

DEBRECENI EGYETEM

**KERPELY KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA**

*Doktori Iskola vezető:*

**Dr. Nagy János**

egyetemi tanár, az MTA doktora

*Témavezető:*

**Dr. Nagy János**

egyetemi tanár, az MTA doktora

**NAPELEMES RENDSZEREK ENERGIAHOZAMA  
ÉS MŰKÖDÉSI HATÉKONYSÁGA  
DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS**

*Készítette:*

**Török Imre**

doktorjelölt

Debrecen

2017

**NAPELEMES RENDSZEREK ENERGIAHOZAMA  
ÉS MŰKÖDÉSI HATÉKONYSÁGA**

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében  
a regionális tudományok tudományágban készült

Írta: Török Imre okleveles létesítménymérnök

Készült a Debreceni Egyetem **Kerpely Kálmán Doktori Iskolája**  
Regionális doktori programja keretében

Témavezető: Dr. Nagy János DSc., az MTA doktora

A doktori szigorlati bizottság:

|        | név                      | tud. fokozat |
|--------|--------------------------|--------------|
| elnök: | Dr. Sinóros-Szabó Botond | DSc          |
| tagok: | Dr. Dobos Attila         | Ph.D.        |
|        | Dr. Harsányi Gergely     | Ph.D.        |

A doktori szigorlat időpontja: 2015.október 16.

Az értekezés bírálói:

| név               | tud.fokozat | aláírás |
|-------------------|-------------|---------|
| Dr. Mező Ferenc   | Ph.D.       | .....   |
| Dr. Rátonyi Tamás | Ph.D.       | .....   |

A bírálóbizottság:

|         | név   | fokozat | aláírás |
|---------|-------|---------|---------|
| elnök:  | ..... | .....   | .....   |
| tagok:  | ..... | .....   | .....   |
|         | ..... | .....   | .....   |
| titkár: | ..... | .....   | .....   |

Az értekezés védésének időpontja:

## TARTALOM

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Bevezetés .....</b>                                                       | <b>5</b>  |
| 1.1. Téma aktualitása.....                                                      | 5         |
| 1.2. Célkitűzések .....                                                         | 6         |
| <b>2. Irodalmi áttekintés.....</b>                                              | <b>8</b>  |
| 2.1. A világ energiagazdálkodásának főbb jellemzői.....                         | 8         |
| 2.2. A megújuló energiaforrások.....                                            | 10        |
| 2.3. A megújuló energiaforrások szerepe az EU energiapolitikájában .....        | 17        |
| 2.4. A megújuló energiaforrások szerepe Magyarországon.....                     | 20        |
| 2.5. Napelemek gyártástechnológiái .....                                        | 30        |
| 2.6. Napelemek teljesítményvizsgálata, várható energiahozama.....               | 39        |
| <b>3. Anyag és módszertan .....</b>                                             | <b>45</b> |
| 3.1. Monitoring adatok összegyűjtése .....                                      | 48        |
| 3.2. Napelemek energiahozam számítása, elemzése, modell felépítése .....        | 50        |
| <b>4. Eredmények.....</b>                                                       | <b>55</b> |
| 4.1. Üzemelő rendszerek éves energiahozam vizsgálata .....                      | 57        |
| 4.1.1. A 4-es számú debreceni monokristályos napelemes rendszer.....            | 57        |
| 4.1.2. Az 5-ös számú debreceni polikristályos napelemes rendszer.....           | 59        |
| 4.1.3. Az 1-es számú debreceni napelemes rendszer.....                          | 61        |
| 4.1.4. A 2-es számú debreceni napelemes rendszer .....                          | 62        |
| 4.1.5. A 3-as számú debreceni napelemes rendszer .....                          | 63        |
| 4.1.6. A poli és a monokristályos debreceni napelemes rendszer összehasonlítása | 65        |
| 4.1.7. A hőmérséklet és szélsőbesség paraméterek vizsgálata .....               | 66        |
| 4.2. A napelemes PV modell.....                                                 | 70        |
| 4.3. Napelemes rendszerek diagnosztikája.....                                   | 78        |
| 4.4. Az eddig telepített hazai napelemes rendszerek.....                        | 82        |
| 4.5. Napelemes rendszerek SWOT analízise .....                                  | 87        |

|                                                       |            |
|-------------------------------------------------------|------------|
| 4.6. Hipotézisek.....                                 | 88         |
| <b>5. Következtetések, javaslatok .....</b>           | <b>89</b>  |
| <b>6. Új tudományos eredmények .....</b>              | <b>90</b>  |
| <b>7. Gyakorlatban alkalmazható eredmények .....</b>  | <b>92</b>  |
| <b>8. Összefoglaló .....</b>                          | <b>94</b>  |
| <b>9. Összefoglaló (angol nyelven) .....</b>          | <b>96</b>  |
| <b>10. Irodalom .....</b>                             | <b>98</b>  |
| <b>11. Publikációk az értekezés témakörében .....</b> | <b>111</b> |
| <b>12. Nyilatkozatok .....</b>                        | <b>114</b> |
| <b>13. Köszönetnyilvánítás .....</b>                  | <b>115</b> |

## 1. Bevezetés

### 1.1. Téma aktualitása

Az energiaellátás biztonsága és a decentralizált energiaellátó rendszerek egyre nagyobb szerepet kapnak a mindennapokban. Az energiahatékonyság és energiaracionalizálás mellett szükségessé vált az energiamixben a megújuló energiaforrások részarányát a lehető legjobban növelni.

Magyarországon korlátozottak a fosszilis erőforrások, ezért különösen fontos, hogy az energiaiimportot nagymértékben csökkentse, ehhez szükség van energiahatékonysági programokra és támogatni kell a környezeti energiát hasznosító rendszerek elterjedését. A környezeti energia hasznosítás szempontjából potenciálisan meghatározó lehet pl. napenergia, geotermikus energiahasznosítás, melyekre a jövőben nagyobb figyelmet kell fordítani.

Az Európai Unió tagállamai elkötelezettek amellett, hogy az Európai Uniónak integrálnia szükséges a közép- és dél-európai gázpiacokat, diverzifikálnia szükséges gázszállítóit, útvonalait és forrásait. A programokban kiemelt szerepet kap az energiahatékonyság és támogatást kaphatnak azok, akik piacképes szolgáltatást vagy terméket állítanak elő.

Azonban a tagállamok tervei és célkitűzései között jelentős eltérések vannak. Németország igen komoly lépésekre szánta el magát és bejelentették, hogy 2022-ig a villamos energiatermelésükből a nukleáris atomerőművekben előállított elektromos áramot teljes egészében kivonják. Új atomerőművet jelenleg 10 EU-s tagországban terveznek építeni, ebből 3 országban (Finnország, Franciaország, Szlovákia) építés alatt áll 4 reaktor, míg 3 országban (Finnország, Magyarország, Egyesült Királyság) engedélyezési fázisban van atomerőmű-építés. Napjainkban további 5 országban (Bulgária, Csehország, Litvánia, Lengyelország, Románia) áll előkészítés alatt (PINC, 2016).

A nukleáris energia hordozóval szemben Németország előnyben részesíti a napelemes és biomassza alapú energiatermelést. Ez általánosságban elmondható a tagállamokról, bár

vannak kivitelek például Magyarország, ahol inkább a biomassza kap nagyobb szerepet, mint a napelemes szektor a 2020-as célkitűzésekben.

## 1.2. Célkitűzések

A környező országokhoz képest kevés megújuló energiát hasznosít Magyarország. Európa szerte viszont a közelmúltban különösen a napelemes rendszerek száma és mérete dinamikusan növekszik. A napelemes erőművek terjedését elősegíti, hogy jelentősen csökkent a beruházási költség és ezek a rendszerek segítik az energia ellátó rendszer decentralizálását, valamint jobban prognosztizálható a várható termelés, mint például a szél-erőművek esetében.

Nagyon fontos, hogy tudjuk prognosztizálni a várható termelését a megújuló energiaforrást használó erőművek esetében, hiszen ezek az erőforrások nem mindig akkor állnak rendelkezésre, amikor azt fel is használjuk. Az „okos” rendszerek segítségével lehetőségünk van a meglévő elektromos hálózatra csatlakozni úgy, hogy a fogyasztói igények közben folyamatosan kielégíthetők.

A kutató munkám során vizsgálom, hogy a napelemes rendszerek kapacitását célszerű-e növelni hazánkban, illetve van-e jelentősége a területi elosztásnak. A kutatás kiemelt része a már üzemelő napelemes rendszerek energiahozam vizsgálata, ahol környezeti paraméterek adataira alapozva elemzem azok energiahasznosítását. A napelemes rendszerek energiahozama nagyban függ az alkalmazott napelemtől, a telepítés helyétől és módjától, valamint az időjárási viszonyoktól. A dolgozatban bemutatom, hogy jelenleg hol tart a napelemes rendszerek fejlesztése és hogy milyen várható korszerűsítések lesznek a közeljövőben. Vizsgálataim alapján készítettem egy olyan modellt melynek segítségével diagnosztizálható a működő rendszerünk, vagy akár segítségünkre lehet abban is, hogy megtervezzünk egy új napelemes rendszert.

Nagy hiányossága a már kiépült napelemes rendszereknek, hogy csak igen kevés energiahozam vizsgálatot végeznek így a hatékonyság ellenőrzése sem valósul meg. Pedig

ezeket a rendszereket 20-25 éves üzemidőre tervezik és nagyon fontos, hogy milyen jó-ságfokkal üzemeltetik őket. További fejlesztési lehetőség, hogy még pontosabban prog-nosztizálható energiatermelése legyen a napelemes rendszereinknek, hogy a hálózati ki-lengéseket megakadályozhassuk.

Az előrejelzésnek akkor lesz kiemelt fontossága a jövőben, ha nagyobb arányban lesznek a napelemes rendszerek az energiamixben. Az energiaellátás szempontjából kiemelt je-lentősége van annak, hogy az egyes erőműveket a lehető legjobban a felhasználási szo-kásokhoz igazítsuk.

A kutatásom során az alábbi hipotéziseket állítom, és szeretném igazolni.

H1: Az üzemeltetett napelemes rendszereknek folyamatos optimalizálásra van szüksége, melyhez az üzemeltetőknek szüksége lenne egy üzemi modell rendszer kidolgozására.

H2: Az eddig telepített hazai napelemes rendszerek földrajzi helyzete és a magas globál-sugárzási területek között koherens összefüggés van.

H3: A monokristályos napelemek a gyakorlatban hasonló éves energiahasznosítással üzemeltethetőek régiókban, mint a polikristályos napelemek.

H4: Potenciálisan kedvező régiókban a napelemekkel lehetőség van egy decentralizált villamosenergia-ellátásra, a jelenlegi fogyasztási igények egésze fedezhető lenne napele-mes rendszerekkel.

H5: A napelemes rendszerek energiahatékonysága és a napsütéses órákban mért külső átlaghőmérséklet fordítottan arányos.

H6: Magyarországon a PV modell segítségével régióként, hasonló ökológiai környezet-ben, közel azonos globálisugárzási feltételek mellett jól prognosztizálható a napelemek energiahozama.

## 2. Irodalmi áttekintés

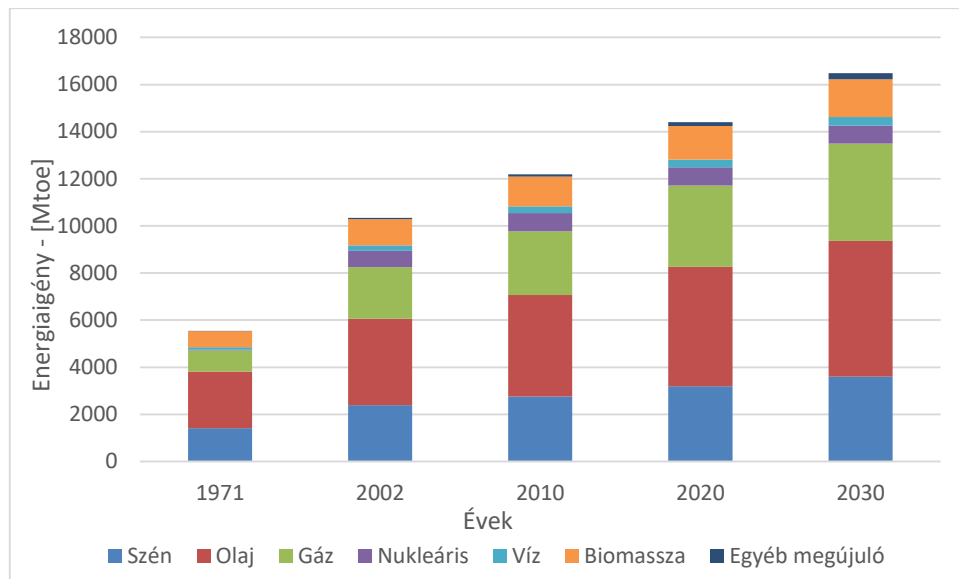
### 2.1. A világ energiagazdálkodásának főbb jellemzői

Az emberiség az elmúlt évszázadokban a népesség, a fogyasztás, a termelés és a technológiai fejlődés gyorsuló üteme mellett egyre több és több energiát igényelt. A civilizált ember élete a ma használatos energiahordozók nélkül már elképzelhetetlen.

A globális energiafelhasználás 1971 és 2010 között 5.536 Mtoe-ról 12.193 Mtoe-ra nőtt és 2020-ra a 14.000 Mtoe-t is meghaladja előre láthatóan. (IEA, 2016). Mindeközben az energiaintenzitás – tehát az egységnyi jövedelem előállításához szükséges energiamennyiség - folyamatosan csökkent. A csökkenés régióként eltérő mértékű és nem egy időben ment véghez. A rendszerváltó államokban a XX. század végén a hatékonyság növekedése elérte az évi 3%-ot (WEC, 2010).

Az energia felhasználását tekintve az ipar energiaigénye 1971 és 2010 között másfélszeresére nőtt, a legnagyobb keresletnövekedés (119%) azonban a közlekedés terén figyelhető meg. Az összes felhasználás arányában jelentősen nőtt ez utóbbinak az aránya, 45,4%-ról 61,4%-ra, miközben az ipar és az egyéb felhasználás – többek között a lakossági – részesedése csökkent (19,9%-ról 9%-ra, illetve 23,1%-ról 12,4%-ra) (IEA, 2012).

Az elemzések szerint 2030-ig háromszorosára nő a primerenergia igény a világon az 1971-es állapothoz képest (1-es diagram). A Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) felmérése alapján, magában Kína mintegy 30% -kal fogja emelni energia igényét. Nem szabad megfeledkeznünk Indiáról sem, amivel együtt ez az arány eléri a 40 % -ot.



### 1. diagram A világ teljes energiaigény változás 2030-ig

*Forrás: Saját szerkesztés, IEA World Energy Outlook 2004 adatai alapján*

Az adatok összehasonlíthatósága érdekében a három leggyakrabban használt mértékegységben az olajegyenérték (Mtoe), a brit hőegység (Btu), és a Wh értékekben is kimutatom a 2010-es energiafelhasználást.

12.193 Mtoe

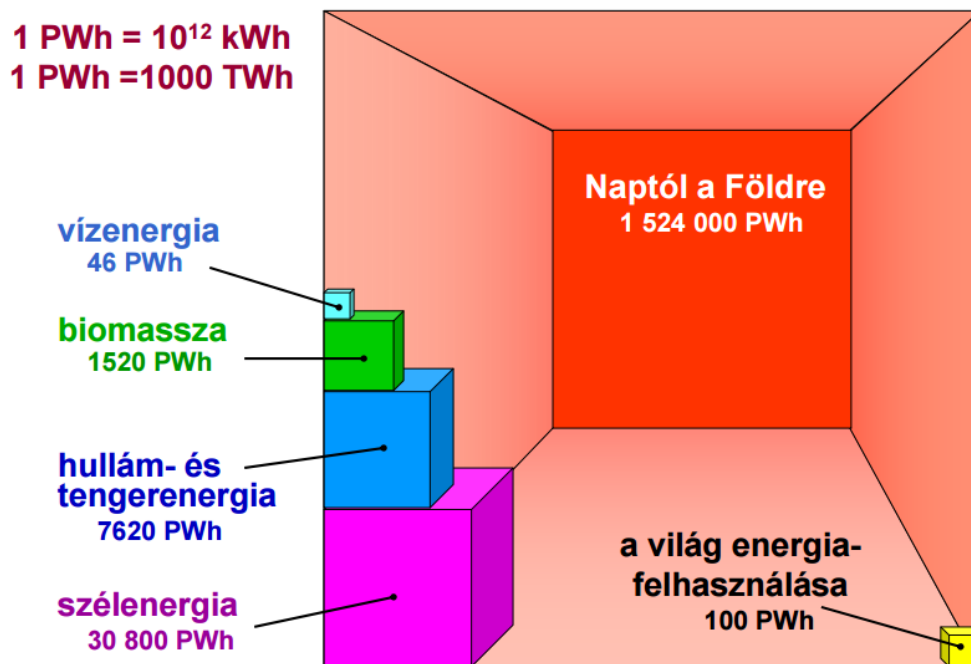
141.805 TWh

$4,83 \times 10^{11}$  Mbtu

A fogyasztói társadalom erősödésével, a tömegtermelés növekedésével az elmúlt évtizedekben egyre világosabbá vált, hogy az emberiség környezetkárosító és energiapazarló életvitele hosszútávon a természeti erőforrások kimerüléséhez vezet. Napjainkban az ipari termelés energiaigényének túlnyomó részét a fosszilis, nem megújuló energiaforrások adják, mint például a kőszén, kőolaj és földgáz.

A válság viszont már jelezte, hogy az energiaellátásának eddig biztonságosnak látszó jövője ingatag alapokon áll. Az energiaellátó nyomvonalak kiépítése stratégiai jelentőségű és az államok jövőjét meghatározza (EU 347, 2013). A hagyományos energiahordozókon kívül pedig egyre nagyobb szerepet kell, hogy kapjanak a megújuló energiaforrások. (Zöld könyv, 2013).

Meg is van minden lehetőségünk arra, hogy az energiaszükségleteinket más nem fosszilis energiából állítsuk elő. A rendelkezésre álló megújuló energiaforrás és felhasznált energia mennyiség arányát szemléltetem (**1. ábra**). Az ábrán a lehetséges energiaforrások volume külön-külön is leolvasható, melyből kiemelném, hogy csak a napenergiából 15.240-szer több energia érkezik, mint amennyit jelenleg használ az emberiség.



**1. ábra** A megújuló energiaforrás lehetőségek a világban

Forrás: Stróbl A., 2010; Net21

A Nemzetközi Energia Ügynökség adatai szerint a 2010-es energia felhasználás 141.805 TWh, ami szintén nagyságrendekkel kisebb, mint amit megújuló energiaforrással fedezni lehetne (IEA, 2004).

## 2.2. A megújuló energiaforrások

A globális ökológiai problémák között igen nagy, egyesek szerint kiemelkedő jelentőségű a klímaváltozás jelensége, amelyért az energetikai folyamatok mintegy 80%-ban tehetők

felelőssé (*Pálvölgyi, 2000*). Ezért is kap napjainkban egyre nagyobb szerepet a fenntarthatóság, ami (*Bulla, 2006*) szerint azt jelenti, hogy az emberiség jelen szükségleteit úgy elégíti ki, hogy közben megőrzi a környezeti és a természeti erőforrásokat a jövő generációjának.

A fenntarthatóság energetikai szempontból úgy közelíthető meg, hogy az energiafelhasználást minimalizálni kell és ezt a csökkentet energiaszükségletet a lehető legnagyobb mértékben környezeti energiából kell előállítani amellet, hogy az energiát értékteremtésre kell felhasználni.

A fenntartható energiagazdálkodás „az energiatermelés, -tárolás, -szállítás, -felhasználás komplex folyamatának társadalmi, gazdasági és ökológiai szempontokat integráló megvalósítása; a klasszikus energiagazdálkodás fenntartható fejlődésbe illeszkedő átalakítása” (*Dinya, 2010*).

Ebben az energiagazdálkodásban kiemelt szerepe van a környezeti energiaforrásoknak, melyek olyan tartós, kimeríthetetlen energiahordozók, amelyek folyamatosan újratemelődnek, megújulnak (*Barótfi, 1993*). Jelentősége, hogy a megújuló energiák alkalmazása nem károsítja a környezetet, hasznosításával az emberiség a szükségleteit az adott gazdasági fejlettség szintjén kielégítheti. A megújuló energiaforrások közé tartozik a napenergia, a vízenergia, a szélenergia, a geotermikus energia és a különböző formában megjelenő biomassza (*Farkas et al., 2003*).

A megújuló energiaforrások alkalmazása gazdasági és társadalmi előnyökkel is járhat (*Lukács, 2009*). Amellet, hogy használatukkal növelhető az ország energiabiztonsága, általában új, magas technológiai szintű termelőkapacitások és szolgáltatások fejlődését hozzák magukkal, munkahelyeket teremtenek. Növekszik általuk a vidék eltartó-képessége a gazdasági tevékenység diverzifikációjával. A megújuló energiaforrások alkalmazásának fejlesztése járulékos beruházásokkal és munkahelyteremtő képességével pozitív nemzetgazdasági hatásokat fejt ki (*Csom et al., 2006; Bai et al., 2007*). Ezen energiahordozók hasznosítására azonban csak reális mértékben célszerű törekedni, figyelembe véve azok hátrányait is (*Büki - Lovas, 2010*).

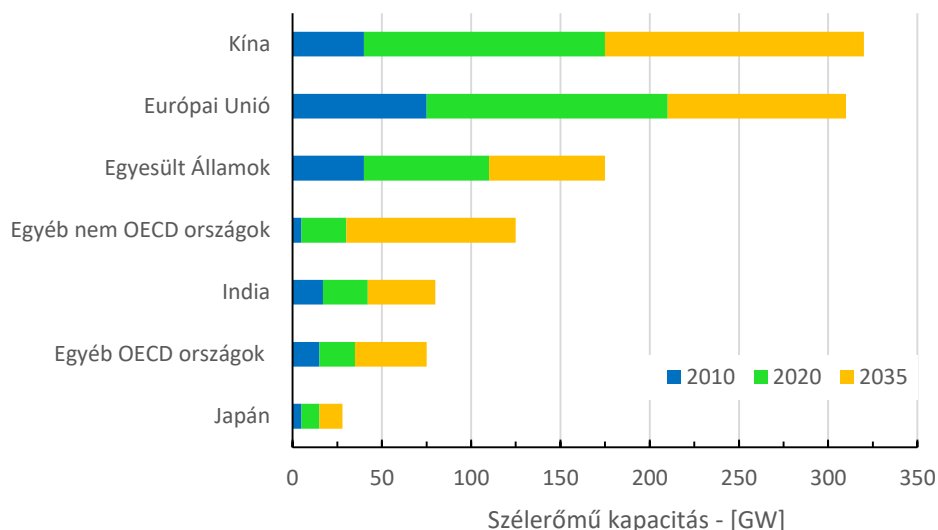
A megújuló energiák térnyerése szempontjából minden természettudományi, műszaki és gazdálkodástudományi kutatásnak nagy jelentősége van, ugyanakkor nem tekinthetünk el a technológiák komplex, rendszerszintű vizsgálatától sem. Ez fontos egyrészt az energiarendszer fejlesztési irányainak meghatározása szempontjából, másrészt mivel az egyes részszektorok, beruházások nem elszigetelten működnek az energiarendszerben. A rendszerszemléleten túl fontos hangsúlyozni a megújuló energetikában rejlő egyéb lehetőségeket is. Korunk ökológiai válságával egyidejűleg a világ országainak több problémával is meg kell küzdenie (Dombi, 2013).

