pat. 2,000,642. p.
130. Ohl, R. S. (1948) Light-sensitive device including silicon. US Pat. 2,443,542. p.
131. Panasonic Corporation. (2014): Panasonic HIT® Solar Cell Achieves World's Highest Energy Conversion Efficiency of 25.6% at Research Level
<http://news.panasonic.com/global/press/data/2014/04/en140410-4/en140410-4.html> (letöltve: 2015.10.28)
132. Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps. (2015)
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> (letöltve: 2014.12.16)
133. Pintér, G. – Zsiborács, H. – Kecskés, B – Pályi, B. (2015): Napelemes rendszerek alkalmazása tehenészetek esetében. *Gazdalkodás*, 59, 346-354. p.
134. Győr-Moson-Sopron Megyei Kormányhivatal (2015): 72/1996. (V. 22.) Korm. rendelet a vízgazdálkodási hatósági jogkör gyakorlásáról. 1-11. p.
http://edktvf.zoldhatosag.hu/gyengenlatok/tartalom/vizved/pdf/1996_72_korm_r.pdf (letöltve: 2015.02.18)
135. Pongrácz, R. – Bartholy, J. (2013): Alkalmazott és városklimatológia. *ELTE TTK FFI Meteorológiai Tanszék*, 131-135. p.
http://ttktamop.elte.hu/sites/ttktamop.elte.hu/files/tananyagok/alk_es_varosklimatologia.pdf (letöltve: 2015.03.12)
136. Pupos, T. – Pintér, G. (2013): Döntéstámogató módszerek, Gyakorlati jegyzet. Debreceni Egyetem Gazdálkodástudományok Centruma.
http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop412A/2011-0029_de_dontestamogato_modszerek_es_rendszerek_gyakorlat/ch02s06.html (letöltve: 2017.03.20)
137. pv magazine. (2015). Photovoltaic feed-in tariffs, Spain.
<http://www.pv-magazine.com/services/solar-incentives-and-fits/#axzz4OwWvzvWx> (letöltve: 2015.02.11)
138. pv magazine. (2015). Photovoltaic feed-in tariffs, United States
<http://www.pv-magazine.com/services/solar-incentives-and-fits/#axzz4OwWvzvWx> (letöltve: 2015.02.11)
139. Radziemska, E. – Klugmann, E. (2002): Thermally affected parameters of the current-voltage characteristics of silicon photocell. *Energy Conversion and Management*, 43(14), 1889-1900. p.

140. Randall, T. (2016): No One Saw Tesla's Solar Roof Coming. Bloomberg technology. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-10-31/no-one-saw-tesla-s-solar-roof-coming> (letöltve: 2016.11.23)
141. Ráuber, A. (2002): G04 előadás - Napelem technológiák és jellemzőik. PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Christaweg 40. A fordítás a Soltrain projekt (4.1030/Z/02-067/2002 sz. EU Altener program) keretében, a SzIE Fizika és Folyamatirányítási Tanszék gondozásában készült. 1-24. p.
142. Rezk, H. – Eltamaly, A.M. (2015): A comprehensive comparison of different MPPT techniques for photovoltaic systems. *Solar Energy*, 112, 1-11. p.
143. Reynolds, D. C. - Leies, G. - Antes, L. L. - Marburger, R. E (1958): Cadmium sulfide barrier layer cell. *US Pat*, 2,844,640. p.
144. Reynolds, D. C. – Leies, G. – Antes, L. L. – Marburger, R. E. (1954): Photovoltaic Effect in Cadmium Sulfide. *Physical Review*. Vol. 96, Issue 2, 533-534. p.
145. Roth, W. (2005): G07 előadás, Fotovillamos energiaellátó rendszerek általános koncepciói. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. 1-23. p.
146. SEVERUS D.O.O. (2016): Cenovnik solarnih elektrana. <http://www.solarna-energija.rs/index.php/> (letöltve: 2016.01.18)
147. Sai, H. – Maejima, K. – Matsui, T. – Koida, T. – Kondo, M. – Nakao, S. – Takeuchi, Y. – Katayama, H. – Yoshida, I. (2015): High-efficiency microcrystalline silicon solar cells on honeycomb textured substrates grown with high-rate VHF plasma-enhanced chemical vapor deposition. *Japanese Journal of Applied Physics*, 54; 08KB05 1-6. p.
148. Sai, H. – Matsui, T. – Koida, T. – Matsubara, K. – Kondo, M. – Sugiyama, S. – Katayama, H. – Takeuchi, Y. – Yoshida, I. (2015): Triple-junction thin-film silicon solar cell fabricated on periodically textured substrate with a stabilized efficiency of 13.6%. *Applied Physics Letters* 2015;106: 213902. p.