A megújuló energiák hasznosításától tehát a klímavédelmet meghaladó előnyöket is tulajdonítanak, mint

- ✿ A foglalkoztatás növelése (Madlener - Stagl, 2005; Bergmann et al., 2006).
- ✿ A gazdaság élénkítése (Gáthy et al., 2006; Elghali et al., 2007; NFM, 2010; Grunwald - Rösch, 2011).
- ✿ A vidékfejlesztés (Bai et al., 2002; Menegaki, 2006; Baranyi, 2010).
- ✿ A nemzetközi kereskedelem bővítése (Popp, 2013).

A vízenergia, mint energiaforrás nagyon fontos, hiszen a világon a vízerőművekkel megtermelt több, mint 3.000 TWh/év villamos energia műszakilag hasznosítható készletnek 10-20%-át teszi ki. A vízenergia más megújuló energiafajtákkal ellentétben ökológiai szempontból nem környezetbarát, de felhasználása fontos a levegőszennyezés, az üvegházhatás csökkentésében, és 2020-ra több mint 4.200 TWh/év lesz a részesedése a villamosenergia mixben (WEO, 2011).

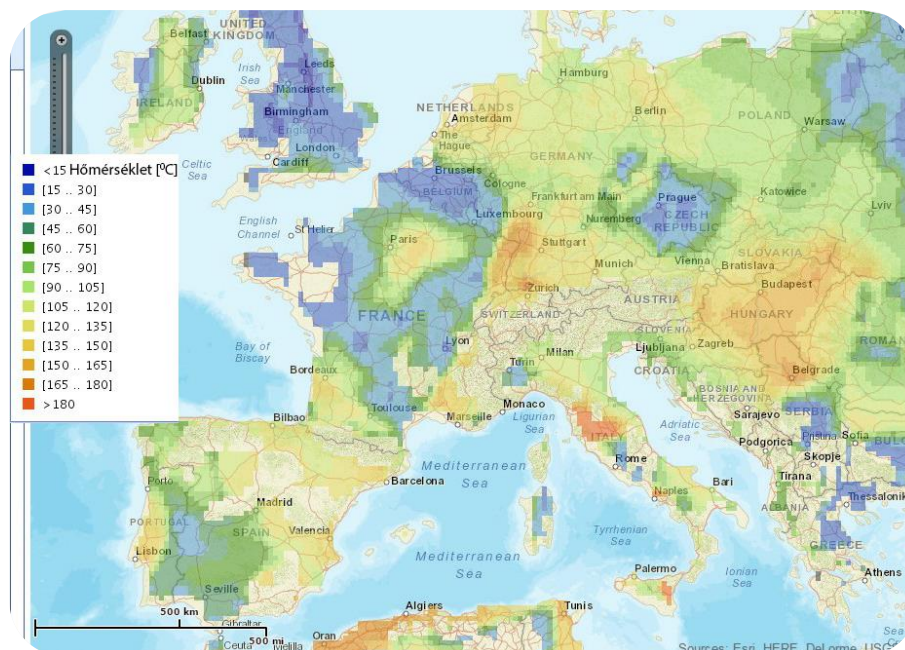
Az elmúlt évtizedben, különösen Európa vonatkozásában jelentős fejlődés következett be a szélenergia - melyet szélfarmokon és szélerőmű-parkokban hasznosítanak - és a napenergia hasznosításában is. Az EU előírása szerint létrejött tervben kifejtették, hogy ezek felhasználásának növekedése várható a jövőben, tekintettel arra, hogy a környezetszennyezés csökkentése szempontjából kiemelt szerepet játszanak. A következő diagramon a szélenergia kapacitását mutatom be régióként (**2. diagram**). Kékkel a 2010-es állapotok, zölddel a 2020-ig, sárgával a 2035-ig várható beépített kapacitás nagysága látható.



**2. diagram** Szélerőmű kapacitás régióként 2035-ös kitekintéssel  
 Forrás: Saját szerkesztés a *World Energy Outlook, 2011 adatai alapján*

Fontos megújuló energiaforrás a világban óriási mennyiségben termelődő biomassa is. Ma még a biomassa potenciálnak töredék részét hasznosítják, kivéve néhány országot, ahol jelentős a szerepük az energiaellátásban. Brazíliában nagy jelentősége van a bio-hajtóanyagoknak, de egyes európai országokban -mint például Franciaország- is számottevő a biodízel-hasznosítás. Hazánkban elsősorban a tüzelési célú mezőgazdasági melléktermék felhasználásának van jelentősége (*Sembery - Tóth, 2004*).

A Föld belseje felé haladva a hőmérséklet emelkedik. Ez az érték (geotermikus gradiens) hazánkban 5°C/100 m. Magyarországon a geotermikus energiafelhasználás 2004-es adat szerint 2.204 GWh/év volt (*Net16*). A geotermikus energia korlátlan és folytonos energia nyereséget jelent. Termálvíz formájában viszont nem kiapadhatatlan forrás. Kitermelése viszonylag olcsó, a levegőt nem szennyezi. A termálkútból feltörő vizet gáztalanítják, ülepítik, és sótartalmát részben eltávolítják, majd a felhasználás helyére szivattyúzzák, a lehűlt vizet pedig valamilyen vízáramba, vízgyűjtőbe vezetik. Amennyiben nincs a kútban vízutánpótlás, akkor idővel kevesebb vizet lehet kivenni. Megoldást jelenthet a kitermelt és már lehűlt víz visszasajtolása, amely mérsékeli a mély rétegekben található vízszint csökkenését. Geotermikus kapacitás területi eloszlását a következő ábrán mutatom meg (**2. ábra**).



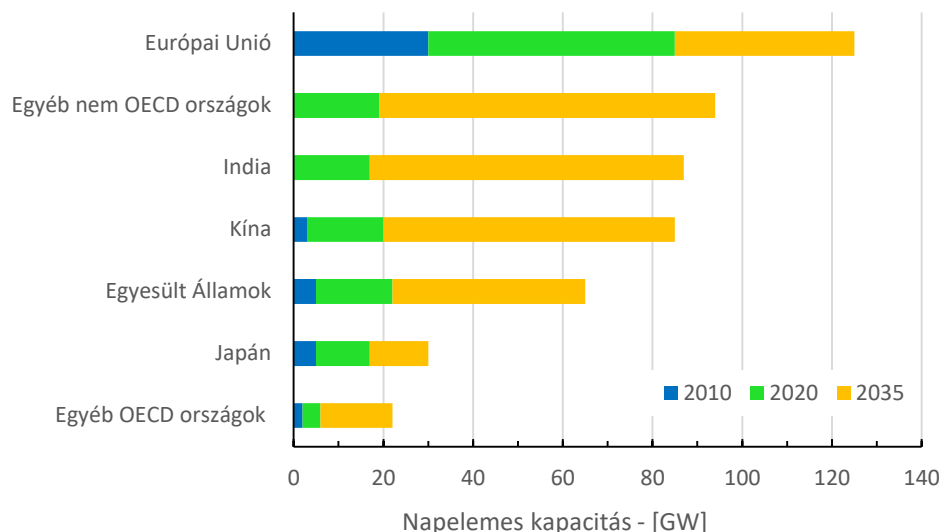
**2. ábra** Geotermális potenciál területi eloszlása Európában

Forrás: *ThermoGIS; Net22*

Magyarország alatt egyes becslések szerint 30.000 MW fajlagos hőenergia található, megállapítható, hogy nagyon jó potenciális lehetőségekkel bír Magyarország egész területén. A beépített kapacitás a világon 12,6 GW értékű, melynek jelentős része az USA-ban lett telepítve (*Bertani, 2015*).

A geotermális energiahasznosítás legdinamikusabban fejlődő ága a földtani közeg hőjét primeroldalként hasznosító hőszivattyús rendszerek alkalmazása (*Lund et al., 2010*).

A napenergia a Napban lejátszódó magfúziós folyamatok során keletkező energia, melynek egy része sugárzással szétszóródik a Napot körülvevő térben. A Nap 20 percenként annyi energiát sugároz a Földre, mint amennyit az egész emberiség egy év alatt felhasznál. A napfény, ami eléri a Földünket  $2 \times 10^{24}$  J (*Rau, 1976*). Ha a besugárzott energiának csak 1% -át, át tudnánk alakítani villamos energiává 10% -os hatékonysággal, akkor  $10^5$  TW-ot jelentene, míg a teljes globális energiaszükséglet körülbelül 25-30 TW. Az EU-n belül jelentős napelemes beépített kapacitás van már most is (**3. diagram**).



### 3. diagram Napelemes kapacitás régióként 2035-ös kitekintéssel

Forrás: Saját szerkesztés a World Energy Outlook, 2011 alapján

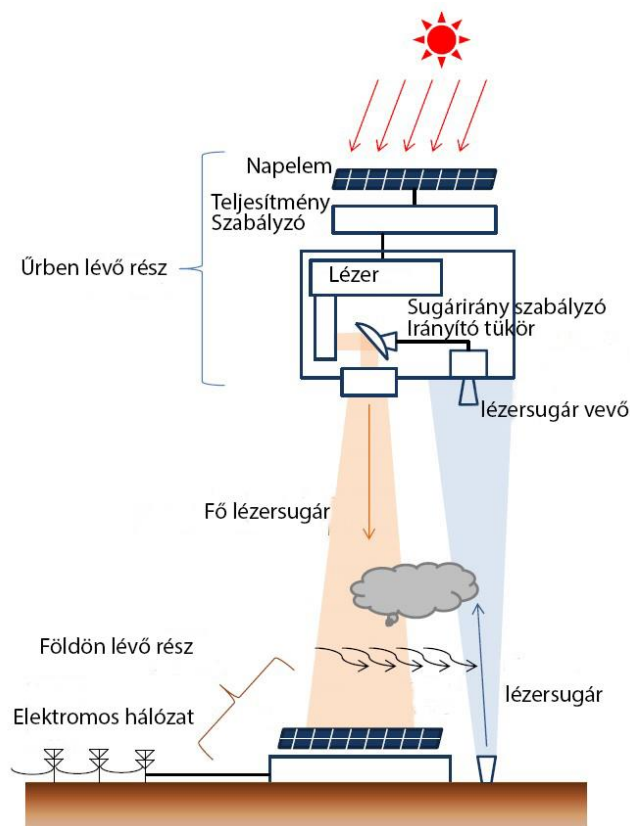
Kékkel a 2010-es állapotok, zölddel a 2020-ig, sárgával a 2035-ig várható beépített kapacitás nagysága látható. 2015-ben készített összefoglaló alapján, az első helyen Kína áll 15,2 GW teljesítménnyel, második helyen Japán 11 GW-val, harmadik az USA 7,3 GW-al és őket követi Európa 4 GW beépített kapacitással (IEA, 2015). A dinamikus fejlődés miatt fontos kiemelni, hogy Kína már 2016-ban átlépte a 63 GW napelemes kapacitást.

A napenergia felhasználásának két fatája van úgymint a passzív, és az aktív napenergia hasznosítás. Az aktívak közé tartozik a napelem (fotoelektromos napenergia hasznosítás), amely elektromos áramot termel, és a napkollektor (termikus napenergia hasznosítás), amellyel meleg vizet állíthatunk elő. A passzív napenergia hasznosítás az építészetben mutatkozik meg, melynek során külön kiegészítő eszköz igénybevétele nélkül lehetséges a napenergiát épületek fűtésére használni, például megfelelő tájolással, üvegezéssel, hatékony szigeteléssel.

A fotoelektromos napenergia hasznosítás lényege, hogy a beérkező energiát közvetlenül elektromos energiává alakítják, mely tárolása akkumulátorokban megoldható. A napelemek által előállított elektromos energia felhasználása sokoldalú használható például az elektromos berendezések energiával való ellátására, fűtésre, a bojler vizének felmelegítésére. A napelemek és a szél erőművek által megtermelt többletáram a meglévő elektro-

mos hálózatba visszatáplálható. Ez a leghatékonyabb támogatási rendszer, amelyet először Németországban alkalmaztak (Hoffmann, 2006). A legtöbb napelem működéséhez direkt napsugárzás szükséges, ilyenkor 10-15%, esetenként 20%-os hatásfok is elérhető. Újabban vannak olyan napelem konstrukciók, amelyek nem igényelnek közvetlen sugárzást (Kun, 2013), és a legkorszerűbb modulok hatásfoka több mint 40 %.

Egy 2014-es ICSOS (International Conference on Space Optical Systems and Applications) konferencián jelent meg egy ilyen rendszerről ismertető (3. ábra).



**3. ábra** Az L-SSPS működési vázlata

*Forrás: Saját szerkesztés Daisuke et al., 2014 alapján*

Az SSPS rendszer lényege, hogy a napenergiát már az űrben átalakítják és ezt az energiát egy földi rendszerre továbbítják mikrohullámok vagy lézer segítségével. A lézeres átviteli technológiának nagy előnye, hogy kompakt méretben legyártható mind a földi, mind az űri része, de érzékenyebb az időjárásra és az emberi szervezetre hatással van.

### 2.3. A megújuló energiaforrások szerepe az EU energiapolitikájában

Az Európai Unió energiapolitika minden tagállamot érint, amellett hogy lehetősége van saját szempontok alapján nemzeti programok kidolgozására. Az európai jogszabályok nagy hatással vannak a tagállamok jogára, ezen belül az energiával kapcsolatos nemzeti szabályozásra is. Az Európai Parlament és az Európai Unió Tanácsa együtt fogadja el az energiára vonatkozó uniós jogszabályokat, kivéve azokat, amelyek az atomenergiával és az energia adóügyi kérdéseivel foglalkoznak. Ez utóbbiakról az EU Tanácsa egyedül dönt. A tagállamok azonban a tagállami szakértői bizottságok révén már az uniós javaslatok szövegének kidolgozásában is részt vesznek (*EEBKF, 2012*).

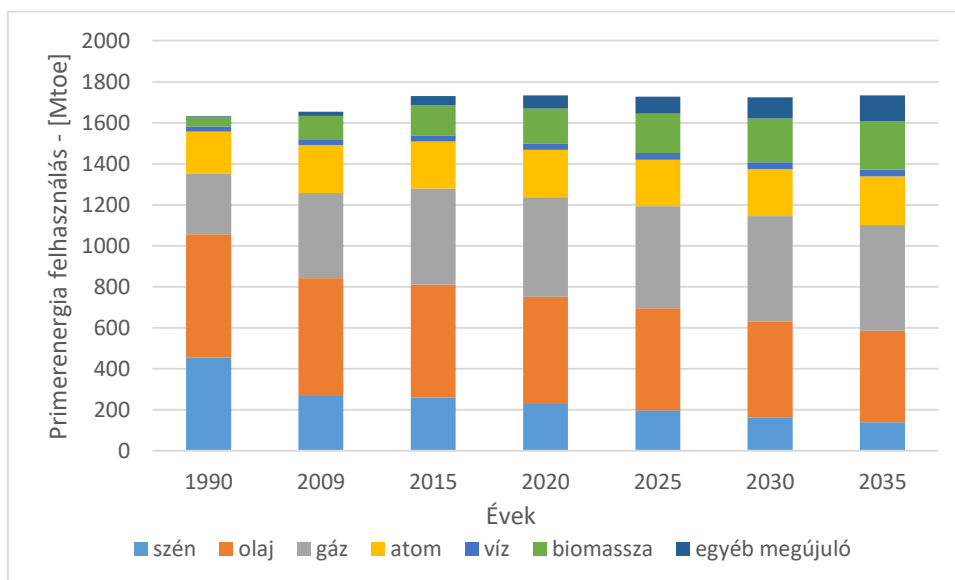
Az Európai Unió tagállamában a primer energiafelhasználás 1990-ben 1.081 Mtoe, 2000-ben pedig 1.133 Mtoe volt. A következő tíz évben további növekedés volt regisztrálható 2010-ben az energiafelhasználás 1.163 Mtoe –ra emelkedett, de 2014-ben 1.061 Mtoe-ra csökkent –a gazdasági válság hatására- (*Eurostat, 2016*).

Ugyanezen időszak alatt az energaintenzitás egy kg olajegyenérték 1000 EUR-ra vetítve jelentősen csökkent 1995-ben még 175 2000-re 155-re, majd 2010-ben 137 kilogramm kőolaj-egyenértékre. Magyarország energaintenzitása szintén csökkenő tendenciát mutat 1995-ben 376, 2000-ben még 314,4 2014-ben már csak 217,7 kilogramm olajjal egyenértékű energia segítségével állítottunk elő 1000 Euró értékű bruttó hazai terméket (*Eurostat, 2016*).

Az energiafelhasználás minden területén jelentős tartalékok vannak, különösen az épületállomány fejlesztése, a közúti közlekedés szabályozása és átalakítása, illetve az egyes termékek keresletének átalakítása által (*Tóthné-Szita, 2012*).

A meghatározó energiahordozó a kőolaj, 2010-ben a világon a primer energiafelhasználás 35 %-a volt kőolaj. Az atomenergia aránya 6 %, míg a megújuló energiaforrásoké globálisan 13 % volt 2010-ben (*IEA, 2012*). Az Európai Unió primer energiafelhasználásának arányai tulajdonképpen leképezik a globális eloszlást a kőolaj felhasználásának aránya 35%, a földgázé 25%, a szénéé 16%, az atomenergiáé 14%, a megújulók részaránya pedig 10% (*Eurostat, 2012*).

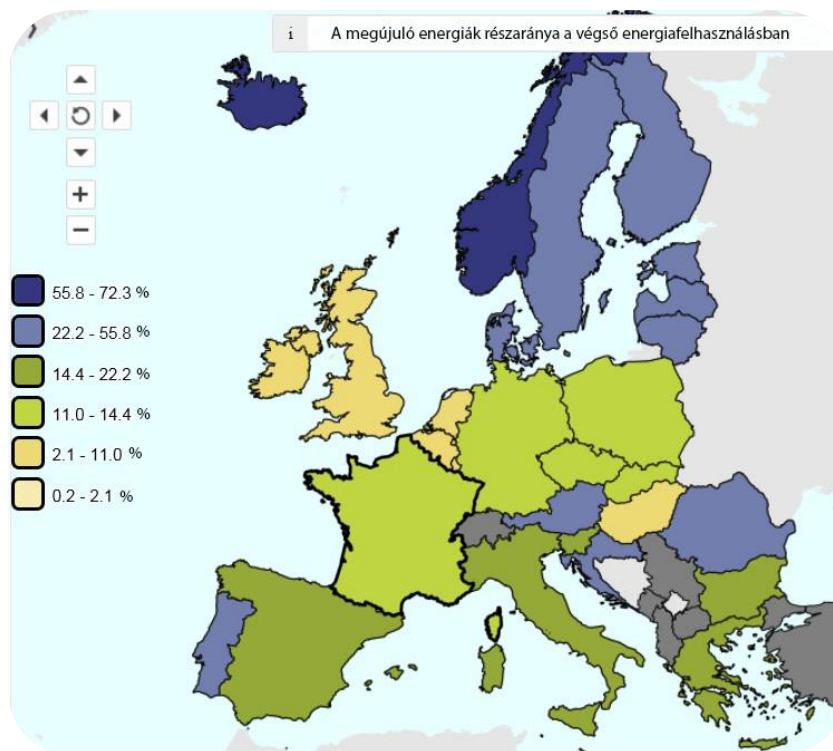
Az Európai Unióban a jelentős erőfeszítések, a politikai szándék és anyagi szubvenció ellenére idáig nem sikerült az energiakeverék gyökeres, fenntartható irányú átalakítása. (4. diagram). Magyarország megújuló energiaforrásainak aránya a primer energiafelhasználásban 2010-ben 7,8%, 2012-ben pedig 8,1% volt, ami nem éri el az EU-s átlagot (Eurostat, 2012; In: Bai, 2013).



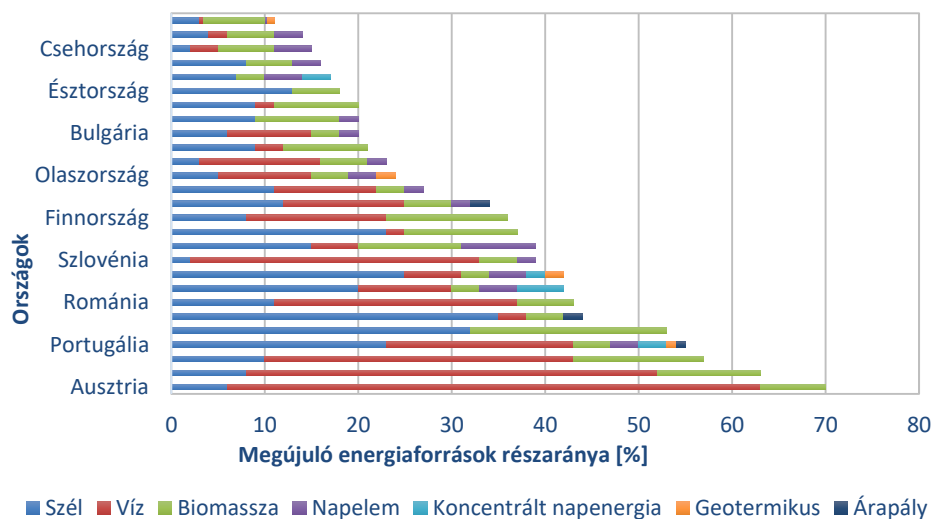
**4. diagram** EU primerenergia felhasználása energiahordozók szerint  
*Forrás: Saját szerkesztés a World Energy Outlook 2011 alapján*

A megújuló energiaforrásokon belül az egyik legdinamikusabban fejlődő terület a napelemes szektor, bár részarányát tekintve, a biomassa van előnyben legtöbb tagállamban, a 2020-as célkitűzésekben nagy hangsúlyt kap a napelemes szektor (5. diagram). Az egyes régiókban a megújuló energiaforrások részaránya nagy szórást mutat (4. ábra).

A tagállamokban a 11-20%-os részarány a jellemző. Az északi országokban ez az érték jóval magasabb, mivel jelentős vízenergiahasznosítás van ezeken a területeken a megújuló részaránya 50 % feletti. A szerkezeti összetétele viszont jelentős eltérést mutat. Jellemzően a biomassa kap nagyobb hangsúlyt, még például a geotermikus energia a jó adottságok ellenére sem.



**4. ábra** Megújuló energiaforrások részarányának területi eloszlása  
*Forrás: Eurostat, 2016*



**5. diagram** A villamosenergia termelésben a megújuló energiák részarány 2020-ra a tagállamokban  
*Forrás: EWEA: Saját szerkesztés az EU Energy Policy to 2050 adatai alapján*

A fenti diagram adatai alapján a környező országok között Szlovénia, Szlovákia és Csehország is sokkal nagyobb szerepet szánt a napelemes energiahasznosításnak, mint Magyarország annak ellenére, hogy nagy potenciális lehetőségünk lenne Nekünk is. A Magyar energiamixben a biomassa és a geotermális energiahasznosítás lesz előtérbe helyezve. Az EU tagállamok többsége a vízenergia kihasználását is növelni szeretné és jelentős része a megújuló energiaforrásoknak ezzel lesz lefedve (EWEA, 2011).

## 2.4. A megújuló energiaforrások szerepe Magyarországon

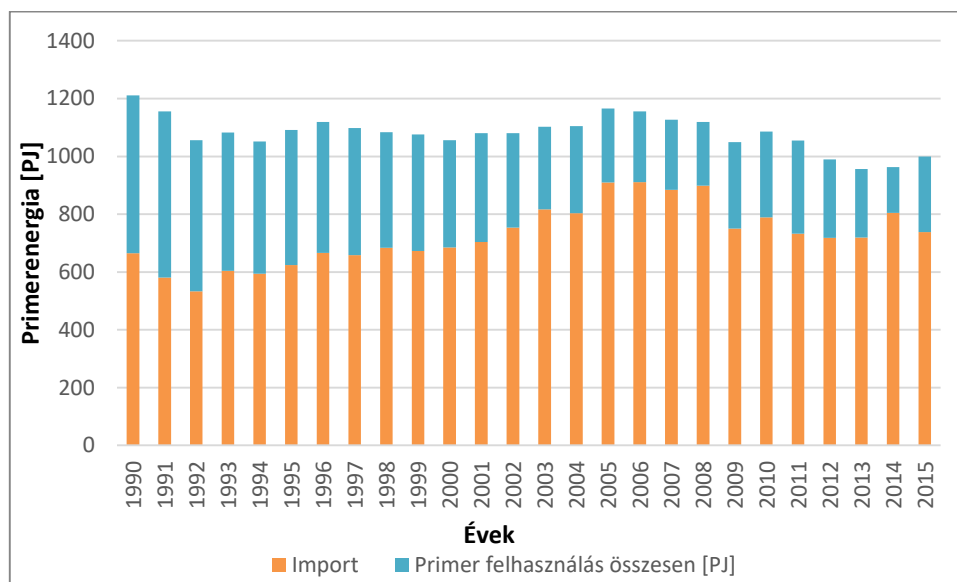
Magyarország hosszú távú energiastratégiájának alapjait olyan energiahatékonysági intézkedésekben látják a stratégia kidolgozói, melyek új, innovatív technológiák alkalmazásával, továbbá a társadalmi szereplők célzott szemléletformálásával érhetők el. Az energiastruktúra átalakítása során négy lépést kell megtenni, ahhoz, hogy a fenntartható és biztonságos energetikai rendszerek felé előrelépés történjen.

Ez a négy lépés a következő:

1. Meg kell valósítani a teljes ellátási és fogyasztási láncot átfogó energiahatékonysági intézkedéseket.
2. Növelni kell az alacsony CO<sub>2</sub> intenzitású (elsődlegesen megújuló energiaforrás alapú) villamosenergia-termelés arányát.
3. Növelni kell a megújuló hőtermelés arányát.
4. Növelni kell továbbá az alacsony CO<sub>2</sub> kibocsátású közlekedési módok részesedését.

Magyarországon az energiafelhasználás összetételének változása az Európai Unió átlagánál is kedvezőtlenebb hosszú távú tendenciát mutat. A 90-es évek elejétől közel 10 %-kal csökkent a hazai összes energia felhasználás, de ez a csökkenés elsősorban a rendszerváltozás után ipari tevékenység csökkenésnek az eredménye. A hazai gázfelhasználás és egyéb fosszilis energiahordozók importjának részaránya 67 %-os, ha a nukleáris fűtőanyag behozatallal is figyelembe vesszük, akkor az importfüggőségünk 80% (Molnár, 2002).

Magyarország primer energiafelhasználása a rendszerváltás után jelentősen csökkent, majd 1.050-1.100 PJ között állandósult. 2004 után a felhasználás növekedésnek indult, de a 2008-ban kezdődő gazdasági válság hatására ismételten 1.100 PJ alá esett és 2014-ig folyamatosan csökkent. A 2015-ös évben kismértékű emelkedés után 1.000 PJ értékű volt a hazai primerenergia-felhasználás (6. diagram).

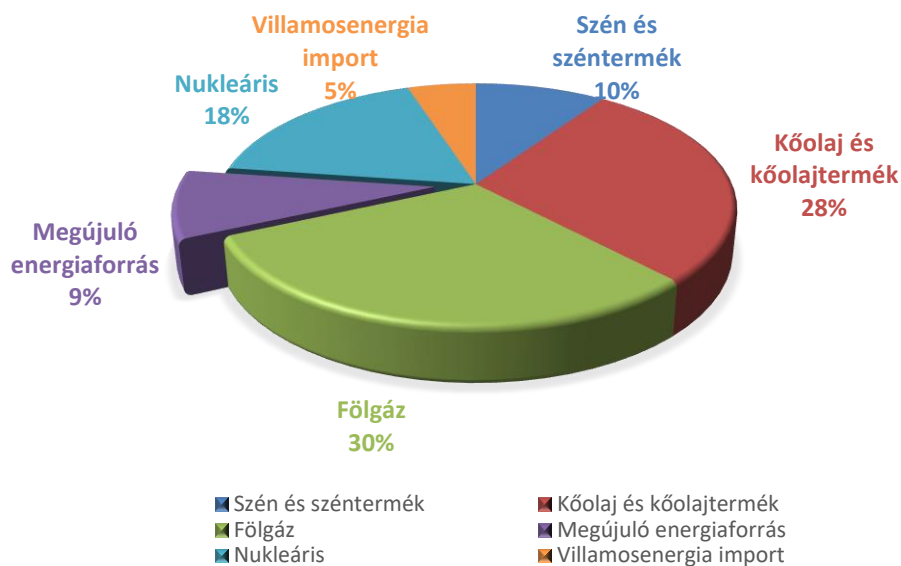


**6. diagram** Magyarország primerenergia-felhasználása 1990-2015

*Forrás: KSH, 2015; Net9*

Annak ellenére, hogy hazánk kitűnő természeti adottságokkal rendelkezik megújulóknál, a részaránya a végső energiafelhasználáson belül csak 6,6% volt 2008-ban. Az NCsT ütemterve szerint 2010-re 7,4%, ezzel az EU tagországok közt az alsó egyharmadban foglalunk helyet. A 2008-as EU-27 átlag: 10,3%, és a többi hasonló fejlettségű országtól is elmaradunk Bulgária 9,4%, Csehország 7,2%, Lengyelország 7,9%, Románia 20,4% illetve Szlovákia 8,4% (NFM,2012).

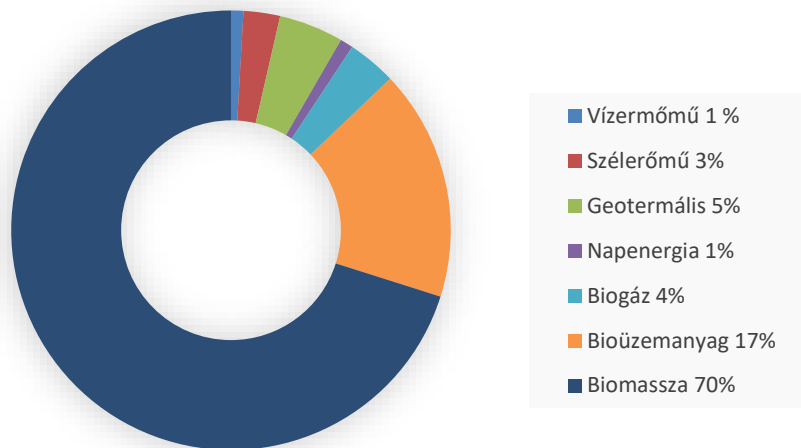
Fejlődik a megújuló energiaforrások felhasználásának tekintetében - 2014-ben, már 9% - a hazai energiaszektor, de még mindig a fosszilis energiahordozók magas aránya a meghatározó (7. diagram). Az atomenergia viszonylag magas aránya klímavédelmi szempontokból előnyös a hazai energiamixben, amit tovább fognak növelni a jövőben.



**7. diagram** Magyarország 2014-es primerenergia felhasználása energiahordozók szerint  
*Forrás: KSH, 2014; Net8*

Magyarországi adottságokat tekintve elmondható, hogy kedvező lehetőségeink vannak, a környezeti energiák tekintetében a vízenergiát és a szélenergiát kivéve. A szélenergia inkább csak az észak-nyugati országrészben kedvező, míg a vízenergiával a kedvezőtlen vízrajzi helyzet miatt nem jelentős a potenciálja.

Magyarországon a legnagyobb arányban hasznosított megújuló energiaforrás a biomassza, amely 2015-ben az összes megújuló energia közel 70 %-át adta. A biomasszát követi a geotermikus energia 5%-kal, amely inkább balneológiai felhasználást jelent. A bioüzemanyag 17 %-os részesedése is nagy jelentőségű, viszont a napenergia hasznosítás továbbra is alacsony 1% (8. diagram).



**8. diagram** Magyarország megújuló energiaforrásának megoszlása a primerenergia felhasználásban

*Forrás: Saját szerkesztés (KSH, 2015) adatai alapján*

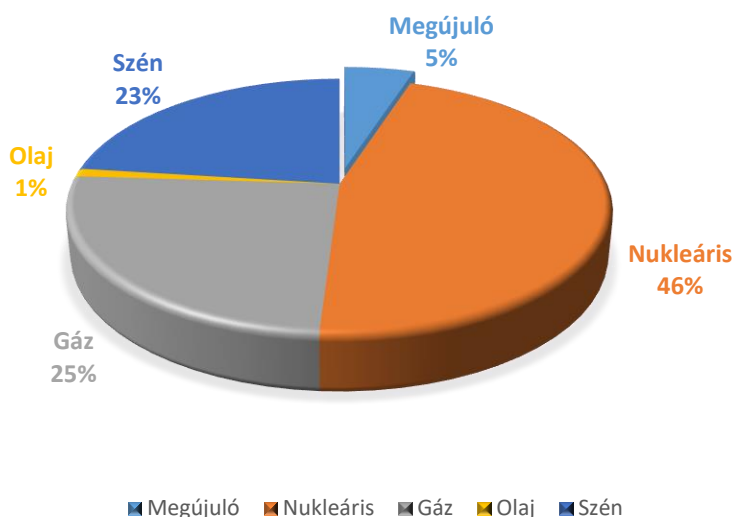
A megújuló energiahordozókat ma hazánkban elsősorban hő- és villamosenergia-termelésben, valamint üzemanyagként hasznosítják, bár az előzőhöz viszonyítva jóval kisebb mértékben (Garamhegyi, 2007; Net2).

Magyarország területének 0,1%-os lefedésével, 10%-os hatásfokkal számolva, a napsütéses órák számának figyelembevételével, fedezhetnénk az energiaigény 40%-át napenergia hasznosítás által (Reményi, 2007). Az időjárási bizonytalanságokat, a szerelés optimumtól való eltérését figyelembe véve azonban a lehetőség inkább már a 10%-hoz közelít (Vajda, 2004). Az MTA felmérése szerint az elméleti potenciál 1838 PJ, ebből a hasznosítható potenciál mindössze 4-10 PJ lehet (GKM, 2007). A napenergia hasznosításának különbözőterületei alapján a hasznosítható hazai napenergia-potenciált a következőképpen értékeli:

- ☼ aktív szoláris termikus rendszerek: 48,8 PJ;
- ☼ mezőgazdasági szoláris termikus alkalmazások: 15,9 PJ;
- ☼ a fotovoltai (PV) energetikai potenciál értéke 1.749,0 PJ évente;
- ☼ a passzív szoláris 19 termikus energiahasznosításban rejlő energiamennyiség pedig évi 37,8 PJ.

Így évente összesen 1.851,5 PJ energiamennyiség lenne kinyerhető (Farkas, 2010).

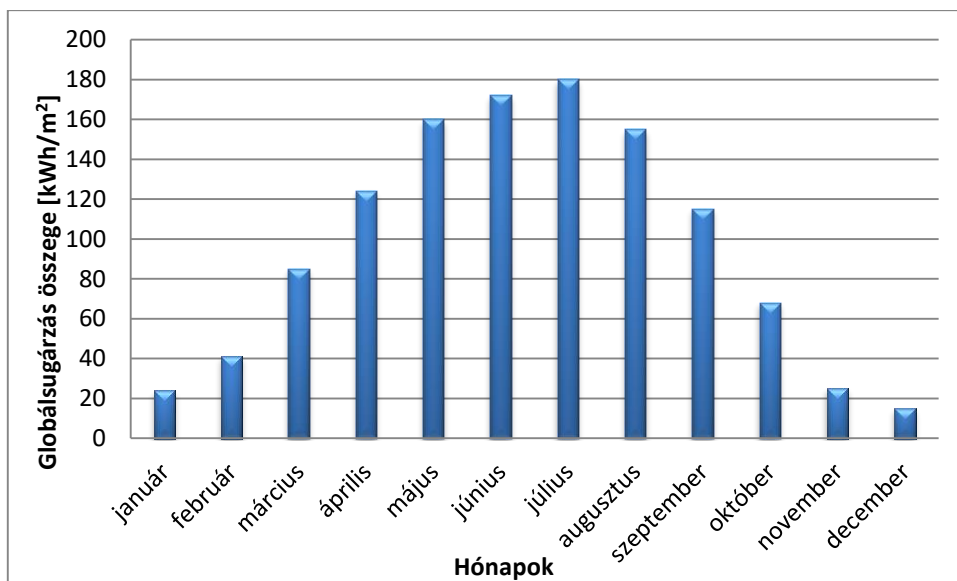
A napenergia hasznosítás ezek alapján a villamosenergia szektorba lehetne a legdominánsabb. Hazánk villamos energia termelésében jelenleg az atom-energia kiemelt fontosságú, az Európai Unió átlaghoz képest is jóval magasabb 46%-os részesedéssel (9. diagram). Magyarország energia stratégiája szerint a meglévő atomerőműveket korszerűsíteni kell, mivel a közeljövőben biztosan nem lesz megoldható az atom-energia, a kőolaj és a palagáz használatának teljes kizárása az energiamixből (NFM, 2012).



**9. diagram** Magyarország villamosenergia-termelése energiahordozók szerint  
*Forrás: Saját szerkesztés (NFM, 2012) adatai alapján*

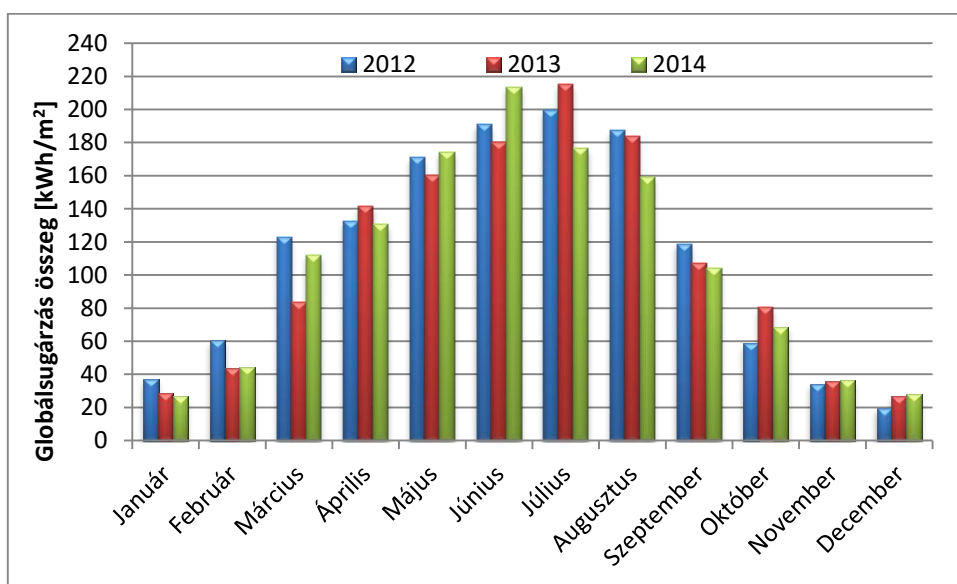
Magyarországon a globális sugárzás értéke a déli órákban téli időszakban 250-600 W/m<sup>2</sup>, a nyári félévben 600-1000 W/m<sup>2</sup> között változik. A szórt sugárzás részaránya 40-50% értékű is lehet. Hazánkban a századforduló óta végeznek rendszeres megfigyeléseket a napsugárzásra és a napsütés időtartamának regisztrálására (Farkas et al., 2003). A következő diagramon egy budapesti vízszintes felületen mért átlagos havi napsugárzás összeget mutatok be (10. diagram).

Debrecenben a mérések szerint a budapesti átlaghoz képest kedvezőbbek a globálisugárzási összegek, amit 2012 és 2014 között mértek.



**10. diagram** A globálisugárzás átlagos havi eloszlása Budapest  
*Forrás: Saját szerkesztés (Kaboldy, 1999) adatai alapján*

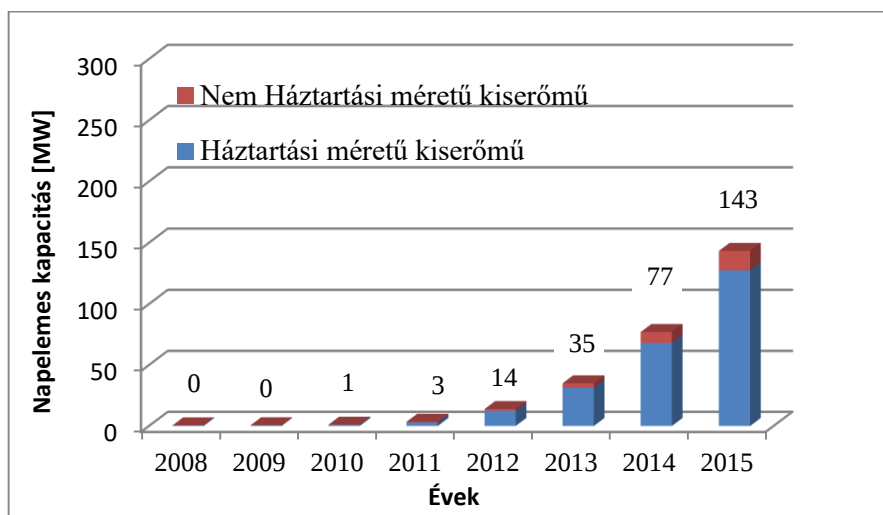
A Debreceni Egyetem Agrártudományi Központ Agrometeorológiai és Agroökológiai Monitoring Központ debreceni mérési adatsorát egy vízszintes felületen mért havi globálisugárzásra vonatkozóan a **(11. diagram)** mutatom meg.



**11. diagram** A globálisugárzás havi eloszlása 2012-2014-között Debrecenben  
*Forrás: Saját szerkesztés*

A 2012-es időszakban az 1 m<sup>2</sup>-re eső éves sugárzás intenzitás 1.332 kWh/m<sup>2</sup> értékű volt, míg 2013-ban 1.286 kWh/m<sup>2</sup> és 2014-ben csak 1.274 kWh/m<sup>2</sup>. A Budapesten készült korábbi mérési adatsor eredményei ettől kedvezőtlenebbül alakultak, akkor az éves átlag, 1.164 kWh/m<sup>2</sup> értékű volt.

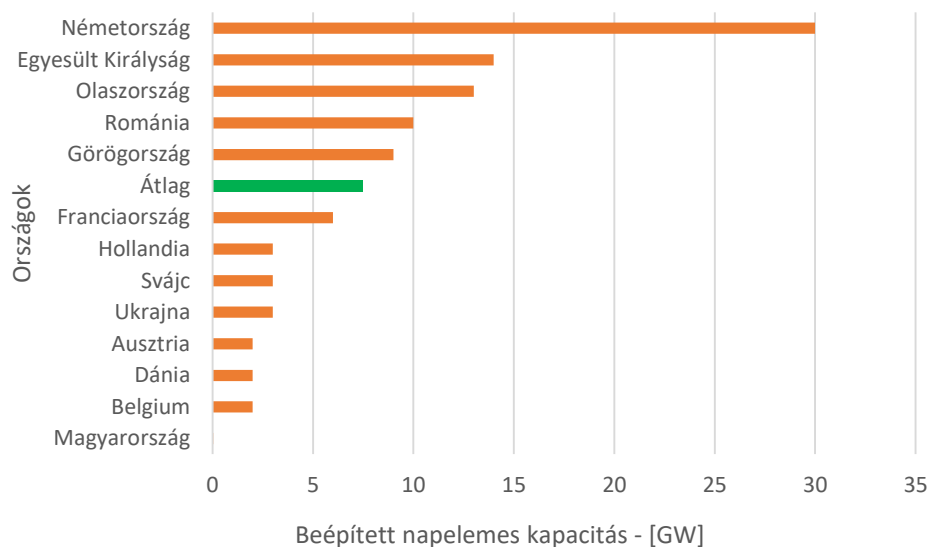
A jelenlegi hazai napelemes beépített kapacitásról a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal által közzé tett adatokból tájékozódhatunk. (**12. diagram**). Elmondható, hogy az összes beépített kapacitás, több mint 140 MW, ebből a háztartási méretű kiserőművek a legmeghatározóbbak a maguk 127 MW teljesítményükkel. Az elmúlt években 140-szeresére nőtt ez a kapacitás, ami nagyon biztató tendencia.



**12. diagram** Beépített napelemes kapacitás MW értékben Magyarországon  
*Forrás: Saját szerkesztés, Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal, 2016 adatai alapján*

A napelemes rendszerek beépített kapacitása az EU más tagországaiban sokkal nagyobbak. Az EPIA által készített felmérés eredményei alapján az EU-s átlag 20-szorosa a Magyar beépített kapacitásnak (**13. diagram**).

Ha csak a szomszédos Romániát nézzük ott is 1.097 MW napelemes kapacitás volt beépítve már 2013-ban, ami harmincszorosa az akkori hazai kapacitásnak. A németországi példát is ki kell emelni, ahol 3.300 MW napelem van, ami közel százszorosa a hazai kapacitásnak (EPIA, 2014).



### 13. diagram Beépített napelemes kapacitás az EU-ban 2013-ban

*Forrás: Saját szerkesztés az EPIA Global Market Outlook 2014-2018 adatai alapján*

Az országban elérhető napenergia potenciált se napkollektorokkal, se napelemekkel nem hasznosítjuk eléggé. A jövőben a napkollektor-rendszerek árcsökkenése és az ilyen irányú támogatásoknak köszönhetően jelentősen növekedni fog, főleg a HMV előállításra felhasznált rendszerek száma. A nyári időszakban jól hasznosíthatóak akár medencefűtésre és távhő rendszerek ellátására is. A másik hasznosíthatóság a közvetlen villamosenergia termelés napelemekkel. A napelemek segíthetnek ellátni, az amúgy el nem látott területeket árammal, mint pl. a tanyákat.