149. Santbergen, R. – van Zolingen, R.J.C. (2007): The absorption factor of crystalline silicon PV cells: A numerical and experimental study. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92(4), 432-444. p.
150. Sasaki, K. – Agui, T. – Nakaido, K. – Takahashi, N. – Onitsuka, R. – Takamoto, T. (2013): Development of InGaP/GaAs/InGaAs inverted triple junction concentrator solar cells. *AIP Conference Proceedings*, 22, 1556. p. <http://scitation.aip.org/content/aip/proceeding/aipcp/10.1063/1.4822190>
151. Schoeman, J.J. – van Wyk, J.D (1982): A Simplified Maximal Power Controller for Terrestrial Photovoltaic Panel Arrays PESC Record - IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference, 361-367. p.
152. Sharon, H. – Reddy, K.S. (2015): A review of solar energy driven desalination technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1080-1118. p.
153. Skoplaki, E. – Boudouvis, A.G. – Palyvos, J.A. (2008): A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92(11) p. 1393 – 1402. p.
154. Skoplaki, E. – Palyvos, J.A. (2009a): On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. *Solar Energy*, 83(5), 614-624. p.
155. Skoplaki, E. – Palyvos, J.A. (2009b): Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations. *Renewable Energy*, 34(1), 23-29. p.
156. SMA Solar Technology AG (2010): Modultechnik, SMA Wechselrichter bieten für jedes Modul die passende Lösung. 1-8. p. <http://files.sma.de/dl/7418/Duennschicht-TI-UDE114630.pdf> (letöltve: 2016.02.11)

- 157.SMA Solar Technology AG, Sunny Portal. (2015a): Alguazas-Ces-Vegamedia PV System profile. Murcia, Spain.
<https://www.sunnyportal.com/Templates/PublicPageOverview.aspx?page=59daad31-5466-4f43-a050-d6a6f781141f&plant=de96a850-4fae-4b07-8f29-180d8ffc1397&splang=en-US> (letöltve: 2016.02.11)
- 158.SMA Solar Technology AG, Sunny Portal. (2015b): Battery Sales North PV System Profile. Miami, United States.
<https://www.sunnyportal.com/Templates/PublicPageOverview.aspx?page=e0640e75-5eb5-4e1e-9433-933ac91b87c1&plant=fce0a22b-5a2e-4f0e-827a-7615256bd2cd&splang=en-US> (letöltve: 2016.02.11)
- 159.SMA Solar Technology AG, Sunny Portal. (2015c): Broome SHS Admin Array PV System profile Broome, Australia.
<https://www.sunnyportal.com/Templates/PublicPageOverview.aspx?page=ba79b4a6-e66d-4ad0-9130-4cda0c44b2a8&plant=d74b04ba-b6d4-44e6-9e0c-7486fb023e44&splang=en-US> (letöltve: 2016.02.11)
- 160.SMA Solar Technology AG, Sunny Portal. (2015d): Nutter PV System Energy and Power. San Diego, United States
<https://www.sunnyportal.com/Templates/PublicPageOverview.aspx?page=97537489-77bc-4fad-9887-8e70ee46f7f3&plant=c8c70fea-45b9-4b46-ade8-a256c43465ed&splang=en-US> (letöltve: 2016.02.11)
- 161.SMA Solar Technology AG, Sunny Portal. (2015e): SZALONTAI referencia rendszer PV System Profile. Balatonudvari, Magyarország
<https://www.sunnyportal.com/Templates/PublicPageOverview.aspx?plant=152c508b-dca1-48b7-9258-3f32e8574bfa&splang=> (letöltve: 2015.02.26)
- 162.SMA Solar Technology AG, Sunny Portal. (2015f): Tomting 2 PV System profile Šibenik, Croatia.
<https://www.sunnyportal.com/Templates/PublicPageOverview.aspx?page=d4860b46-ce31-4887-a91b-a6e8b0b62e2e&plant=24cff381-b728-47c0-9cf5-dff6cd2696ca&splang=en-US> (letöltve: 2016.02.11)
- 163.SMA Solar Technology AG, Sunny Portal. (2015g): ZMET PV System profile Siofok, Magyarország.
<https://www.sunnyportal.com/Templates/PublicPageOverview.aspx?page=96e1e167-9121-42c5-8f5c-bae1923c6a85&plant=a2fa17c6-7f5c-4b13-8a61-3a83f77e5d84&splang=en-US> (letöltve: 2016.02.11)
- 164.Smith, W. (1873): Effect of Light on Selenium During the Passage of an Electric Current. *Nature*. Vol 7, number 173, 303. p.