A napenergiának van még egy hasznosíthatósága, ezek az úgynevezett naperőművek, ahol hagyományos erőműi körfolyamatot napenergiával hajtanak meg. Az első ilyen erőművek 2020-ig megjelenhetnek hazánkban is.

A Magyarország felszínére eső globális sugárzás évente megközelítőleg 4.200-4.600 MJ érték négyzetméterenként. A legtöbb besugárzás a Duna-Tisza közét és az Alföldöt, míg a legkevesebb az Alpokalját és az Északi-középhegységet éri. A legnagyobb besugárzás júliusban, a legkisebb decemberben van (Net4).

A megújuló energiaforrások arányának növekedése még mindig meglehetősen lassú, a szabályozási környezet bizonytalansága hátráltatja a beruházásokat. Az elmúlt időszakban a szénfelhasználás csökkenő, míg a földgáz és a megújuló energiaforrások használata növekvő tendenciát mutat.

Összességében megállapítható, hogy Magyarország bővelkedik megújuló energiaforrásokban és jelentős potenciál van benne, bár még jelenleg a fosszilis és nukleáris energiahordozók részaránya magasabb az energiamixben, remélhetőleg ez hamarosan változni tud. A megújulók legfőbb tulajdonságait a következő táblázat tartalmazza (**1. táblázat**).

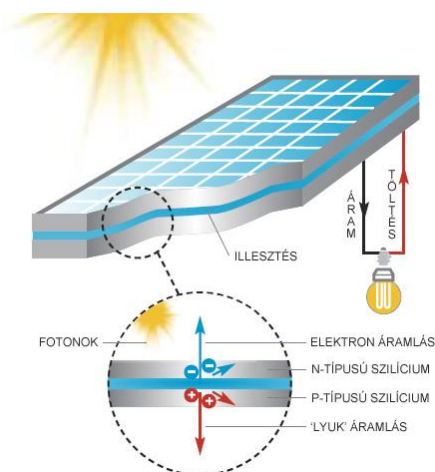
**1. táblázat:** A megújuló energiák tulajdonságainak összefoglalása  
 Forrás: Dorogi Éva (2009) alapján, Saját szerkesztés

|             | Felhasználási terület |            |           | Adottságok                                               | Rendelkezésre állás         | Felhasználás akadályai                                  |
|-------------|-----------------------|------------|-----------|----------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------|
|             | Villamosenergia       | Hőtermelés | Üzemanyag |                                                          |                             |                                                         |
| Vízenergia  |                       |            |           | Kedvezőtlen vízrajzi helyzet                             | Időjárás, Régió függő       | Természetvédelmi problémák, kedvezőtlen adottság        |
| Szélergia   |                       |            |           | Csak Észak-Nyugat Magyarországon kedvezőek az adottságok | Időjárás függő, régió függő | A jelenlegi villamoshálózatra csatlakozása is problémás |
| Biomassza   |                       |            |           | Kedvező mezőgazdasági adottságok                         | Időszakos, egész területen  | Nem mehet az élelmiszertermelés rovására                |
| Geotermikus |                       |            |           | Kiváló adottságok                                        | Bármikor, egész területen   | Magas beruházási költség                                |
| Napenergia  |                       |            |           | Kedvező adottságok                                       | Időjárás, régió függő       | Magas beruházási költség                                |

## 2.5. Napelemek gyártástechnológiái

Az egyik legfontosabb megújuló energiaforrásunk a napenergia, melynek hasznosítása történhet hőenergia, valamint villamosenergia formájában is. A közvetlen villamosenergia termelés napelemek alkalmazásával lehetséges, ahol az eszköz a beeső fény hatására elektromotoros erőt állít elő. Ez a fajta energiaforrás optimálisnak bizonyul, hiszen működése közben nem okoz szennyezést, élettartama a típusától és gyártástechnológiájától függően akár 20-40 év is lehet.

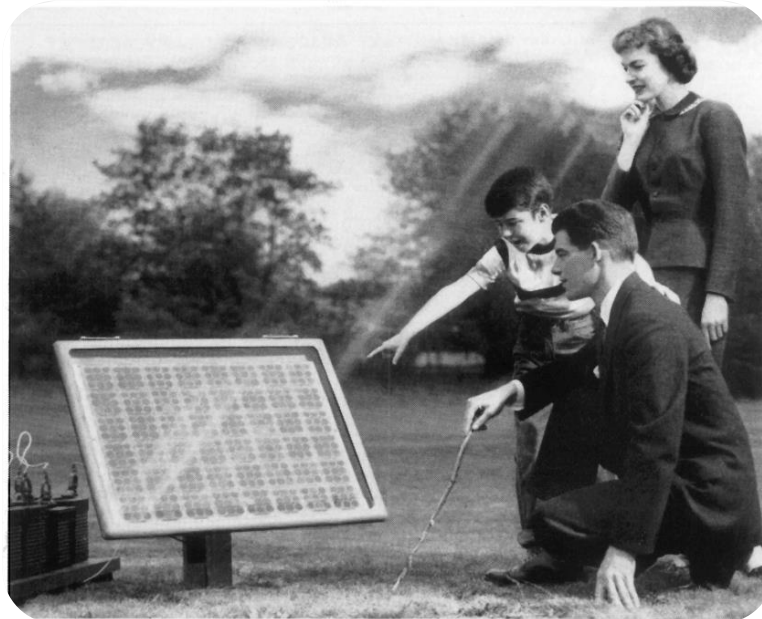
A napelemekben alkalmazott fizikai hatás a foton-szilárdtest kölcsönhatás, azaz megvilágítás hatására töltéshordozók generálódnak a félvezető anyag belsejében. Egy elnyelt foton gerjesztheti a kristály vegyérték-elektronjait. Amennyiben ez a gerjesztés elég erős, akkor az elnyelődött foton egy elektront a vegyérték sávból a vezetési sávba juttat. Ennek az a feltétele, hogy a beeső foton energiája nagyobb legyen, mint a tiltott sáv szélessége. A folyamat eredménye egy mozgásképes elektron a vezetési sávban és egy lyuk (elektronhiány) a vegyérték sávban. A létrejövő töltéshordozókat valamilyen módon szét kell választani, hogy elkerüljük a rekombinációt. A szétválasztás egy a felület közelében kialakított p-n átmenet beépített terével valósul meg, így az (elsősorban a kiürített rétegben generált) elektronok az n-réteg felé, míg a lyukak a p-réteg felé áramlanak (5. ábra). A cella mindkét oldalához kivezetéseket csatlakoztatva a szétválasztott elektronok és lyukak összegyűjthetők, így az eszköz elektromos generátorként működik (Horváth, 2006).



5. ábra Napelem cella működése

Forrás: Net24

Az első igazi napelemet Charles Fritts készítette New Yorkban egy táblán szelén réteget vékony és félig átlátszó aranyfilmmel vont be 1885-ben, ezt követően 1954-ben Bell Laboratories-ban cellát teszteltek, és az egyik közel 6%-os hatásfokot ért el (**1. fénykép**). Darryl Chapin, Calvin Fuller és hozzájuk csatlakozva Gerald Pearson tucatnyi napelem-táblát szerelt össze és elindult a napelemek villamosenergia hasznosítása (*Chapin et al., 1954*).



**1. fénykép** A Bell társaság akkumulátor töltésre kifejlesztett napeleme  
Forrás: Net26

A napelem alkalmazásához, de legfőképp a fejlesztéséhez ismerni kell a cella főbb paramétereit és a karakterisztikáit. Ezek ismeretében következtetni lehet az esetleges technológiai problémákra. A napelem cella legfontosabb elektromos paramétereit:

- ☼ üresjárási feszültség ( $U_{\bar{u}}$ ),
- ☼ rövidzárási áram ( $I_{rz}$ )
- ☼ maximális teljesítmény ( $P_{\max}$ )
- ☼ a maximális teljesítményhez tartozó munkaponti feszültség ( $U_m$ ),
- ☼ munkaponti áram ( $I_m$ )
- ☼ optimális terhelő ellenállás ( $R_{\text{opt}}$ )
- ☼ fill-faktor vagy kitöltési tényező (FF)
- ☼ hatásfok ( $\eta$ )
- ☼ soros ellenállás ( $R_s$ )
- ☼ párhuzamos vagy sönt ellenállás ( $R_{sh}$ )

A napelem cella hatásfokát és egyben a karakterisztikáit nagyban befolyásolja a veszteségi ellenállások értéke. Ideális esetben a soros ellenállás értéke  $R_s=0 \Omega\text{cm}^2$ . Növekvő soros ellenállás esetén csökken a napelem kitöltési tényezőjének értéke. Rendkívül nagy ellenállás esetén az I-U karakterisztika ellaposodik és a rövidzárási áram értékét is lecsökkentheti. (Földváry-Bándy, 2015).

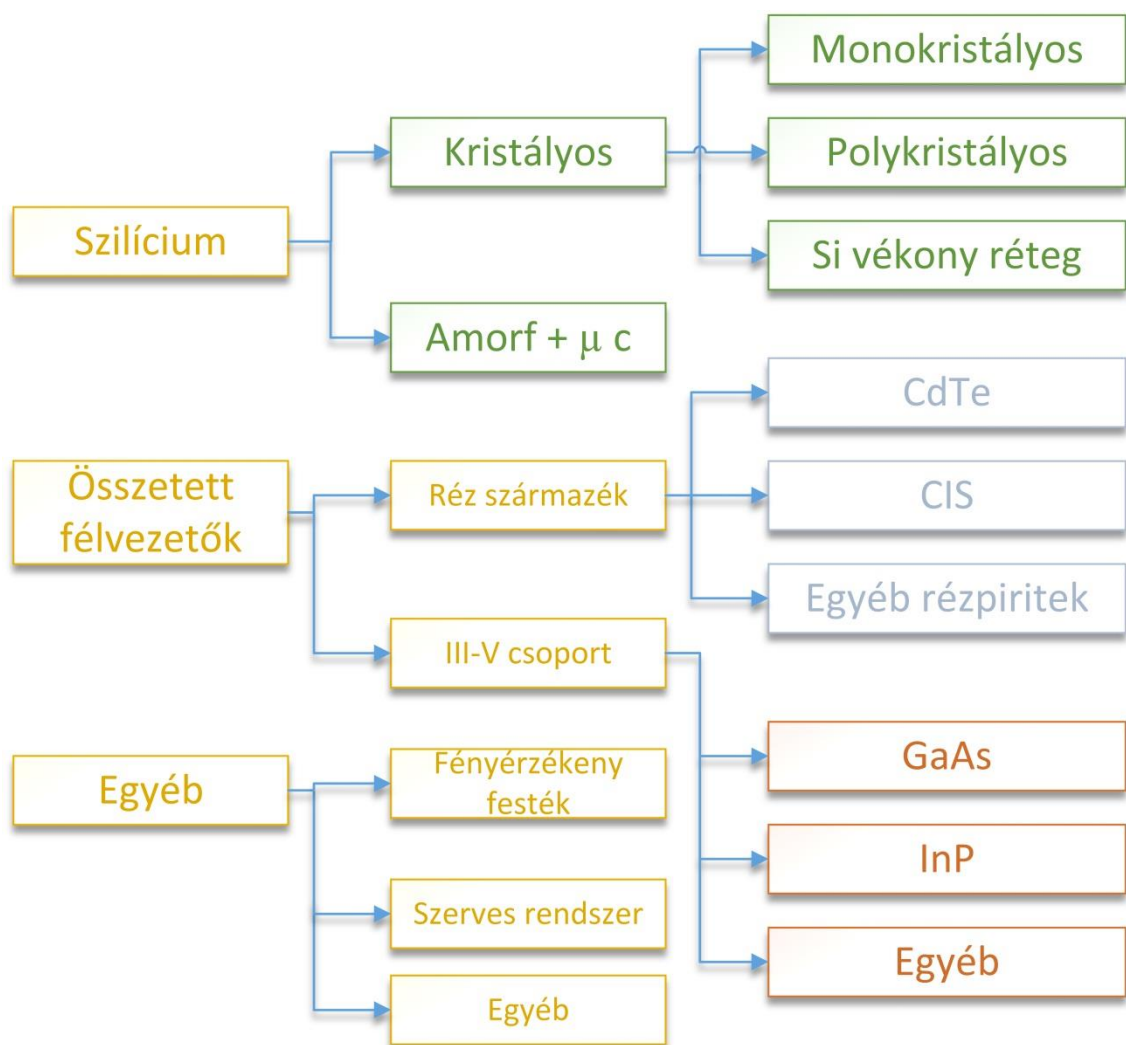
A kitöltési tényező (fill factor) a napelem fontos jellemzője. A napelem belső veszteségeit írja le és az alkalmazott anyagok és gyártási eljárások minőségét jellemzi. A jónak számító kitöltési tényező 0,85 körül van egykristályos szilícium esetén, de vékonyréteg napelemek esetén 0,7, vagy ennél kisebb érték is lehet (Raubert, 2004). Különböző típusú napelemek kitöltési tényezőjét és hatásfokát az alábbi táblázatba foglaltam össze (2. táblázat).

**2. táblázat** Különböző napelem típusok hatásfoka, és kitöltési tényezője  
(Forrás: M.A. Green et al., 2012)

| Besorolás                                    | Hatásfok [%]   | Kitöltési tényező |
|----------------------------------------------|----------------|-------------------|
| Si (kristályos)                              | $25.0 \pm 0.5$ | 82.8              |
| Si (multikristályos)                         | $20.4 \pm 0.5$ | 80.9              |
| Si (vékonyfilm átvitel)                      | $19.1 \pm 0.4$ | 77.6              |
| Si (vékonyfilm részmodul)                    | $10.5 \pm 0.3$ | 72.1              |
| GaAs (vékonyfilm)                            | $28.3 \pm 0.8$ | 86.7              |
| GaAs (multikristályos)                       | $18.4 \pm 0.5$ | 79.7              |
| InP (kristályos)                             | $22.1 \pm 0.7$ | 85.4              |
| CIGS (cella)                                 | $19.6 \pm 0.6$ | 79.2              |
| CIGS (részmodul)                             | $17.4 \pm 0.5$ | 75.5              |
| CdTe (cella)                                 | $16.7 \pm 0.5$ | 75.5              |
| Si (amorf)                                   | $10.1 \pm 0.3$ | 67.0              |
| Si (nanokristályos)                          | $10.1 \pm 0.2$ | 76.6              |
| Festékanyaggal fényérzékenyített             | $11.0 \pm 0.3$ | 70.3              |
| Festékanyaggal fényérzékenyített (részmodul) | $9.9 \pm 0.4$  | 71.4              |
| Organikus vékonyfilm                         | $10.0 \pm 0.3$ | 66.1              |
| Organikus részmodul                          | $4.2 \pm 0.2$  | 47.7              |
| GaInP/GaInAs/Ge                              | $34.1 \pm 1.2$ | 86.0              |
| a-Si/nc-Si/nc-Si (vékonyfilm)                | $12.4 \pm 0.7$ | 71.5              |
| a-Si/nc-Si (vékonyfilm cella)                | $12.3 \pm 0.3$ | 69,4              |
| a-Si/nc-Si (vékonyfilm részmodul)            | $11.7 \pm 0.4$ | 71.3              |

A napelemek egyik legáltalánosabb csoportosítási módja a gyártásnál felhasznált alapanyag szerinti felosztás. Ez alapján az eszközök négy nagy csoportra bonthatók. A hétköznapi felhasználás tekintetében az egyik legelterjedtebb csoport a kristályos szilícium alapú napelemeké.

Az alapanyag előállításának módjától függően több altípus is létezik: monokristályos, polikristályos. A hatásfok javításában két fontos tényező játszik szerepet: az alapanyag minősége (pl.: szennyező anyagok koncentrációja, kisebbségi töltéshordozók élettartama) és a cella gyártástechnológiája (6. ábra).



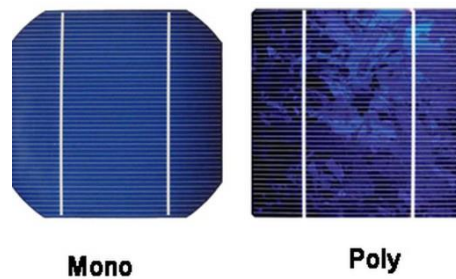
**6. ábra** A napelemek csoportosítása alapanyaguk szerint  
*Forrás: Rauber,2011; Net19*

A kristályos napelemek a legrégebben használt, legkiforrottabb és a legelterjedtebb technológiának számítanak, 1954 óta gyártják tömeggyártásban. Az egykristályos alapanyagból készült eszközök esetén érhető el a legnagyobb hatásfok, ugyanakkor ezek az alapanyagok a legdrágábbak. A monokristályos cellák éleit levágják a henger alakú tömbből, hogy jobban el lehessen helyezni őket a napelem modulon. Leggazdaságosabban nyolcszög alakú cellákat lehet vágni a mono tömbökből. Így ránézésre is meg lehet különböztetni a poli- és monokristályos cellákat és az abból készült napelemeket, a polikristályos négyzet, a monokristályos nyolcszög alakú cellái alapján.

A hordozó egykristály húzása drága technológia. A polikristályos alapanyag előállítása lényegesen egyszerűbb, mint az egykristályos anyagé. A kristályhúzást kikerülve az elektronikai tisztaságú Si alapanyagot megömlesztve egy négyszögletes grafittegelybe öntik és szabályozott hűtés mellett kikristályosítják. A kristályosodás több gócpontból indul és így a megszilárdult anyag polikristályos lesz. A megömlesztett anyag szabályozott hűtése arra irányul, hogy a kristallit méret lehetőleg nagy és homogén, és a megszilárdult anyag lehetőleg hasábos szerkezetű legyen. Az anyag kristallit mérete mm-től a cm-es nagyságig terjed.

A napelem felülete sérülhet a vágatból távozó és visszafröccsent, megdermedt szilíciumtól (*Lasagni, 2011; Hendel, 2008; Net1*). Erre a problémára lehet megoldás egy új technológián alapuló úgynevezett „water jet guided laser módszer”. A vízszugár a megmunkálás során hűti a felületet, így a hőterhelt zóna mérete kisebb lehet, valamint elvezeti a felesleges olvadékot a vágási él mentén (*Bruckert et al., 2012; Perrottet et al., 2008; Kraya et al., 2007*).

A tegely alapterülete  $30 \times 30 \text{ cm}^2$ , melyet később kisebb hasábokra vágnak ( $15 \times 15 \text{ cm}^2$ ,  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ). Ebből az anyagból majdhogynem minden egykristályos szerkezet előállítható kisebb hatásfokkal, de vannak tipikusan ebből az anyagból készülő cellák is (*Nemcsics, 2001*). Az így előállított napelemnek olcsóbb az alapanyaga, mint a monokristályosé, de egyrészt a darabolással elvész az anyag fele, másrészt a kristályok határfelületén a fény által létrehozott elektron-lyuk párok áramtermelés nélkül rekombinálódhatnak, így a hatásfok kisebb.



2. fénykép A poli- és a monokristályos cella

*Forrás: Net27*

A második nagy csoportba a különböző típusú vékonyréteg napelemek sorolhatók, melyekből a legelterjedtebbek az amorf szilícium alapú eszközök. A  $\text{CuInSe}_2$ ,  $\text{CdTe}$ ,  $\text{CuGaSe}_2$ ,  $\text{GaAs}$ , a napelem-készítésben leggyakrabban alkalmazott anyagok, melyekből elegendő néhány  $\mu\text{m}$ -es vastagság is a fény teljes abszorpciójához. Ezek a vékonyrétegek leválaszthatók üveg vagy fémfólia hordozóra. A napelemet nem kristálynövesztéssel, hanem gőzfázisból lecsapással állítják elő.

aSi- $\mu\text{Si}$ , azaz amorf szilícium (aSi) és mikromorf ( $\mu\text{Si}$ ) szilícium a ma használt technológiák közül az egyik nagyon elterjedt, jelentős számú cég fejleszt az utóbbi években ilyen technológiájú gyártásba. A félvezető réteg itt is szilícium, mint a kristályos napelemek esetén, azonban nem kristályos tömbökből, hanem szilán gázból ( $\text{SiH}_4$ ) állítják elő kémiai reakció során a hidrogént leválasztják a szilíciumról, ami így lerakódik az üvegre - vagy más felületre, pl. műanyagra, fémre is akár. Viszonylag kis hatásfokú technológia, aSi 5-6%-os,  $\mu\text{Si}$  -ami az aSi továbbfejlesztett változata- 7-9%-os hatásfokú.

$\text{CdTe}$ , azaz kadmium-tellurid technológia a másik fő vékonyrétegű technológia. Nagy mennyiségben tudják előállítani 7-10% hatásfokú napelemeiket. A kadmium tartalom miatt egészségre veszélyes lehet a technológia és a kész eszköz is. Egészségre ártalmas anyagok szabadulhatnak fel a gyártás során, vagy kisebb valószínűséggel, a kész eszköz esetleges felgyulladásakor is (Nemcsics, 2001).

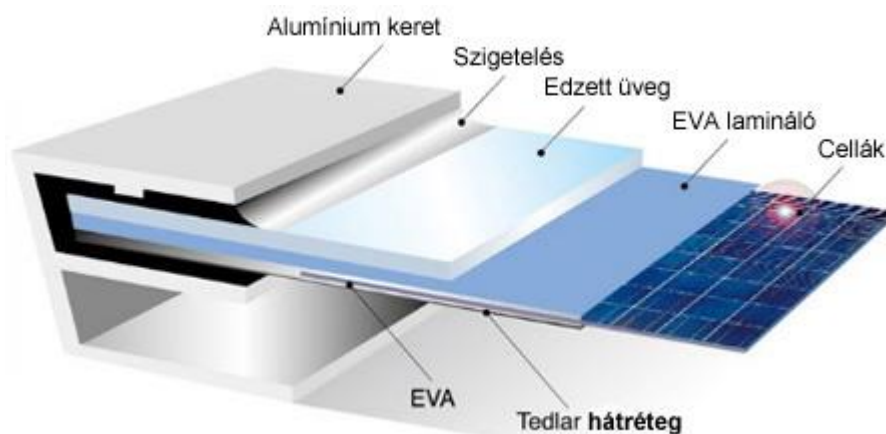
CIGS, CIS, azaz réz-indium-gallium-diszelenid és réz-indium-diszelenid a vékonyrétegű technológiák újabb változata. Tömeggyártása csak 2010-ben indult be. Nagyon sok cég

fejleszt ilyen gyártási módokat is, mivel 9-12%-os hatásfokot is el lehet érni az ilyen napelemekkel. Jelenleg még nem sikerült gazdaságos gyártási módot találni, és az alapanyagok ára drága, de a nagyszámú fejlesztések miatt ígéretes technológia.

Előnyük a fenti technológiáknak az anyagtakarékosság és a lehetséges nagy modulméret. Megoldandó probléma a leválasztás homogenitása és az eszköz hosszú távú stabilitása (Bathó, 2010).

A harmadik csoportba az eddigieknél is drágább, speciális alkalmazásokhoz használt napelemek tartoznak, mint például a gallium-arszenid és más vegyület félvezetőből készült, egy vagy több átmenetes cellák. Az utolsó csoportba még csak a kutatás-fejlesztés fázisában lévő szerves, szervesetlen és festék napelemek tartoznak (Földvály-Bándy, 2015).

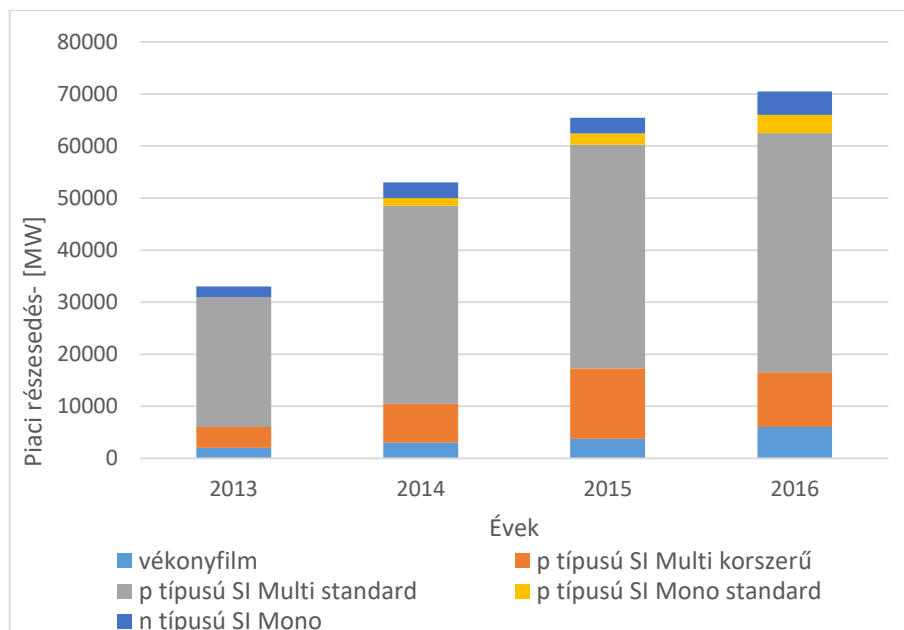
A napelemek szerkezeti felépítését és főbb részeit az alábbi ábrán mutatom meg. (7. ábra)



7. ábra Napelemek szerkezeti felépítése

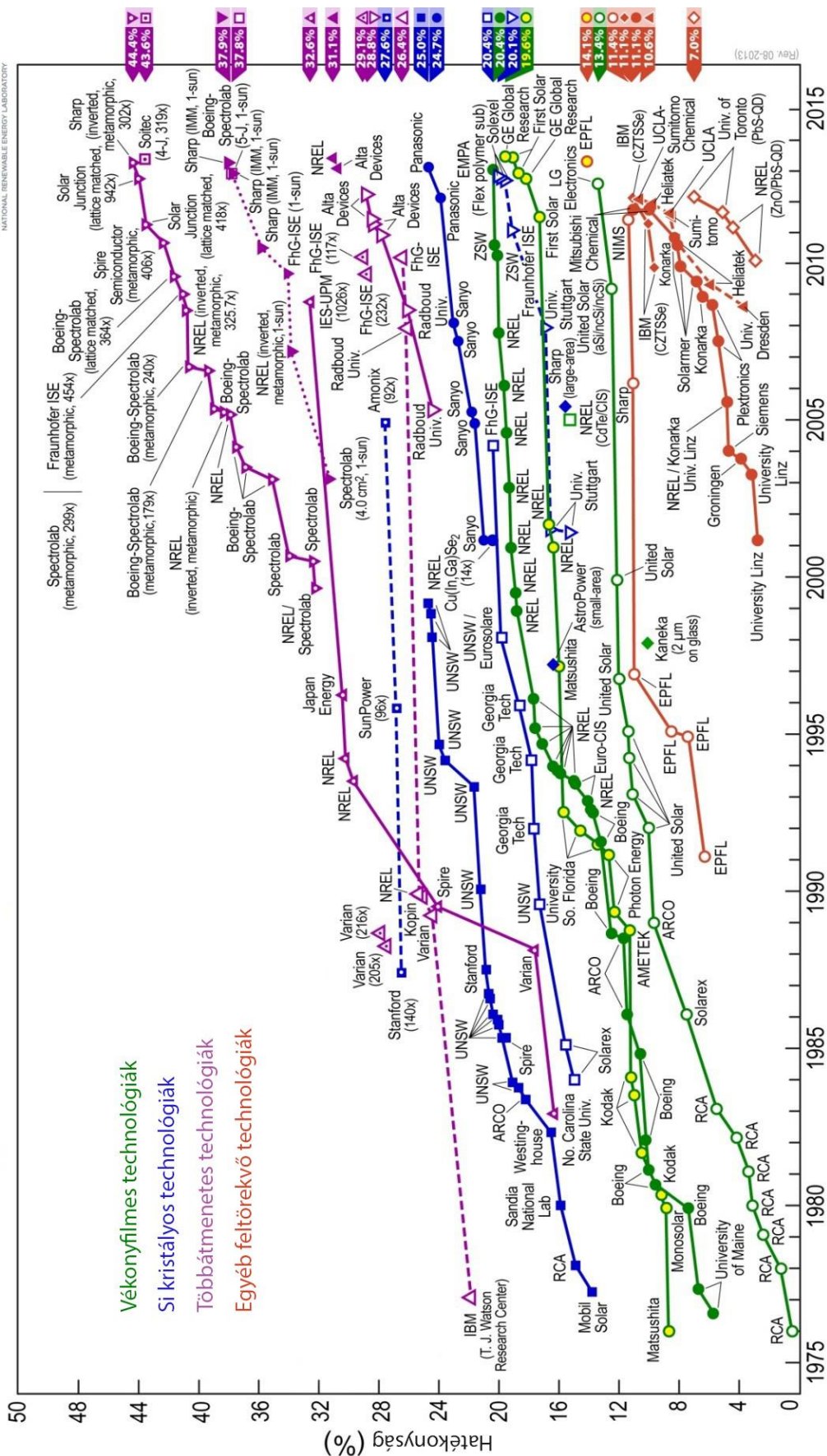
Forrás: Net25

Elmondható, hogy jelentős fejlődésen mentek át a napelemes technológiák és számos új fejlesztés jelent meg a piacon. A piaci részesedést tekintve továbbra is a szilíciumos napelemek vezetnek, de hatásfokuk jelentősen növekedett (14. diagram) (8. ábra).



**14. diagram** A különböző típusú napelemek piaci részesedése  
*Forrás: PV Tech, 2017; Net18*

Az elmúlt tíz-tizenöt évben megjelent technológiák jelentős gyártási költség csökkenést és hatásfok javulást eredményeztek. Ezen technológiák a jövő meghatározó napelemes moduljaihoz nélkülözhetetlenek. A Nemzetközi Megújuló Energia Laboratórium által készített összegzés alapján nyomon követhetőek a különböző gyártók és fejlesztések változása. Ma már több gyártó is van, akinek 40% hatásfoknál is jobb napeleme van a piacon, és egyre nő az alkalmazott technológiák száma is.



**8. ábra** Napelemes technológiák és hatásfokuk  
Forrás: Saját szerkesztés (Net15) adatai alapján

## 2.6. Napelemek teljesítményvizsgálata, várható energiahozama

A napelemek teljesítményvizsgálatánál a gyártók által meghatározott elméleti hatásfok a kiindulási alap. Ezeket a feltételeket az STC rövidítéssel (*Standard Test Conditions*) jelölik, amikor is az irradiáció  $1.000 \text{ W/m}^2$  nagyságú, a modul  $25^\circ\text{C}$  hőmérsékletű és a fény spektruma AM 1,5 szabványos. Ezek a „laboratóriumi” feltételek nem életszerűek, így egyre több gyártó adja meg a termékeire vonatkozó paramétereket, a NOCT (*Nominal Operating Cell Temperature*) szerint. Ez esetben a cella vagy modul átlag  $45^\circ\text{C}$  hőmérsékletű, az irradiáció  $800 \text{ W/m}^2$ , a környezeti hőmérséklet  $20^\circ\text{C}$ , a fény spektrum AM 1,5, a szélesebbesség  $1 \text{ m/s}$  és a modul déli irányban  $45^\circ$  dőlésszöggel van tájolva (Regan - Puto, 2010).

A napelemek alapanyaguktól és technológiájuktól függően különböző hatásfokkal képesek hasznosítani villamos energiát. A hatásfok kiszámítására a következő alapképletet használjuk.

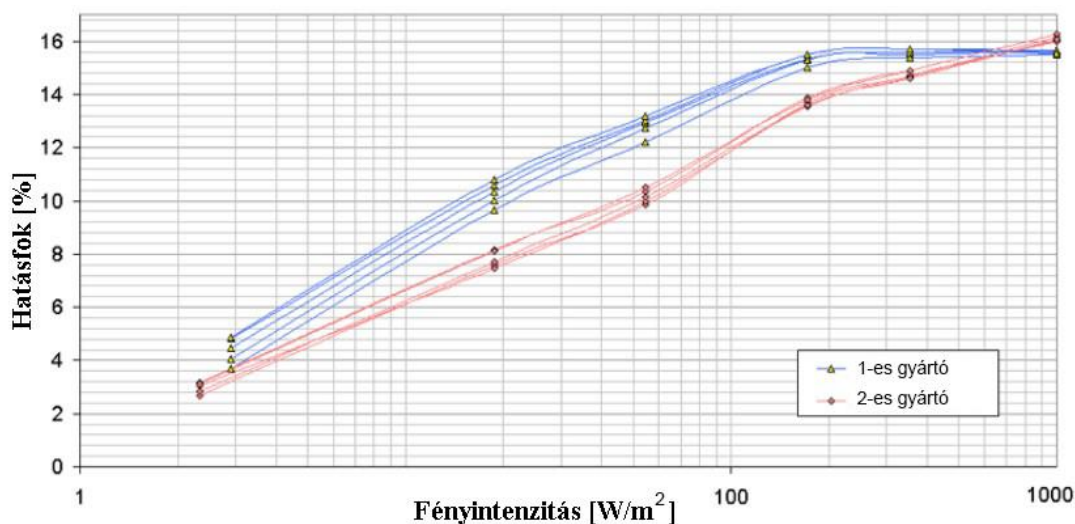
$$\eta = \frac{P_m}{E \times A_c}$$

ahol:

- ☼  $P_m$ = fényelem által leadott maximális teljesítmény (W)
- ☼  $E$ = napsugárzás energiája ( $\text{W/m}^2$ )
- ☼  $A_c$ = napelem felülete ( $\text{m}^2$ )

A napelemek hatásfokának megállapításához, tehát nélkülözhetetlen a napsugárzási energiának ismerete. Ehhez az elmúlt években számos olyan eljárást publikáltak, amely alkalmas a globálsugárzás idősorok mérés utáni ellenőrzésére (Geiger et al., 2002, Muneer-Fairooz, 2002, Younes et al., 2005, Shi et al., 2008, Moradi, 2009, Tang et al., 2010, Miras et al., 2012). A tanulmány során a szerzők a beltéri fényviszonyok melletti működését vizsgálták különböző napelemeknek. Eltérő típusú napelemek áramerősség – feszültség görbéit mutatták be  $1\text{-}1.000 \text{ W/m}^2$  besugárzott felületi teljesítmény mellett. A beltéri környezetet jellemzően kisebb hőmérséklet tartományok jellemzik, így feltehetően nem befolyásolja jelentősen a hatásfokot. Ennek ellenére a mérési hőmérsékletet  $25^\circ\text{C}$ -ra állították be az STC méréseknek megfelelően.

Megállapították, hogy a hatásfok exponenciálisan csökken alacsonyabb fényintenzitás mellett, és a  $V_{oc}$  a jól ismert logaritmikus eséssel csökken. Megállapították továbbá, hogy a magasabb intenzitási tartományban ( $100 - 1.000 \text{ W/m}^2$ ) a cella hatékonysága kevésbé változik közel lineáris (**15. diagram**).

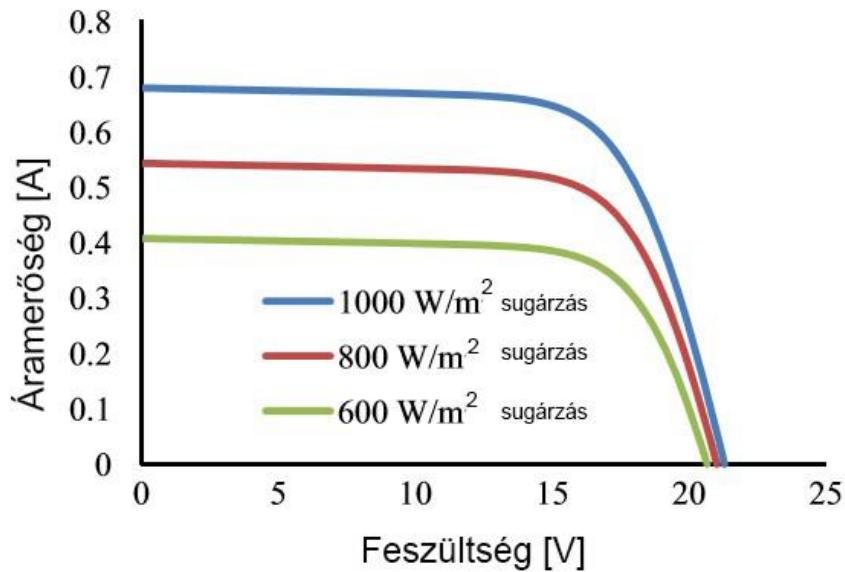


**15. diagram** Méréssel meghatározott abszolút hatásfok, mint a besugárzott felületi teljesítmény függvénye eltérő gyártótól származó cellák esetében

*Forrás: N.H. Reich, 2005*

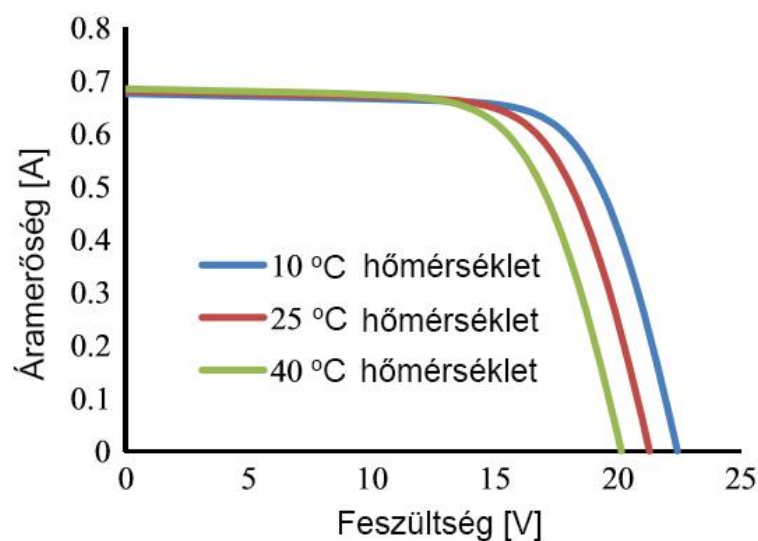
A gyengébb megvilágítás esetén jelentkező hatásfok csökkenés nagyan függ a napelem technológiától, mint ahogy azt korábbi kutatások során is megfigyelték (*Randall, 2003*).

Eikelboom és Jansen kültéri kísérleteket végzett, ahol kilenc teljesen különböző napelemes modult teszteltek. Megállapították, hogy az alacsonyabb sugárzási tartományban a vékonyfilmes napelemek jobban teljesítenek, míg a monokristályos napelemek hatásfoka csökkenése az STC-hez képest kisebb, mint például az amorf kristályosnak (*Eikelboom, 2000*). Napelemek feszültség-áramerősség karakterisztikáját ábrázolja az alábbi diagram különböző sugárzási viszonyok mellett (**16. diagram**).



**16. diagram** Kristályos szilícium napelem modul I-U-karakterisztika görbéi különböző besugárzási értékek esetén állandó hőmérséklet mellett  
*Forrás: Saját szerkesztés (Sharma, 2012) alapján*

A napelemes rendszerek másik jelentős befolyásoló tényezője a külső hőmérséklet, mivel annak növekedésével csökken a cella által előállított elektromos energia mennyisége. Ennek a jelentősége főleg a meleg éghajlatokon nő meg. A napelem U-I karakterisztikában ez úgy jelenik meg, hogy kismértékben emelkedik az áramerőssége, de a feszültség jelentősen esni fog (Kalogirou, 2009). Az STC-hez képest eltérő hőmérsékleten felvett U-I karakterisztikák (17. diagram).



**17. diagram** Kristályos szilícium napelem modul I-U karakterisztika görbéi különböző hőmérsékletek esetén azonos besugárzás mellett  
*Forrás: Saját szerkesztés (Sharma, 2012) alapján*

A modulok hőmérsékletét több módszerrel is lehet kalkulálni, az egyik legnépszerűbb PVGIS kalkulátor az alábbi összefüggés szerint számol:

$$T_m = T_a + k_T \times G$$

ahol

- ☼  $T_m$  a modul hőmérséklete
- ☼  $T_a$  a levegő hőmérséklete
- ☼  $G$  sugárzás intenzitás ( $\text{W/m}^2$ )
- ☼  $k_T$  a beépítés módjából származó hőfok korrekciós tényező
  - ☼ A  $k_T$  értéke  $0,035 \text{ }^\circ\text{C}/(\text{W/m}^2)$  értékű szabadon álló rendszereknél még épület tetőszerkezetére épített esetben
  - ☼  $k_T$  értéke  $0,05 \text{ }^\circ\text{C}/(\text{W/m}^2)$  értékű, mivel ezek a modulok nehezebb szellőznek és így jobban melegednek. (Net17)

Abban az esetben, ha ismert a névleges működési cella hőmérséklet (NOCT), úgy az alábbi összefüggéssel is meghatározható az aktuális hőmérséklet (Háber et al., 2011).

$$T_m = T_a + \frac{NOCT - 20}{80} \times I$$

ahol

- ☼ NOCT- működési cella hőmérséklet
- ☼  $I$  aktuális mért globálsugárzás  $\text{mWcm}^{-2}$

A teljesítmény vizsgálatoknál és az energiahozamok kalkulálásánál két kézenfekvő megoldás van. Az egyik, hogy az elméleti alapok figyelembe vételével számításokat végzünk arra, vonatkozóan, hogy milyen időjárás várható és a telepített rendszer, hogyan fog teljesíteni. A másik lehetőség, hogy a már beüzemelt rendszereket működés során vizsgáljuk és az itt szerzett adatsorok alapján készítünk modellt, amivel az energiahozam kalkulálható a környezeti paraméterek függvényében.

Egy köztes megoldásra példa a PVUSA rating módszere. Ennek az eljárásnak a lényege, hogy meteorológiai adatok figyelembevételével készül az elemzés és figyelembe veszi a besugárzást, a levegő hőmérsékletet, és a szélsébséget is a napelemes teljesítmény meghatározásnál (Sharma, 2013).

$$P=E \times (A+B \times E+C \times T_a+D \times W_s)$$

ahol

- ☼ P - AC áram teljesítménye (W)
- ☼ E - a síkra beeső sugárzás intenzitása (W/m<sup>2</sup>)
- ☼ T<sub>a</sub> - levegő hőmérséklet (°C)
- ☼ W<sub>s</sub> - szél sebesség (m/s)
- ☼ A,B,C,D,E működésből származó regressziós konstansok.

DARYL Vékonyfilmes napelemekkel végzett kísérleteket, ahol megállapította, hogy a PVUSA PTC modell segítségével ±3% pontossággal meghatározható a napelem teljesítménye (Daryl, 2009).

Az energia befogadó felület szintén fontos szerepet játszik az energiahozamban. Miután a nap helyzete változik évszakonként és napszakonként a hasznosítható sugárzásösszeg függvénye a fogadó felület dőlésének és tájolásának. Általában a déli irányú tájolás a szerencsés az északi féltekén, mivel ekkor a sugárzás egyenletesen fogadható délelőtt és délután is. A fogadófelület dőlés szögének is megkülönböztetett hatása van az összegyűjtendő direkt és diffúz sugárzásra. A direkt sugárzás optimális kihasználásához a legmegfelelőbb, ha a felület mindig merőleges a beeső sugárzásra (**3. táblázat**).

**3. táblázat** Üzemidő függvényében az optimális dőlésszög Közép-Európában  
Forrás: Rouvel, 1987

| Rendszer jellemző                | Szög |
|----------------------------------|------|
| Egész évre optimalizált          | ~30° |
| Téli hónapokra optimalizált      | ~60° |
| Tavasszal és ősszel optimalizált | ~45° |

Az Európai régióban (Suri *et al.*, 2007) végzett elemzéseket az optimális dőlésszögekre vonatkozóan, és publikációjuk szerint Magyarországon 33-36° között ideális a napelemek dőlésszöge egész éves üzem esetén. Az időjárási viszonyok, mint például a zivatarok és a jégesők károsíthatják a napelemek felületét, bár úgy tervezték a modulokat, hogy azok ellenálljanak a veszélyes időjárási körülményeknek, beleértve a villámcsapást, nagy sebességű széllekeéseket és a szélsőséges meleget és hideget.

A szélsőséges időjárásnak pozitív hatása is lehet a napelemek energiahasznosítására például a "the edge of cloud effect" –ként ismert jelenség. Bizonyos feltételek mellett a felhőtakaró jelenléte ténylegesen növeli azon energiát, amit a panelek el tudnak nyelni. Amikor gomolyfelhők csoportosan sodródnak a nap sugarain keresztül, visszatükrözik a napfényt és növelik annak erejét, ugyanúgy, ahogy egy nagyítóüveg felerősíti a fényt (Net10).

### 3. Anyag és módszertan

Annak érdekében, hogy elemezzük a telepített napelemes rendszer hatékonyságát vagy egy tervezett beruházás előtt tájékozódjunk a várható energiahozamról, ahhoz a helyi meteorológiai állomásokon gyűjtött adatok szükségesek. Erre azért van szükség, mert a sokéves sugárzási átlagok alapján prognosztizáljuk a várható energiahasznosítást, de helyi aktuális környezeti paraméterek függvényében optimalizálható csak a napelemes rendszer. Abban az esetben, ha már meglévő rendszerről van szó, akkor is nagy jelentősége van a tényleges sugárzási mennyiségnek, hogy ez alapján az energiahozamot ellenőrizni lehessen.

A primer adatokat kvalitatív (minőségi) és kvantitatív (mennyiségi) kutatás módszerek alkalmazásával gyűjtöttem. A kvalitatív kutatás strukturálatlan, feltáró jellegű módszer, amely kis mintán alapul és a probléma természetének megértését szolgálja (*Malhotra, 2002*). Ezzel a kutatással elsősorban a „Miért?”, „Hogyan?” kérdésekre adott válaszokkal sikerült jobban megismerni. A kvantitatív kutatás általában nagyszámú adatbázison alapul, számszerűsíti a különböző kérdésekre („Mit?”, „Mennyit?”, „Hányszor?”, „Hol?”, „Mikor?”) adott válaszokat, amelyeket matematikai-statisztikai módszerekkel elemez.

Számos elméleti módszert találhatunk arra vonatkozóan, hogy milyen energiahozamokra számíthatunk a napelemes rendszereknél, arra azonban lényegesen kevesebb példa van, hogy a már telepített rendszer energiahasznosítását elemezzék.