- 165.Solargis. (2014a): Global Horizontal Irradiation (GHI), Hungary.
<http://solargis.com/assets/graphic/free-map/GHI/Solargis-Hungary-GHI-solar-resource-map-en.png> (letöltve: 2015.03.12)
- 166.Solargis. (2014b): Global Horizontal Irradiation (GHI), World.
<http://solargis.com/assets/graphic/free-map/GHI/Solargis-World-GHI-solar-resource-map-en.png> (letöltve: 2015.03.12)
- 167.Solibro GmbH (2014): “Solibro beats world record for solar cells”.
<http://solibro-solar.com/en/news-downloads/news/> (letöltve: 2015.11.16)
- 168.Spear, W.E. – leComber, P. G. (1975): Substitutional doping of amorphous silicon. *Solid State Communication*. vol 17, 1193-1196. p.
- 169.Spear, W.E. – leComber, P.G. – Kinmond, S. - Brodsky, M.H. (1976): Amorphous silicon p-n junction. *Applied Physics letters*, Vol 28, Issue 2, 105-107. p.

170. Sun, K. – Yan, C. – Liu, F. – Huang, J. – Zhou, F. – Stride, J.A. – Green, M. – Hao, X. (2016): Over 9% efficient kesterite $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ solar cell fabricated by using $\text{Zn}_{1-x}\text{Cd}_x\text{S}$ buffer layer. *Advanced Energy Materials*, 6(12), 1600046. p.
https://selfserve.synergy.net.au/docs/REBS_Pricing_Schedule.pdf (letöltve: 2015.02.11)
171. Sullivan C.R. – Powers M.J. (1993): A High Efficiency Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Arrays in a Solar Powered Race Vehicle, *Power Electronics Specialists Conference, 24th Annual IEEE*, 574-580. p.
172. Synergy. (2015): Renewable Energy Buyback Scheme, Net Feed-in Tariff price schedule. 1-6. p.
173. Szabó, I. (1996-1997): Napelemes tápellátó rendszerekben alkalmazott növelt hatásfokú, analóg maximális teljesítménykövető áramkör analízise. Ph.D. értekezés. 33,35,36,40. p.
174. Szász, G. – Tőkei, L. (1997): Meteorológia – mezőgazdászoknak, kertészeknek, erdészeknek. *Mezőgazda Kiadó*, Budapest, 114-141. p.
175. Szűcs, I. (2002). Alkalmazott statisztika. *Agroinform Kiadó*, 104. p.
176. Tey, K.S. – Mekhilef, S. (2013): Modified incremental conductance MPPT algorithm to mitigate inaccurate responses under fast-changing solar irradiation level. *Solar Energy*, 101, 333-342.p.
177. Tenka Solar (2017): Mono crystalline module 250-290 Watt.
<http://www.tenkasolar.com/prodotti/monocrystalline-panels/mono-crystalline-module-250-280-watt/?lang=en> (letöltve: 2017.09.16.)
178. The World Bank Group. (2015): Inflation, consumer prices (annual %).
<http://data.worldbank.org/indicator/FP.CPI.TOTL.ZG> (letöltve: 2016.01.15)
179. Tiwari, G.N. – Kumar, A. – Sodha, M.S (1981): A review-cooling by water evaporation over roof. *Energy Conversion and Management*, 22(2), 143-153. p.
180. Trading Economics. (2016a): Australia Inflation Rate.
<http://www.tradingeconomics.com/australia/inflation-cpi> (letöltve: 2016.01.15)
181. Trading Economics. (2016b): bonds
<http://www.tradingeconomics.com/bonds> (letöltve: 2016.01.15)
182. Trading Economics. (2016c): Horvátország - Inflációs ütem.
<http://hu.tradingeconomics.com/croatia/inflation-cpi> (letöltve: 2016.01.15)
183. Trading Economics. (2016d): Magyarország - Inflációs ütem.
<http://hu.tradingeconomics.com/hungary/inflation-cpi> (letöltve: 2016.01.15)
184. Trading Economics. (2016e): Spanyolország - Inflációs ütem.
<http://hu.tradingeconomics.com/spain/inflation-cpi> (letöltve: 2016.01.15)
185. Trading Economics. (2016f): United States Inflation Rate.
<http://www.tradingeconomics.com/united-states/inflation-cpi> (letöltve: 2016.01.15)
186. Tritt, T.M (2005): Thermal Vuctivity: Theory, Properties, and Applications. *Springer Science & Business Media*, 176. p.
187. Tsai, H-L. (2014): Design and Evaluation of a Photovoltaic/Thermal-Assisted Heat Pump Water Heating System. *Energies*, 7, 3319-3338. p.
188. Tsai, H-F. – Tsai, H-L. (2012): Implementation and verification of integrated thermal and electrical models for commercial PV modules. *Solar Energy*, 86, 654-665. p.
189. TST Arge Solarstrom (2017): Solarmodule.
<https://www.photovoltaik-shop.com/solarmodule.html> (letöltve: 2017.09.18)
190. Turmezei, P. – Nemcsics, Á. (2001): Solar Cell Structures Suitable for Military Application. *HADTUDOMÁNYI TÁJÉKOZTATÓ* 10:(7), 132-138. p.
191. Tyagi, V.V. – Rahim, N.A.A. – Rahim, N.A. – Selvaraj, J.A.L. (2013): Progress in solar PV technology: Research and achievement. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 443-461. p.

192. United Nations Development Programme. (2014): Renewable Energy Snapshot, Croatia. 1-4. p.
<http://www.undp.org/content/dam/rbec/docs/Croatia.pdf> (letöltve: 2015.02.11)
193. US Energy Information Administration. (2016a): Average Price of Electricity to Ultimate Customers by End-Use Sector.
http://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.cfm?t=epmt_5_6_a (letöltve: 2016.08.18)
194. US Energy Information Administration. (2016b): Primary Energy Production by Source.
<https://translate.google.hu/#en/hu/Primary%20Energy%20Production%20by%20Source> (letöltve: 2016.04.18)
195. US Energy Information Administration. (2016c): What is U.S. electricity generation by energy source?
<https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=427&t=3> (letöltve: 2016.04.18)
196. van Helden, W.G.J. – van Zolingen R.J.Ch. – Zondag H.A. (2004): PV Thermal Systems: PV Panels Supplying Renewable Electricity and Heat. *PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS*, 12, 415-246. p.
197. Venkatasubramanian, R. – O'Quinn, B.C. – Hills, J.S. – Sharps, P.R. – Timmons, M.L. – Hutchby, J.A. – Field, H. – Ahrenkiel, A. – Keyes, B. (1997): 18.2% (AM1.5) efficient GaAs solar cell on optical-grade polycrystalline Ge substrate. *Conference Record. 25th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 31-36. p.
198. Verlinden, P. – Deng, W. – Zhang, X. – Yang, Y. – Xu, J. – Shu, Y. – Quan, P. – Sheng, J. – Zhang, S. – Bao, J. (2014): Strategy, development and mass production of high-efficiency crystalline Si PV modules. *6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, 1-4. p.
199. Wagner, C. W. - Schottky, W (1930): Theorie der geordneten Mischphasen. *Zeitschr. Phys. Chem. Bd. 11*, 163. p.
200. Wagner Solar Hungária Kft. (2014): Napelemtípusok: amorf-, mono- és polikristályos napelemek.
<http://wagnersolar.hu/napelem/szempontok> (letöltve: 2014.02.12)
201. Wang, H. – Hsu, S-T. – Tan, H. – Yao, Y.L. – Chen, H. – Azer, M.N. (2013): Predictive modeling for glass-side laser scribing of thin film photovoltaic cells. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 135, 2-11. p.
202. Wang, H. - Hsu, S.T. - Tan, H. - Yao, Y.L. - Chen, H. - Azer M.N. (2013): Predictive Modeling for Glass-Side Laser Scribing of Thin Film Photovoltaic Cells. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 135, 051004-1-11. p.
203. Wallin, – E. – Malm, U. – Jarmar, T. – Lundberg, O. – Edoff, M. – Stolt, L. (2012): World-record Cu(In.Ga)Se₂-based thin-film sub-module with 17.4% efficiency. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 20, 851-854. p.
204. Wolters Kluwer Kft. (2017): 10/2016. (XI. 14.) MEKH rendelet a villamos energia rendszerhasználati díjak, csatlakozási díjak és külön díjak alkalmazási szabályairól.
https://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A1600010.MEK (letöltve: 2017.03.16)
205. Xu, G. – Deng, S. – Zhang, X. – Yang, L. – Zhang, Y. (2009): Simulation of a photovoltaic/thermal heat pump system having a modified collector/evaporator. *Solar Energy*, 83, 1967-1976. p.
206. Yang, W.S. – Noh, J.H. – Jeon, N.J. – Kim, Y.C. – Ryu, S. – Seo, J. – Seok, S.I. (2015): High-performance photovoltaic perovskite layers fabricated through intramolecular exchange. *Science* 2015, 348(6240), 1234–1237. p.