A primer kutatásom célja, hogy összefüggést keressek a valós hasznosított energiamennyiség és a környezeti paraméterek között. Ennek érdekében a Tiszántúlon három településen Debrecenben, Hajdúnánáson és Hódmezővásárhelyen gyűjtöttem napelemes és meteorológiai adatokat (**3. fénykép**). Majd az adatok feldolgozását követően elemzéseket végeztem.



**3. fénykép** A telepített monokristályos és polikristályos PV cellák a 2-es és 4-es debreceni rendszerekben

*Forrás: Saját fotó*

Debrecenben nyolc különböző helyen üzemelő napelemes rendszer adatsorát gyűjtöttem össze 2013 és 2015 között. Az adatok rögzítését követően kiderült, hogy szakmailag értékelhető adatsor csak öt rendszernél van, melyek jellemzőit az alábbi táblázatban foglaltam össze (**4. táblázat**). Ezeken kívül plusz egy kontroll debreceni, egy hajdúnánási rendszer 2015-ös adatait és egy hódmezővásárhelyi rendszer három éves adatsorát használok az elemzésekhez.

A vizsgált napelemek szilícium kristályos kivitelűek és van poli- és monokristályos is köztük. A poli- és monokristályos rendszer ugyan azon az épületen helyezkedik el egy külvárosi területen teljesen árnyékmentes kivitelben. Az inverterek is azonos típusúak, így lehetőségem van összehasonlítani energiahasznosítás szempontjából ezeket is.

A telepített rendszerek mindegyike hálózatra tápláló és saját monitoring rendszere van. Ezek a napelemes rendszerek déli tájolásúak és  $\sim 35^\circ$ -os dőlésszöggel lettek telepítve. Az energiahozamokat havi bontásban vizsgáltam minden évben, minden rendszernél.

#### 4. táblázat A debreceni vizsgált napelemes rendszerek műszaki adatai

*Forrás: Saját szerkesztés, 2016*

| Rendszer                 | 1-es számú     | 2-es számú     | 3-as számú     | 4-es számú   | 5-ös számú   |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|--------------|
| Típusa                   | Stiebel Eltron | Stiebel Eltron | Stiebel Eltron | Union Solar  | Magepowertec |
| Beépítés módja           | integrált      | szabadon áll   | szabadon áll   | szabadon áll | szabadon áll |
| Teljesítmény             | 240 Wp         | 240 Wp         | 240 Wp         | 240 Wp       | 230 Wp       |
| Darabszáma               | 208 db         | 146 db         | 146 db         | 32 db        | 36 db        |
| Inverter                 | 4 db Fronius   | 3 db Fronius   | 3 db Fronius   | 2 db SMA     | 2 db SMA     |
| <b>Összteljesítmény:</b> | 49.920 Wp      | 35.040 kWp     | 35.040 kWp     | 7.680 Wp     | 8.280 Wp     |

A napelemes modulok, valamint a napelemes rendszerek nagyságát jellemző teljesítményt Wp mértékegységgel adják meg. A „p” betű a „peak” angol szóból a csúcsteljesítményre utal (*Debreceni, 2012*).

A rendszerek különböző típusú napelemes modulokból épülnek fel és műszaki paramétereiket a következő táblázatban foglaltam össze (5. táblázat).

#### 5. táblázat A vizsgált napelemek műszaki adatai

*Forrás: Saját szerkesztés, 2016*

|                           | Stiebel Eltron | Union Solar | Mage Powertec |
|---------------------------|----------------|-------------|---------------|
| Névleges teljesítmény     | 240 Wp         | 240Wp       | 230 Wp        |
| Hatásfok [%]              | 14,74          | 14,2        | 15,75         |
| Felület [m <sup>2</sup> ] | 1,62           | 1,69        | 1,63          |

A vizsgált rendszerekben SMA és Fronius gyártmányú invertereket használnak, melyek műszaki paramétereit a következő táblázatba foglaltam össze (**6. táblázat**).

**6. táblázat** A vizsgált rendszer invertereinek műszaki adatai  
*Forrás: Saját szerkesztés, 2016*

|                         | Sunny Boy 3800 | Fronius IG Plus 150 V-3 |
|-------------------------|----------------|-------------------------|
| Maximum AC teljesítmény | 3.800 W        | 12.000 W                |
| Maximum hatásfok        | 95,6%          | 95,9 %                  |

A környezeti paramétereket a Debreceni Egyetem Agrártudományi Központ Agrometeorológiai és Agroökológiai Monitoring Központ (AAMK) adatbázisából, illetve az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) adatbázisából használtam fel. Az időjárási paraméterek közül a levegőhőmérsékletet, szélesebséget és a globálisugárzási adatokat elemeztem.

### 3.1. Monitoring adatok összegyűjtése

Mindkét inverter gyártó saját kezelő felületet biztosít az ügyfelek számára a monitoring adatok gyűjtésére. A hasznosított energiamennyiségek napi, heti, havi és éves elosztásban is kigyűjthetők. A napelemek által a hálózatba visszatáplált villamos energiát kWh értékben rögzítik az adatbázisba. Az adatgyűjtés feldolgozásához célszerű a különböző monitoring rendszer által gyűjtött adatokat közös táblázatba rendezni a további számítások és elemzések elvégzéséhez. A jelenlegi kutatásomban a havi mennyiségeket gyűjtöttem össze és számításokat, elemzéseket ezekkel az adatokkal végeztem.

A globálisugárzás és az albedó megbízható, pontos mérése egyaránt fontos a napkollektorok, napelemek és egyéb szoláris rendszerek tervezéséhez, a különböző időtávú meteorológiai előrejelzésekhez, valamint a klímamodellek futtatásához. Mindkét mennyiség mérésére a legelterjedtebb eszköz a piranométer. Ezért is választottam ezt a műszert a napelemek energiahatékonyság vizsgálatához.

A másik fontos szempont az volt, hogy a meteorológiai állomások közül egyre több helyen van globálisugárzás mérés, és általánossá vált a piranométerek ipari célokra történő felhasználása is, így több helyszínen is lehetőség van elemzéseket végezni. Mindezek ellenére más meteorológiai paraméterrel összevetve a napsugárzás mérése van a legtöbb hibalehetőségnek kitéve (Moradi, 2009).

Ezek a hibák két nagy csoportba sorolhatók: a mérőeszköz felépítéséből, a mérés elvéből következő pontatlanságok, illetve a mérőeszköz nem megfelelő elhelyezéséből, működtetéséből származó hibák (Younes *et al.*, 2005). Az első csoportba tartozik a piranométer koszinuszhibája, azimuthhibája, a szenzor érzékenységének hőmérsékletfüggése, hullámhosszfüggése, stabilitás és linearitás hibája valamint a termoelemes piranométerek esetén a hosszú hullámú veszteségből származó offszethiba. A második csoportba tartozik a piranométer nem megfelelő vízszintezése, a horizontkorlátozás, a búrára kerülő por, hó, vízcseppek, madárürülék. Továbbá idetartozik a kábelek mechanikai terheléséből (piezoelektromosság) származó és a mérőberendezés körüli elektromos tér okozta hiba is.

A Debreceni Egyetem Agrártudományi Központ Agrometeorológiai és Agroökológiai Monitoring Központ Kipp&Zonen CMP3-as globálsugárzás mérőket használ, melynek pontossága  $\pm 5\%$  W/m<sup>2</sup>-es. A szenzorok öt másodperces mintavételezéssel 10 perces átlagadatok formájában tárolódnak az egyes adatgyűjtőkben. Az adatcsomagok óránként kerülnek a központi adatbázisba (Dobos, 2014).

Az OMSZ Kipp&Zonen CM11 típusú globálsugárzás érzékelőt használ egyperces mérési sűrűséggel, melyből 10 percenként készül egy riport és ezt GPRS alapú adatátvitellel az OMSZ adatbázisban rögzítik (Net23).

A jelen kutatómunkában az összesített havi globálsugárzás értékeket egy adatbázisba rendeztem, és így használtam fel a számításaimhoz.

A kutatásom során a statisztikai elemzéseket két szoftver segítségével végeztem. Az alkalmazott programok: MS Excel, SPSS. A MS Excel program statisztikai elemzésekre is képes. A program tulajdonsága, hogy az eredmények prezentálását kiválóan el lehet végezni. Az SPSS (Statistical Package for Social Sciences) több mint egy évtizede folyamatosan fejlődő program. Az SPSS az adatokat egy táblázatban tárolja. Az adattábla mellett az SPSS másik fontos része az Output ablak. Ebben a kimenetben jelenik meg a statisztikai próbák és eljárások végeredménye, minden szöveges üzenet (Ketskeméty-Izsó, 2005).

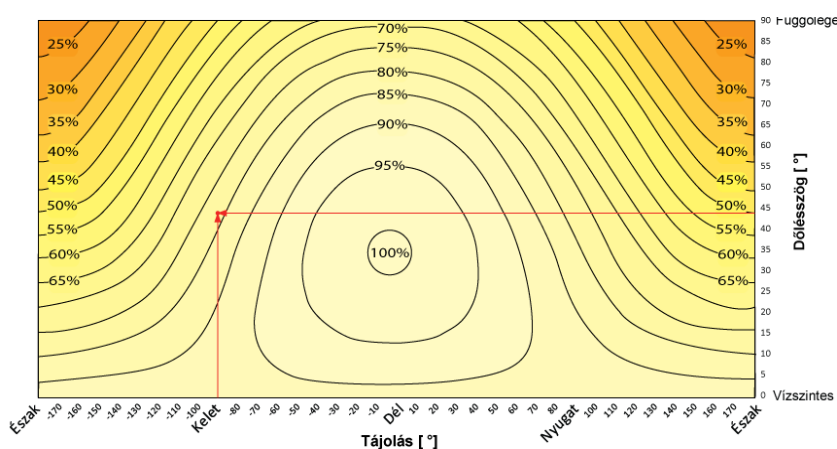
### 3.2. Napelemek energiahozam számítása, elemzése, modell felépítése

A kutatásom során megkérdezett üzemeltetők mindegyikében közös, hogy nincs viszonyítási alapjuk arra vonatkozóan, hogy a telepített napelemes rendszer megfelelően működik-e vagy sem. Az interneten fellelhető energiahozam prognosztizáló alkalmazások nagy hátránya, hogy nem az aktuális helyi időjárási adatok alapján kalkulál, hanem elmúlt évek átlaga alapján. Így, ha le is futtatjuk ezt az elemzést csupán egy többéves átlag alapján kalkulált értéket olvashatunk le és attól jelentősen eltér az aktuális valóság.

A napelemes rendszerek várható energiahozamának vizsgálatához jelenleg a Fotovoltai-kus Földrajzi Információs Rendszer (PvGIS) on-line kalkulátorát alkalmazzák például pályázati anyagok számításánál. Ennek az alkalmazásnak lehet alternatívája egy hazai PV modell, ahol a monitoring adatokat a helyi meteorológiai adatok szerint tudjuk elemezni és az aktuális energiahozamok kiértékelhetővé válnak.

A PvGIS adatbázisának segítségével hálózatra kapcsolt és szigetüzem esetén, a kiválasztott napelem típus, tetszőleges földrajzi helyen megvizsgálható egy napelemes rendszer működése. Beállítható a napelem mező tájolása, dőlésszöge és akár napkövető elrendezés is.

A napelemes rendszerek energiahasznosítása nagymértékben függ a tájolástól és a dőlésszögtől. Az alábbi diagram adatai szerint, már 15-20°-os eltérés az ideálistól 15%-os veszteséget jelent (**18. diagram**).



**18. diagram** A napelemes rendszerek energia hasznosításának százalékos eltérése a tájolástól és a dőlésszögtől függően

Forrás: Net28

A monitoringozott rendszerek kiválasztásához anyagokat gyűjtöttem az eddigi hazai mérésekről. Ilyen méréseket és kutatást végeztek hazánkban az Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Karon (*Net11*). A mérőrendszerben különböző tájolású és dőlésszögű összesen 38 darab, a Dunasolar által gyártott DS40-es napelemcellát vizsgáltak. A napelemcellák amorf-szilícium gyártástechnológiával készültek, névleges teljesítményük 40Wp. A kísérletben vízszintes, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° és 90° -os dőlésszögű napelemek valamint D, DNY, DK, NY, és K-i irányba elhelyezett PV táblákat vizsgáltak (**7. táblázat**) (*Net11*).

**7. táblázat** Az eltérő tájolású napelemek energiahasznosítás eltérése az ideálistól, a hazai mérés alapján 2004-2005

Forrás: *Saját szerkesztés 2016, MEKH alapján*

| Tájolás | január | február | március | április | május  | június | július | augusztus | szeptember | október | november | december |
|---------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|-----------|------------|---------|----------|----------|
| D45     | 100,0% | 100,0%  | 100,0%  | 100,0%  | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0%    | 100,0%     | 100,0%  | 100,0%   | 100,0%   |
| DNY45   | 80,8%  | 83,3%   | 94,8%   | 98,5%   | 97,6%  | 95,0%  | 96,4%  | 91,7%     | 80,0%      | 90,4%   | 88,9%    | 87,5%    |
| DK45    | 84,6%  | 93,3%   | 93,5%   | 97,5%   | 95,2%  | 97,5%  | 92,9%  | 75,0%     | 76,7%      | 86,5%   | 84,4%    | 87,5%    |
| Ny45    | 54,6%  | 63,3%   | 72,3%   | 80,0%   | 85,7%  | 85,0%  | 75,0%  | 66,7%     | 50,0%      | 57,7%   | 55,6%    | 50,0%    |
| K45     | 57,7%  | 66,7%   | 77,4%   | 82,5%   | 86,7%  | 87,5%  | 78,6%  | 75,0%     | 50,0%      | 53,8%   | 44,4%    | 50,0%    |

Adatokat gyűjtöttem az eltérő tájolásra vonatkozóan a *PVGIS* rendszer adatbázisával, aminek eredményeit a következő táblázatban foglaltam össze (**8. táblázat**).

**8. táblázat** Az eltérő tájolású napelemek energiahasznosítás eltérése az ideálistól, a *PVGIS* elemzés alapján

Forrás: *Saját szerkesztés, PVGIS elemzés alapján 2016*

| Tájolás | január | február | március | április | május | június | július | augusztus | szeptember | október | november | december |
|---------|--------|---------|---------|---------|-------|--------|--------|-----------|------------|---------|----------|----------|
| D45     | 100%   | 100%    | 100%    | 100%    | 100%  | 99%    | 99%    | 100%      | 100%       | 100%    | 100%     | 100%     |
| DNY45   | 84%    | 86%     | 90%     | 94%     | 99%   | 99%    | 99%    | 96%       | 91%        | 86%     | 85%      | 84%      |
| DK45    | 84%    | 86%     | 90%     | 95%     | 99%   | 100%   | 100%   | 97%       | 91%        | 87%     | 84%      | 84%      |
| Ny45    | 50%    | 57%     | 69%     | 81%     | 91%   | 95%    | 93%    | 84%       | 71%        | 58%     | 53%      | 50%      |
| K45     | 50%    | 57%     | 69%     | 82%     | 92%   | 96%    | 94%    | 85%       | 71%        | 59%     | 52%      | 50%      |

Az adatokból megállapítható, hogy a déli tájolású napelemek hasznosítják, a legtöbb energiát - ezt tekintem ideálisnak - és ehhez viszonyítva a **8. táblázat**ban foglaltam össze, hogy az egyes tájolások milyen eltérést mutatnak az adott hónapban. Az éves energiahasznosításnál megállapítottam, hogy a mérés sorozat adatai alapján

- ☼ DNY-i tájolásnál 10%-kal
- ☼ DK-i tájolásnál 11%-kal
- ☼ NY-i tájolásnál 34%-kal
- ☼ K-i tájolásnál 32%-kal kevesebb energiát tudott hasznosítani a PV rendszer.

A PVGIS számítások szerint az éves energiahozam az alábbiak szerint változik.

-  DNY-i tájolásnál 9%-kal
-  DK-i tájolásnál 9%-kal
-  NY-i tájolásnál 29%-kal
-  K-i tájolásnál 29%-kal kevesebb energiát tudott hasznosítani a PV rendszer

Az ideális tájoláson belül a maximális energiahasznosítással rendelkező dőlésszög 30°.

A hazai különböző dőlésszögű energiahasznosításra vonatkozó adatokat az alábbi táblázatba foglaltam össze (**9. táblázat**).

**9. táblázat** A különböző dőlésszögű napelemek energiahasznosításának eltérése a hazai mérés alapján 2004-2005

Forrás: *Saját szerkesztés, MEKH alapján 2016*

|     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| D15 | 78,6%  | 93,3%  | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 85,7%  | 73,8%  | 75,4%  | 92,5%  | 66,7%  |
| D30 | 89,3%  | 98,7%  | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 98,5%  | 98,1%  | 100,0% |
| D45 | 96,4%  | 100,0% | 100,0% | 89,4%  | 93,8%  | 92,9%  | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 98,5%  | 100,0% | 97,3%  |
| D60 | 100,0% | 98,7%  | 90,6%  | 74,5%  | 75,0%  | 81,0%  | 78,6%  | 64,3%  | 92,3%  | 100,0% | 100,0% | 97,3%  |
| D75 | 96,4%  | 83,3%  | 75,0%  | 55,3%  | 56,3%  | 61,9%  | 64,3%  | 64,3%  | 84,6%  | 76,9%  | 94,3%  | 100,0% |
| D90 | 85,7%  | 68,0%  | 62,5%  | 46,8%  | 43,8%  | 45,2%  | 53,6%  | 64,3%  | 76,9%  | 73,8%  | 88,7%  | 98,7%  |

Az éves energiahasznosításnál megállapítottam, hogy a mérés sorozat adatai alapján

-  15° dőlésszög esetén 11 %-kal
-  30° dőlésszög esetén 1 %-kal
-  45° dőlésszög esetén 3%-kal
-  60° dőlésszög esetén 12%-kal
-  75° dőlésszög esetén 24%-kal
-  90° dőlésszög esetén 33%-kal kevesebb energiát tudott hasznosítani a PV rendszer.

Adatokat gyűjtöttem a különböző dőlésszögre vonatkozóan a PVGIS rendszer adatbázisával, melyet a következő táblázatban foglaltam össze (**10. táblázat**)

# 10. táblázat A különböző dőlésszög energiahasznosítás eltérése a PVGIS elemzés alapján

Forrás: Saját szerkesztés, PVGIS elemzés alapján, 2016

| Dőlés PVGS | január | február | március | április | május | június | július | augusztus | szeptemb | október | novembe | december |
|------------|--------|---------|---------|---------|-------|--------|--------|-----------|----------|---------|---------|----------|
| D15        | 72%    | 78%     | 89%     | 97%     | 100%  | 100%   | 100%   | 98%       | 92%      | 80%     | 74%     | 71%      |
| D30        | 87%    | 91%     | 97%     | 100%    | 98%   | 97%    | 98%    | 100%      | 98%      | 92%     | 88%     | 86%      |
| D45        | 96%    | 98%     | 100%    | 98%     | 93%   | 90%    | 91%    | 97%       | 100%     | 99%     | 97%     | 96%      |
| D60        | 100%   | 100%    | 98%     | 91%     | 83%   | 78%    | 81%    | 89%       | 96%      | 100%    | 100%    | 100%     |
| D75        | 99%    | 97%     | 91%     | 80%     | 69%   | 63%    | 66%    | 76%       | 88%      | 96%     | 98%     | 99%      |
| D90        | 93%    | 89%     | 79%     | 64%     | 50%   | 44%    | 46%    | 58%       | 74%      | 86%     | 91%     | 92%      |

-  15° dőlésszög esetén 12 %-kal
-  30° dőlésszög esetén 6 %-kal
-  45° dőlésszög esetén 4%-kal
-  60° dőlésszög esetén 7%-kal
-  75° dőlésszög esetén 15%-kal
-  90° dőlésszög esetén 28%-kal kevesebb energiát tudott hasznosítani a PV rendszer.

A tájolásra és dőlésszögre vonatkozó korrekciós értékeket összehasonlítottam a PVGIS (Fotovoltaikus Földrajzi Információs Rendszer) adataival továbbá a NASA Surface meteorology and Solar Energy adataival. A számítási eredmények és a haza mért értékek gyakorlati szempontból egyenlőnek tekinthetők, így a modellben a 8-as és 10-es táblázatban összefoglalt korrekciós értékeket használom. Az eltérés véleményem szerint abból adódik, hogy a hazai mérés csak egy egyéves adatsor alapján állt össze, míg a másik két számítási módszer több tízéves meteorológiai adatsor alapján lett számolva.

A PV modellel, meghatározott input adatok segítségével kalkulációt készíthetünk az energiahozamra vonatkozóan. Tudni kell, hogy földrajzilag hol van a telepített rendszer, milyen típusú napelemekből áll, milyen tájolású és dőlésszögű lesz a rendszer.

A PV modell segítségével az aktuális hazai időjárás alapján készül az elemzés és lehetőségünk van több helyszínen is futtatni az elemzést a helyi mérések alapján. Jelenleg a modell havi bontásban képes prognosztizálni a termelést, de a további kutatási célok között szerepel, hogy napi hasznosítás elemzésre is képes legyen.

Napelemes rendszer energiahozam (E) meghatározását az alábbiak szerint lehet egyszerűsíteni, ha ismert a napelemek felülete (A), darabszáma (n), a globálsugárzás (H) és a beesési szög ( $\beta$ ) (Daut, 2011).

$$E = \sum (r \times H \times \cos \beta \times n \times A)$$

Ahhoz, hogy az aktuális havi energiahasznosítást meghatározzuk egy napelemes rendszernek a következő egyszerűsített összefüggést alkalmaztam:

$$E_m = A \times r \times H \times D_{Km} \times T_{Km} \times (1 - \ddot{U}_{Km})$$

ahol

|                                                                                     |                 |                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------|
|    | $E_m$           | napelem havi energiahozama [kWh]                                    |
|    | A               | napelemes rendszer felülete [ $m^2$ ]                               |
|    | r               | napelemes panel hatásfok [%]                                        |
|   | H               | globálsugárzás havi összege az adott földrajzi helyen [ $kWh/m^2$ ] |
|  | $D_{Km}$        | dőlésszögből származó havi korrekciós tényező [%]                   |
|  | $T_{Km}$        | tájolásból származó havi korrekció tényező [%]                      |
|  | $\ddot{U}_{Km}$ | üzemi havi korrekciós tényező [%]                                   |

Az üzemelésből származó korrekciós tényezőre azért van szükség, mert az elméleti és a valós hasznosított energiamennyiség nem azonos. A külső környezetnek, a telepített rendszer műszaki paramétereinek sokaságából tevődik össze a valós jósfok.