207. Zamfirescu, C. – Dincer, I. (2014): Assessment of a new integrated solar energy system for hydrogen production. *Solar Energy*, 107, 700–713. p.

208. Zhang, S. –Pan, X. –Jiao, H. –Deng, W. –Xu, J. –Chen, Y. –Altermatt, P.P. –Feng, Z. –Verlinden, P.J (2016):335 watt world record p-type mono-crystalline module with 20.6% efficient PERC solar cells.*IEEE Journal of Photovoltaics*,6, 145-152. p.
209. Zelena Energija. (2012): Usvojen novi Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije. <http://www.zelenaenergija.org/clanak/usvojen-novi-tarifni-sustav-za-proizvodnju-elektricne-energije-iz-obnovljivih-izvora-energije-i-kogeneracije/3524> (letöltve: 2015.02.12)
210. Zsiborács, H. – Pályi, B. (2014a): A napenergia értéke Magyarországon napelemes rendszerek esetében, 2014-ben. *LVI. Georgikon Napok*, 556-561. p.
211. Zsiborács, H. – Pintér G. – Pályi, B. (2014b): Napelemes rendszerek energiamérlegének vizsgálata. *Lépések a fenntarthatóság felé*, (19)3, 12-13. p.
212. Zsiborács, H. – Pályi, B. (2014c): The Energetic Utilisation of Crystalline Solar Cell System, in the Size of Domestic Small Power Stations in 2014. *Review on Agriculture and Rural Development*, 3(1), 221-227. p.
213. Zsiborács, H. – Pályi, B. – Baranyai, H.N. –Veszélka, M. – Farkas, I. – Pintér, G. (2016b). Energy performance of the cooled amorphous silicon photovoltaic (PV) technology. *Időjárás*, 121(1)415-430 .p.
214. Zsiborács, H. – Pályi, B. – Baranyai, N.H. – Pinter, G. – Farkas, I. (2016d): Hűtött amorf szilícium napelem teljesítmény többlethozamának vizsgálata. *LVIII. Georgikon Napok*, 463-471. p.
215. Zsiborács, H. – Pályi, B. – Pintér, G. (2015): Permetezett monokristályos napelemek vizsgálata. *LVII. Georgikon Napok*, 505-514. p.
216. Zsiborács, H. – Pályi, B. – Pinter, G. – Baranyai, N.H. – Szabó P. – Farkas, I. (2016c): Economic aspects and energy performance of the cooled polycrystalline solar photovoltaic (PV) technology. *Review on Agriculture and Rural Development*, 5(1-2), 162-170. p.
217. Zsiborács, H. – Pályi, B. – Pintér, G. – Lönhárd, M. – Cseke, B. – Farkas, I. (2016e): Permetezett napelem modulok hőtechnikai vizsgálata, *Magyar Energetika*, 23(2), 26-31. p.
218. Zsiborács, H. – Pályi, B. – Pintér, G. – Popp, J. – Balogh, P. – Gabnai, Z. – Pető, K. – Farkas, I. – Baranyai, N.H. – Bai, A. (2016a): Technical-economic study of cooled crystalline solar modules. *Solar Energy*, 140, 227-235. p.
219. Zsiborács, H. – Pintér G. – Pályi, B. (2014d): The Energetic Utilisation of Solar Photovoltaic Systems for Individuals, Price Changes in Hungary. *Review on Agriculture and Rural Development*, 3(2), 459-466. p.
220. Zsiborács, H. – Pintér G. – Pályi, B. (2014e): The Solar PV Systems Payback Effect of the Price Decrease of Communal Electric Prices and of the Interest Rate Decrease of the central Bank. *Review on Agriculture and Rural Development*, 3(2), 467-473. p.
221. Zsiborács, H. – Pintér, G. – Pályi, B. – Lóránt, B. (2014f): Photovoltaics systems on the two banks of Drava River, *Fotonaponski sustavi s obje strane rijeke Drave. Podravina*, 13(26), 173-182. p.
222. Zsiborács, H. – Weihs, P. – Trimmel, H. – Oswald, S. – Pályi, B. (2016f): A thermal model for monocrystalline solar modules. *22nd Workshop on Energy and Environment*. 15. p.
223. Zöld, A. – Gábor, L. (1981): Energiagazdálkodás az építészetben. *Akadémiai Kiadó*, Budapest, 102-104. p.
224. Zweben, C. (2006): Thermal materials solve power electronics challenges. *Power Electronics Technology*, 41. p.