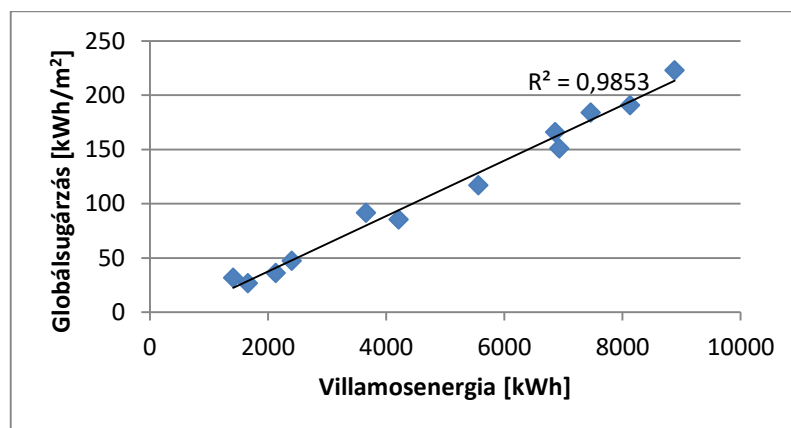
Elemzéseket végeztem 2013, 2014 és 2015-ben az üzemelő rendszerek energiahasznosítására vonatkozóan. Debrecenben öt különböző rendszert elemeztem. A megbízhatóságot növeli, hogy mindegyik rendszernél szilícium napelemekről van szó, hálózatra visszatáplálás kapcsolásról, és déli tájolásúak,  $\sim 35^\circ$  dőlésszöggel lettek telepítve a modulok.

Az így felépített modell alapján további számításokat végeztem három újabb rendszeren: egy hódmezővásárhelyi, egy hajdúnánási és egy debreceni rendszeren, hogy a számított és mért eredményeket összehasonlítsam.

## 4. Eredmények

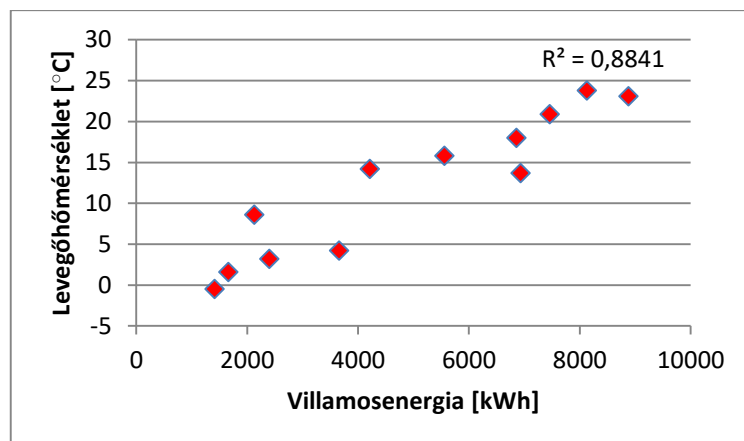
A műszaki és a gazdasági hatékonyságát a már üzemelő napelemes rendszereknek havi karbantartással és ellenőrzéssel kell javítani. Vizsgálataim rámutattak, hogy az öt monitoring rendszer által gyűjtött adatokat senki nem elemezte, nem értékelte, illetve amikor visszaesés volt nem történt műszaki beavatkozás. Megállapítottam, hogy a vizsgált napelemes rendszereknél az is közös, hogy a telepítéskori állapotban maradt, nem történt sem takarítás, sem helyzetváltoztatás.

A vizsgált három év mérési tapasztalataira támaszkodva összefüggést kerestem a napelem energiahozama és a globálisugárzás adatsora között. Megállapítottam, hogy nagyon szoros összefüggés van globálisugárzás havi összege és a hasznosított villamosenergia mennyisége között,  $R^2=0,985$  (**19. diagram**).



**19. diagram** A globálisugárzás és a hasznosított villamosenergia kapcsolata 2013-ban  
*Forrás: Saját szerkesztés, 2016*

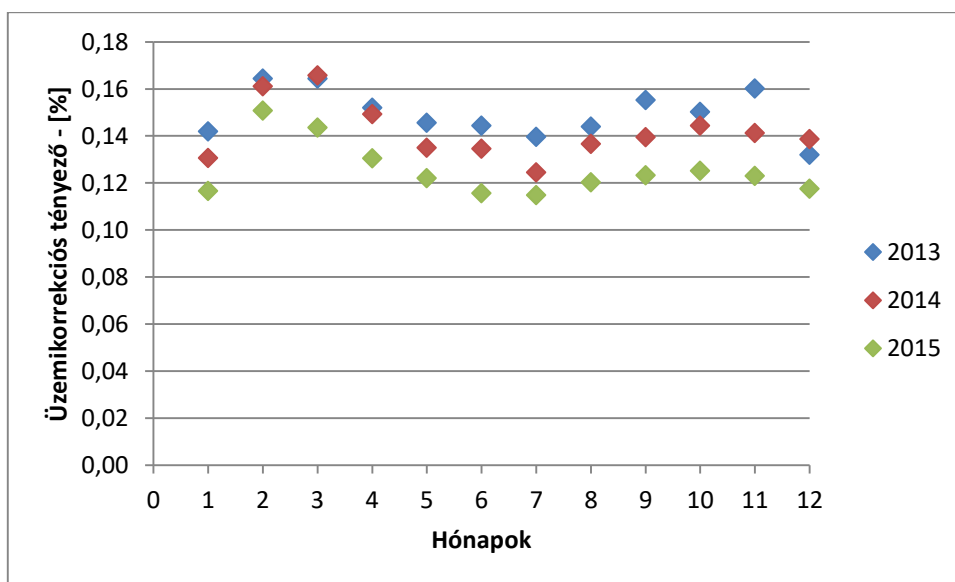
Az adatok feldolgozásosakor az is kiderült, hogy a napsütéses órákban mért levegőhőmérséklet és a hasznosított energiamennyiség is szoros kapcsolatot mutat. A korreláció nem annyira szoros, mint a globálisugárzás esetében, de érdemesnek tartom további elemzések végezésére,  $R^2=0,884$  (**20. diagram**).



**20. diagram** A levegőhőmérséklet és a hasznosított villamosenergia kapcsolata 2013-ban egy debreceni napelemes rendszernél  
*Forrás: Saját szerkesztés, 2016*

Ez az összefüggés a hétköznapi tapasztalatokkal mutat párhuzamot, hiszen nagyobb nap-sugárzás esetén melegebb a levegő hőmérséklet és nagyobb sugárzás esetén többet üze-mel a napelem. A hatásosság vizsgálatnál lesz jelentősége a külsőhőmérsékletnek, mivel azt tapasztaltam, hogy az viszont fordítottan arányos hatékonysággal.

A következő diagramon foglaltam össze az üzemi korrekciós tényezőket a vizsgált nap-elemes rendszerek három éves adatsora alapján (**21. diagram**).



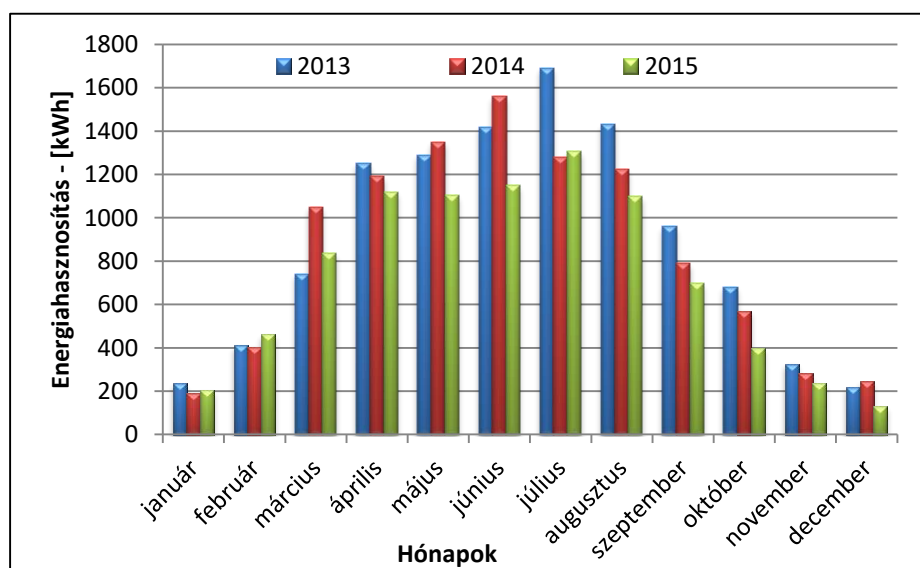
**21. diagram** Az üzemi korrekciós tényezők értéke az öt debreceni vizsgált napelemes rendszerben 2013-2015 között  
*Forrás: Saját szerkesztés, 2016*

Azt tapasztaltam, hogy a különböző helyszíneken különböző módon üzemeltetett rendszerek energiahasznosításának és a helyi globálsugárzás hányadosa havonta ugyanolyan értékű, a szórása  $0,01 \div 0,02$  között változik, ezért a globálsugárzás havi összegével jól leírható a várható energiahasznosítás.

#### 4.1. Üzemelő rendszerek éves energiahozam vizsgálata

##### 4.1.1. A 4-es számú debreceni monokristályos napelemes rendszer

Az üzemeltetési tapasztalatok bemutatását a debreceni 4-es rendszerrel kezdem. A legkisebb mértékű visszaesést az évek múlásával ennél a rendszernél mértem. A havi energiahasznosítás, hónapról hónapra növekszik és egy harang görbével jellemezhető az éves villamosenergia mennyiség, mégis vannak kiesések az elvárható mennyiséghez képest. A vizsgált három évben hasznosított energiamennyiségét az alábbi diagramon foglaltam össze (22. diagram).



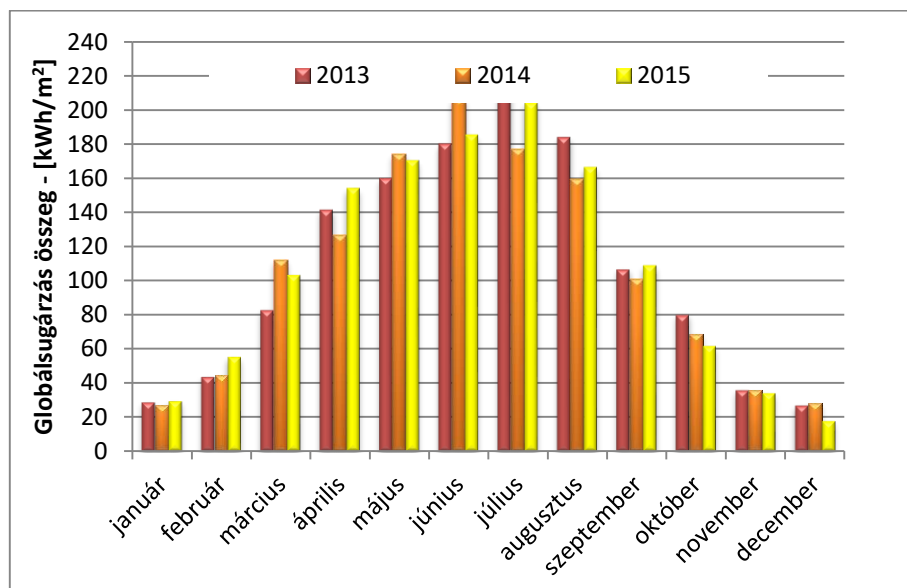
**22. diagram** A debreceni 4-es számú napelemes rendszer havi energiahasznosítása 2013-2015 között

*Forrás: Saját szerkesztés, 2016*

Megállapítható, hogy a beüzemelést követően az energiahasznosítás évről-évre folyamatosan csökken. 2013-ben 10.650 kWh, 2014-ben 10.128, 2015-ben 8.736 kWh értékű volt az éves hasznosított villamosenergia-mennyiség. A nyári időszakban mértem jelentős

visszaesést –májustól augusztusig 1.175 kWh eltérés- figyelhető meg 2013 és 2015 között, ami az egész éves 1.924 kWh-s visszaesésnek több mint a 60%-a.

A csökkentés mértéke azonban nem minden hónapban egyforma, így az eltérést nem műszaki hiba okozta. Összefoglaltam a havi globálisugárzás összegeket a következő diagramon (23. diagram).



**23. diagram** Globálisugárzás összegének változása Debrecenben 2013-2015 között  
*Forrás: Saját szerkesztés, 2016*

A globálisugárzás összegek nem azonos mértékben csökkentek az elmúlt három évben, minimális csökkenés 2014-ben volt, amikor 1.280 kWh/m<sup>2</sup>-ről lecsökkent 1.260 kWh/m<sup>2</sup>-re, de a 2015-ös évben ismét elérte a 2013-as évben mért értéket a globálisugárzás összeg, így nem ez az oka a napelemek energiahasznosítás csökkenésnek.

Megállapítottam, hogy 2013 és 2014 júliusában a többlet energiahasznosítás a magasabb globálisugárzás miatt lehetséges. 2015 júliusában viszont magasabb volt a globálisugárzás, mint 2014-ben, így többlet kellett volna hasznosítani a napelemes rendszernek.

Az éves napelemes energiahozamokat és globálisugárzások négyzetméterenkénti összegét táblázatba foglaltam (11. táblázat)

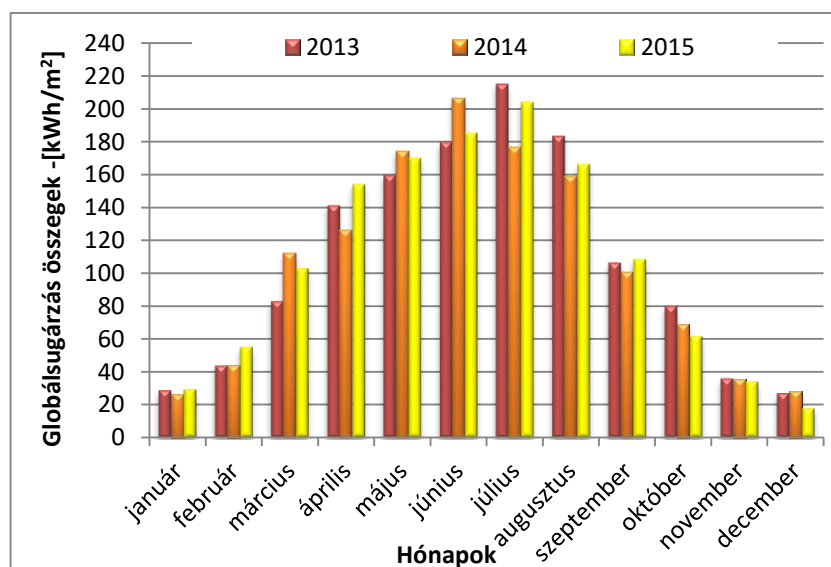
**11. táblázat:** Éves energiahozam és éves globálisugárzás változása az 4-es számú napelemes rendszernél

| Évek | Éves Globálisugárzás összeg<br>1m <sup>2</sup> -re vetítve [kWh] | Éves Energiahozam<br>1 m <sup>2</sup> -re vetítve [kWh] | Százalék<br>[%] |
|------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------|
| 2013 | 1.286                                                            | 197                                                     | 0,15            |
| 2014 | 1.258                                                            | 187                                                     | 0,15            |
| 2015 | 1.288                                                            | 162                                                     | 0,13            |

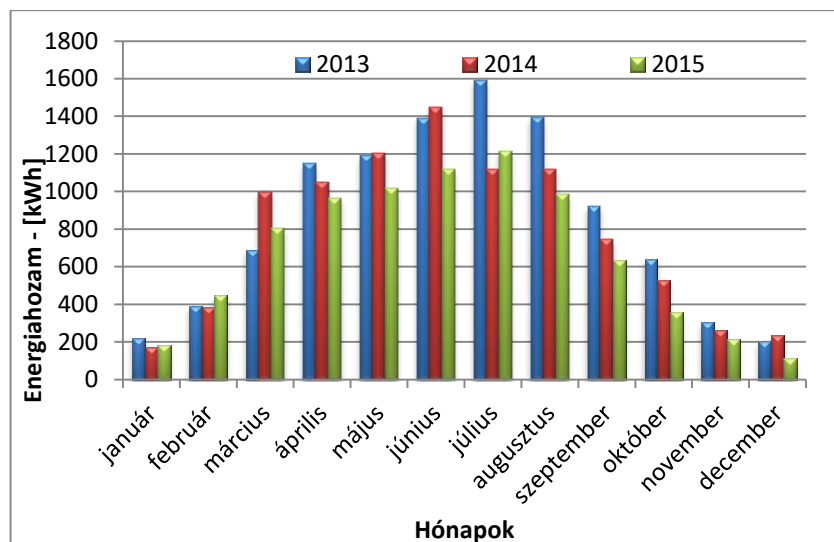
Számot tevő visszaesés a 4-es rendszernél csak a 2015-ös évben mérhető, melynek okát a későbbi vizsgálatok után adom meg. Az első vizsgálati évben 197 kWh, majd 187 kWh végül 162 kWh értékre csökkent a hasznosított energiamennyiség.

#### 4.1.2. Az 5-ös számú debreceni polikristályos napelemes rendszer

Az 5-ös napelemes rendszert érő globálisugárzás összegeket és energiahozamokat a következő diagramon foglaltam össze (**24. diagram**; **25. diagram**).



**24. diagram** Az 5-ös rendszert érő havi globálisugárzás összegek 2013-2015  
Forrás: Saját szerkesztés, 2016



**25. diagram** Az 5-ös számú debreceni polikristályos napelemes rendszer havi energiahozama 2013-2015

Forrás: *Saját szerkesztés, 2016*

Ennél a rendszernél is megállapítottam a teljesítmény csökkenést a harmadik évre, és a nyári csökkenés mértéke nagyobb, mint a téli időszakban mért.

Az összes energiahasznosítás 2013-ban 10.085 kWh, 2014-ben 9.278 kWh és 2015-ben 8.062 kWh értékre csökkent. 2013-hoz képest 2015-ben 2.023 kWh-val kevesebb villamosenergia hasznosult és a nyári időszakra ebből 1.225 kWh energia kiesés jut, ami kicsivel több, mint 60%. Az egy négyzetméterre vetített összefoglaló adatokat az alábbi táblázatba rögzítettem (**12. táblázat**).

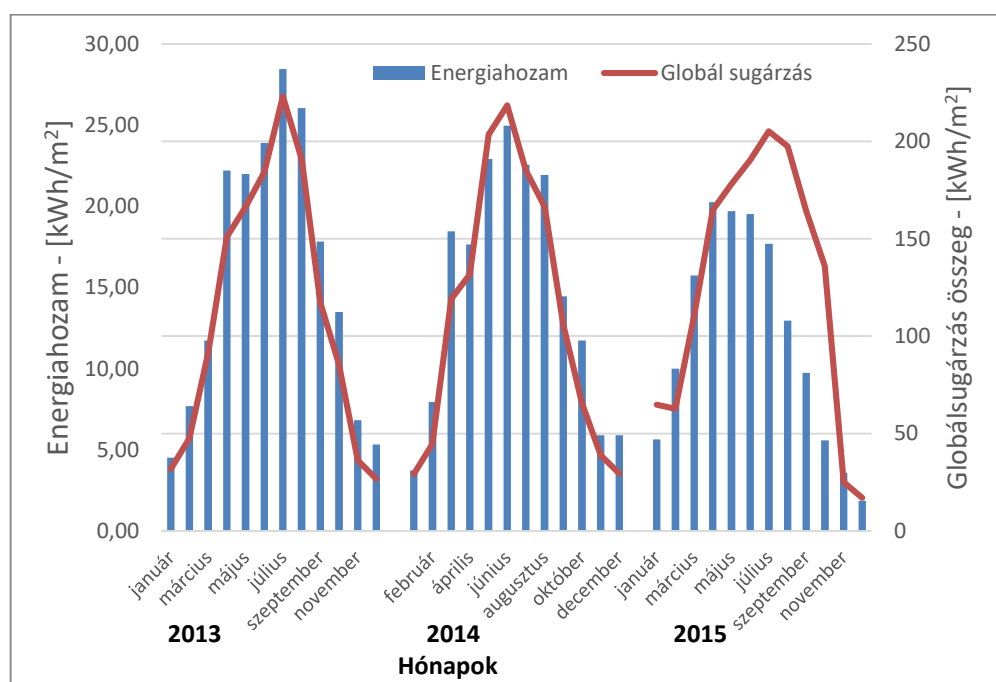
**12. táblázat** Éves energiahozam és éves globálisugárzás változása az 5-ös számú debreceni rendszerénél 2013-2015 között

| Évek | Éves Globálisugárzás összeg<br>1m <sup>2</sup> -re vetítve [kWh] | Éves Energiahozam<br>1 m <sup>2</sup> -re vetítve [kWh] | Százalék<br>% |
|------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------|
| 2013 | 1.286                                                            | 173                                                     | 0,13          |
| 2014 | 1.258                                                            | 159                                                     | 0,13          |
| 2015 | 1.288                                                            | 139                                                     | 0,11          |

Az 5-ös számú rendszernél áprilisban és augusztusban tapasztaltam eltérést a globálsugárzás összegében és a teljesítményben. 2015 áprilisában magasabb volt a sugárzás összege, mint 2013-ban mégis kevesebb energiát hasznosított ez a rendszer. Számottevő kapacitás csökkenés itt a 2015-ös évben volt mérhető.

#### 4.1.3. Az 1-es számú debreceni napeleles rendszer

Az 1-es rendszer éves energiahozamait és a mért globálsugárzási összeget az alábbi diagramon mutatom be (26. diagram).



**26. diagram** Az 1-es számú debreceni napeleles rendszer havi energiahozama és a globálsugárzás összegek változása 2013-2015  
*Forrás: Saját szerkesztés, 2016*

Az 1-es rendszernél megállapítható, hogy már a három éves üzemelés alatt is csökken az energiahozam. Az egész éves energiahozam 2013-ban 63.840 kWh, 2014-ben 59.808 kWh, 2015-ben 47.712 kWh értékűre csökkent. Ennél a rendszernél jelentősebb visszaesés 2015-ben mértem, ekkor a globálsugárzás csökkenésének mértékétől nagyobb mértékben csökkent a napeleles rendszer energiahozama. A 2014-es visszaesés mértéke gyakorlatilag a globálsugárzás csökkenés mértékével azonos.

A globálsugárzásra és az energiahasznosításra vonatkozó összefoglaló adatokat az alábbi táblázatba rögzítettem (13. táblázat).

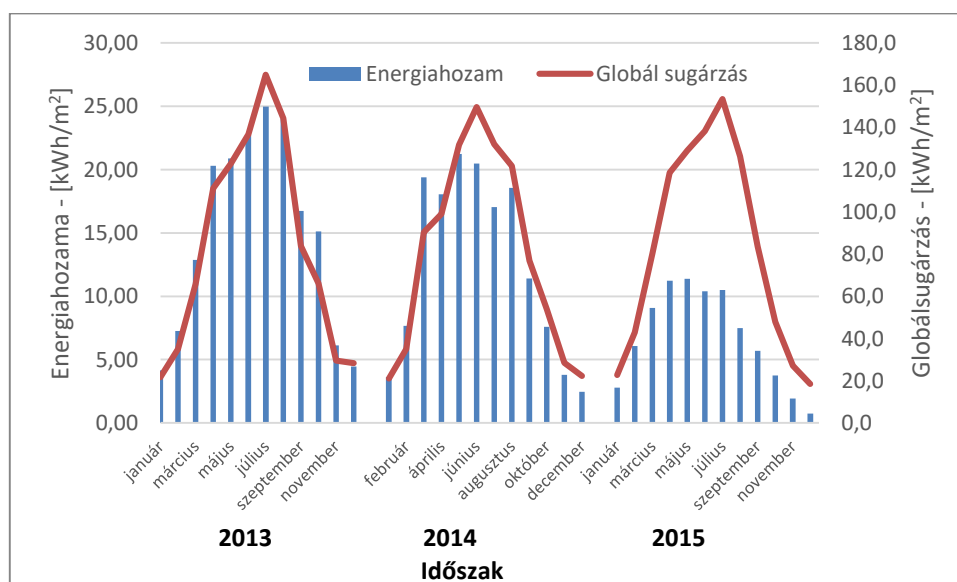
**13. táblázat** Éves energiahozam és éves globálisugárzás változása az 1-es számú debreceni rendszernél 2013-2015 között

| Évek | Éves Globálisugárzás összeg<br>1m <sup>2</sup> -re vetítve [kWh] | Éves Energiahozam<br>1 m <sup>2</sup> -re vetítve [kWh] | Százalék<br>[%] |
|------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------|
| 2013 | 1.352                                                            | 190                                                     | 0,14            |
| 2014 | 1.338                                                            | 178                                                     | 0,13            |
| 2015 | 1.516                                                            | 142                                                     | 0,09            |

Az első évben csak egy 1%-os csökkenés volt mérhető, de a harmadik évben már egy jelentős visszaesés figyelhető meg, aminek valamilyen műszaki vagy üzemeltetési oka van. Hiszen az előző két debreceni rendszernél csak 2%-os csökkenést volt kimutatható, ami a környezeti paraméterekkel összefüggésbe hozható. Vizsgálódásaim szerint, az okozhatja a problémát, hogy a raktáracsarnok tetőszerkezetéhez túl közel van rögzítve a napelem és nem tud kellőmértékben hűlni a rendszer.

#### 4.1.4. A 2-es számú debreceni napelemes rendszer

A 2-es rendszer éves energiahozamait és a mért globálisugárzási összeget az alábbi diagramon mutatom be (27. diagram).



**27. diagram** A 2-es számú debreceni napelemes rendszer havi energiahozama és a globálisugárzás összegei 2013-2015  
*Forrás: Saját szerkesztés, 2016*

Az 2-es rendszernél is megállapítható, hogy még jelentősebb az első három éves üzemelés alatt tapasztalható energiahozam csökkenés. Az éves összesített energia mennyiség 2013-ban 42.244 kWh, 2014-ben 35.636 kWh és 2015-ben 19.116 kWh.

A négyzetméterre vetített energiamennyiségeket az alábbi táblázatba foglaltam össze (**14. táblázat**).

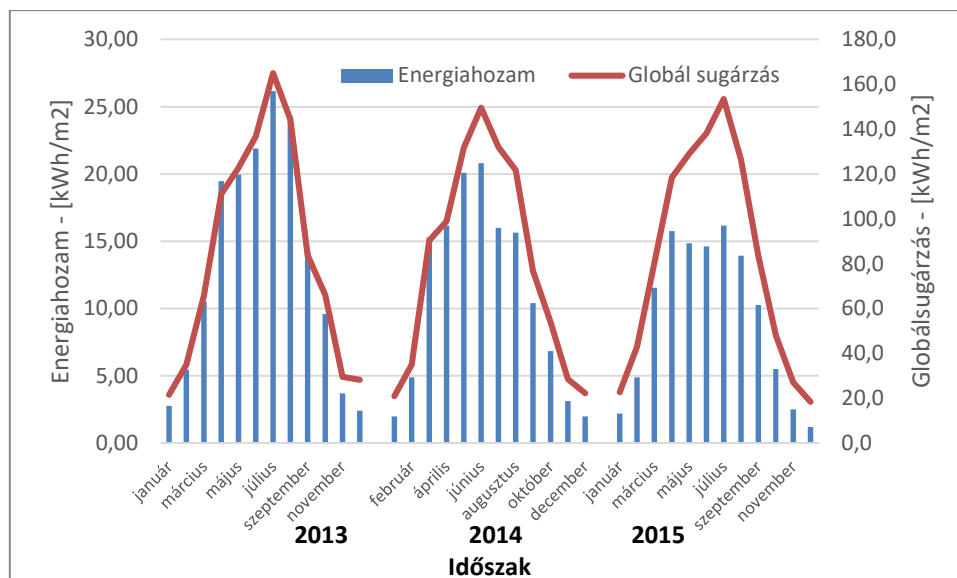
**14. táblázat** Éves energiahozam és éves globálsugárzás változása az 2-es számú napelemes rendszernél

| Évek | Éves Globálsugárzás összeg<br>1m <sup>2</sup> -re vetítve [kWh] | Éves Energiahozam<br>1 m <sup>2</sup> -re vetítve [kWh] | Százalék<br>[%] |
|------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------|
| 2013 | 1.010                                                           | 179                                                     | 0,17            |
| 2014 | 962                                                             | 151                                                     | 0,15            |
| 2015 | 988                                                             | 81                                                      | 0,08            |

Az első évben itt már 2%-os csökkenés volt mérhető, de a harmadik évben egy nagymértékű –hét százalékos - visszaesés figyelhető meg, aminek műszaki, üzemeltetési oka van ebben az esetben. A helyszíni diagnosztika során a felületen jelentős mértékű szennyeződést tapasztaltam, melyet a későbbi fejezetben foguk bemutatni.

#### 4.1.5. A 3-as számú debreceni napelemes rendszer

A 3-as rendszer éves energiahozamait és a mért globálsugárzási összeget az alábbi diagramon mutatom be (**28. diagram**).



**28. diagram** A 3-as számú debreceni napelemes rendszer havi energiahozama és a globálisugárzás összegek 2013-2015  
 Forrás: *Saját szerkesztés, 2016*

Az éves összesített energia mennyiség 2013-ban 37.720 kWh, 2014-ben 31.388 kWh és 2015-ben 26.668 kWh. Az egy négyzetméterre vetített értéket az alábbi táblázatba foglaltam össze (**15. táblázat**)

**15. táblázat** Éves négyzetméterenkénti energiahozam és éves globálisugárzás változása az 3-as számú napelemes rendszerénél

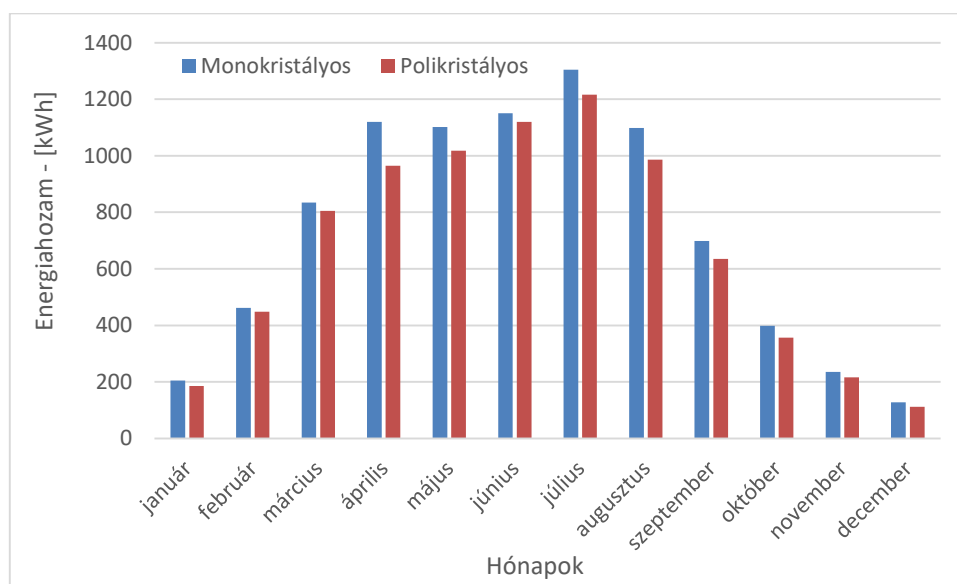
| Évek | Éves Globálisugárzás összeg<br>1m <sup>2</sup> -re vetítve | Éves Energiahozam<br>1 m <sup>2</sup> -re vetítve | Százalék<br>[%] |
|------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------|
| 2013 | 1.010 kWh/m <sup>2</sup>                                   | 160 kWh/m <sup>2</sup>                            | 0,15            |
| 2014 | 962 kWh/m <sup>2</sup>                                     | 133 kWh/m <sup>2</sup>                            | 0,13            |
| 2015 | 988 kWh/m <sup>2</sup>                                     | 113 kWh/m <sup>2</sup>                            | 0,11            |

Ennél a rendszerénél 2%-os csökkenés volt mérhető évenként. Ez egy egyenletes csökkenés, ami a szennyeződésnek köszönhető.

#### 4.1.6. A poli és a monokristályos debreceni napelemes rendszer összehasonlítása

Vizsgálatom során lehetőségem volt ugyan azon az épületen elhelyezett mono- és polikristályos – a négyes és az ötös rendszer - napelemeket vizsgálni, összehasonlítani. Mindkét rendszer ugyan olyan SMA inverterrel működik. A monokristályos rendszer 54 m<sup>2</sup>, a polikristályos 58 m<sup>2</sup> összterületű napelemes modulokból áll. A mérési adatokat a **29. diagramon** foglaltam össze.

Az adatok feldolgozását követően megállapítottam, hogy a monokristályos napelemek az Észak-alföldi régiókban jobb éves energiahasznosítással üzemelnek, mint a polikristályos napelemek. Pedig az elmúlt három évben a monokristályos rendszer 29.514 kWh-t, míg a polikristályos rendszer 27.425 kWh-t hasznosított (15-ös diagram). Ez a különbség egy átlag lakossági elektromos áram árral -44 Ft/kWh- kalkulálva is több mint 90.000 Ft.

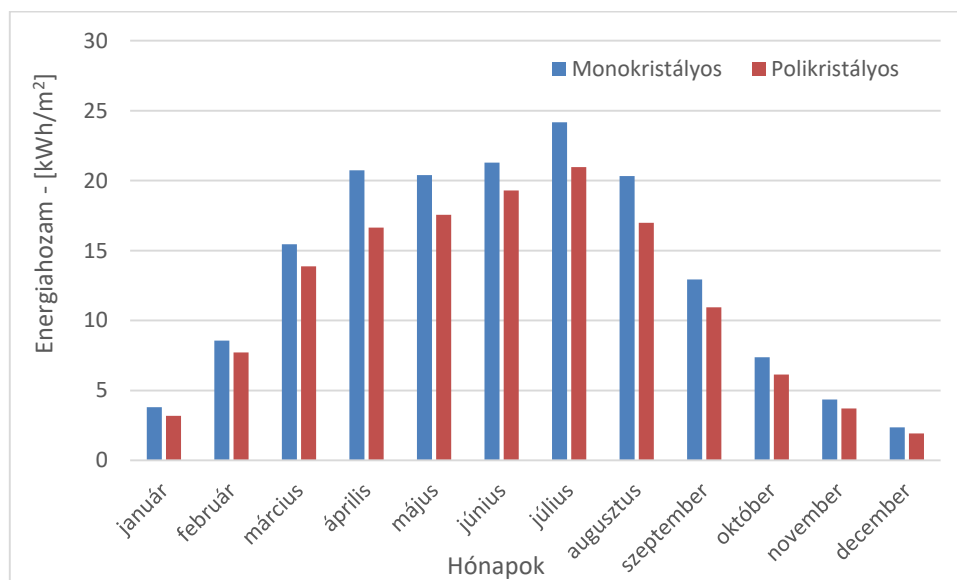


**29. diagram** Mono- és polikristályos debreceni napelemek energiahozama 2015  
*Forrás: Saját szerkesztés, 2016*

Fontosnak tartom kiemelni, hogy a vizsgált rendszereknél is megállapítható, hogy a monokristályos rendszer jobb paraméterekkel üzemeltethető. A megrendelőt a tapasztalatok alapján sokszor nem tájékoztatják a beruházás előtt megfelelően, sőt sokszor anyagi érdekek miatt inkább a gyengébb műszaki tartalom irányába terelik a vásárlót. Jellemzően

polikristályos napelemeket vásárolnak, ezekről a rendszerekről sikerült nekem is több adatot gyűjtenem.

Amennyiben korlátozottak a beépíthetőség szempontjából a lehetőségeink, úgy célszerű az egy  $\text{m}^2$ -re vetített energiahozamokat megvizsgálni. (30. diagram)



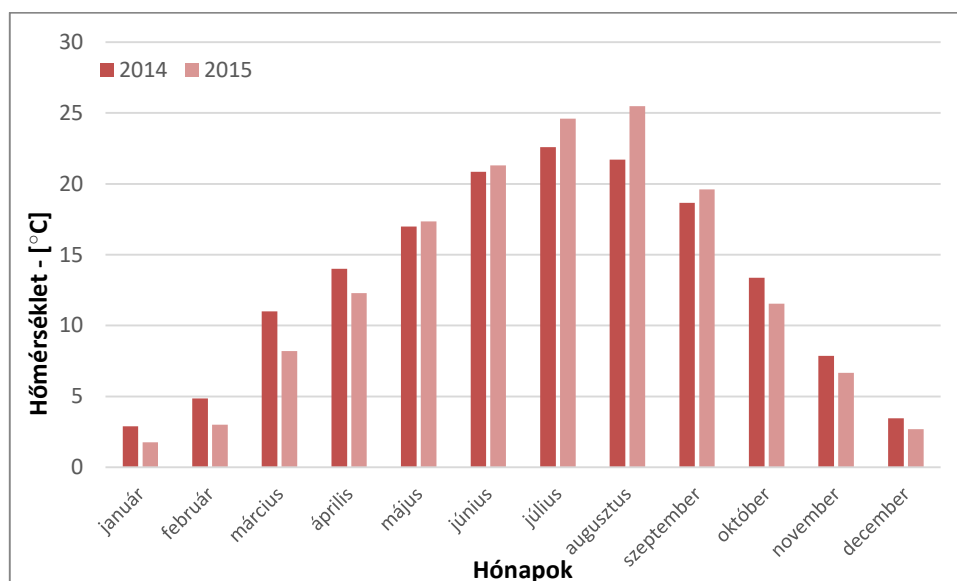
**30. diagram** Mono- és polikristályos debreceni napelemek négyzetméterre vetített energiahozama 2015-ben  
Forrás: Saját szerkesztés, 2016

A fenti diagramon a 2015-ös évben az egy négyzetméterre vetített energiahozamokat mutatom be. Megállapítottam, hogy egész évben minden hónapban jobban hasznosítják a napfényt a monokristályos elemek. Éves kihozatal szempontjából átlagosan mintegy 8,4 %-os többlet állapítható meg a monokristályos napelemek javára. Ez a tendencia figyelhető meg mind a három vizsgált évben.

#### 4.1.7. A hőmérséklet és szélesség paraméterek vizsgálata

Mivel a harmadik évben több mint 2%-os csökkenést is tapasztaltam mind az öt rendszer esetében ezért tovább vizsgáltam, hogy mivel lehet még összefüggésben a teljesítmény

csökkenés. Az adatbázisban a napsütéses órákban mért átlagos havi levegőhőmérsékleti adatokat foglaltam össze (**31. diagram**).

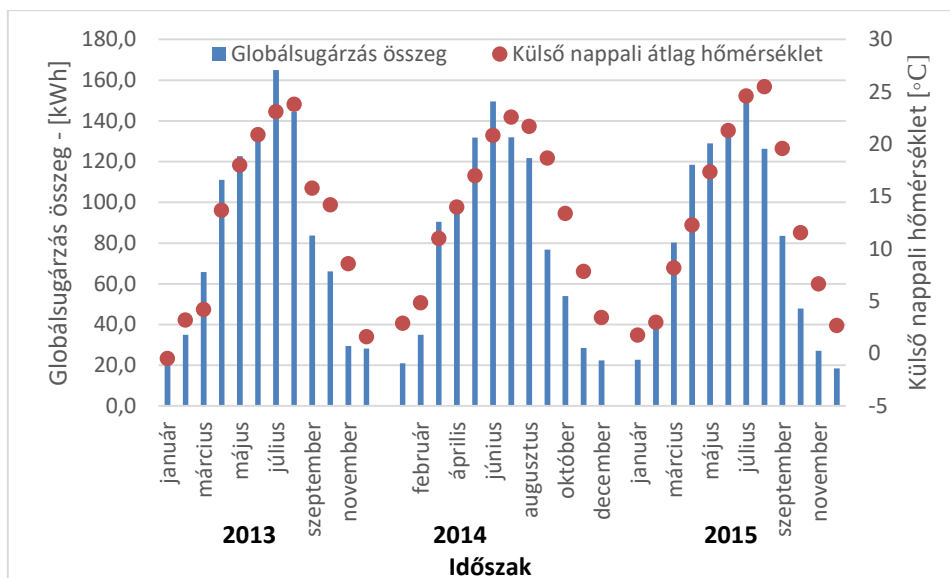


**31. diagram** Átlagos havi levegőhőmérséklet a napsütéses időszakban Debrecenben 2013-2015

Forrás: *Saját szerkesztés, 2016*

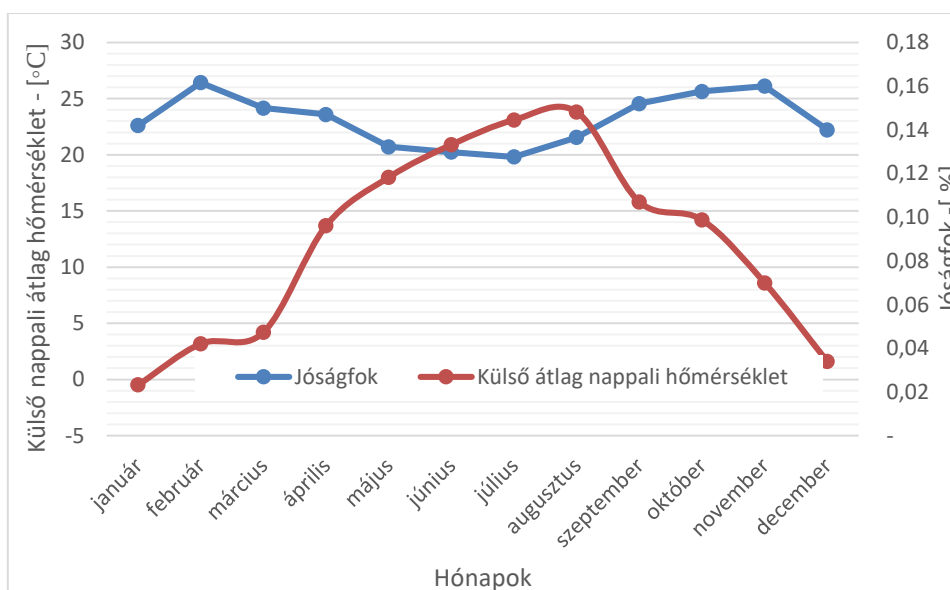
Megállapítottam, hogy a nyári időszakban májustól egészen szeptemberig 2015-ben minden hónapban magasabb nappali átlag hőmérsékletet mértem, mint 2014-ben. A júliusi átlag hőmérséklet 22,6°C -ról 24,6°C -ra emelkedett, az augusztusi 21,7 °C-ról 25,5 °C-ra emelkedett, a téli hónapokban pedig hőmérséklet csökkenést regisztráltam, mely közül kiemelkedő például a március, amikor 2,8 °C-kal hidegebb volt. Véleményem szerint ez a markáns változás, ami jelentős teljesítmény csökkenést okoz a napelemes rendszernél.

Arra a kérdésre a válasz, hogy miért is üzemelnek rosszabbul a rendszerek 2015-ben, mint például 2014-ben további elemzéseket végeztem. A **32. diagramon** ábrázoltam a globál-sugárzás összegeket és kiegészítettem a napsütéses időszakban mért havi átlaglevegő hőmérséklet adatokkal.



**32. diagram** A debreceni napelemes rendszernél mért globálisugárzás és nappali levegőhőmérséklet 2013-2015 között  
 Forrás: *Saját szerkesztés, 2016*

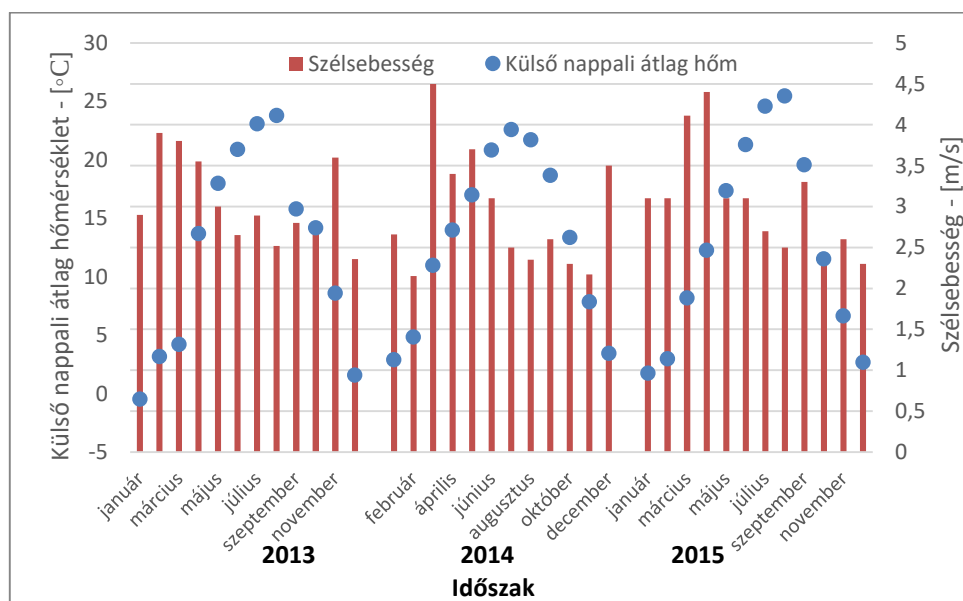
Megállapítottam, hogy a napelemes rendszer azokban a hónapokban képes több elektromos energiát hasznosítani, amikor a levegő hőmérséklete alacsonyabb hasonló sugárzás érték mellett, míg abban az esetben, amikor nő a külső levegő hőmérséklete, akkor jelentősen csökken az energiahasznosítás mértéke hiába hasonló a besugárzás mértéke. A következő diagramon ábrázoltam a globálisugárzásból hasznosított energiamennyiség hányadosát és a napsütéses időszakban mért átlag levegőhőmérsékletet (**33. diagram**).



**33. diagram** A debreceni napelemes rendszernél mért jóságfok és nappali levegőhőmérséklet 2013-2015  
 Forrás: *Saját szerkesztés, 2016*

A külső vizsgált környezeti paramétereknél azt tapasztaltam, hogy nagy szerepe van a hőmérsékletváltozásnak. A szélesebbesség vizsgálata volt a következő elem, mert a szél képes hűteni a rendszert és így jobb hatékonysággal lehet üzemeltetni a rendszert.

A mérésekből megállapítottam, hogy a régiókban a szélesebbesség jelentősen 2-2,5 m/s –al csökken a nyári időszakban a téli értékekhez képest (**34. diagram**)



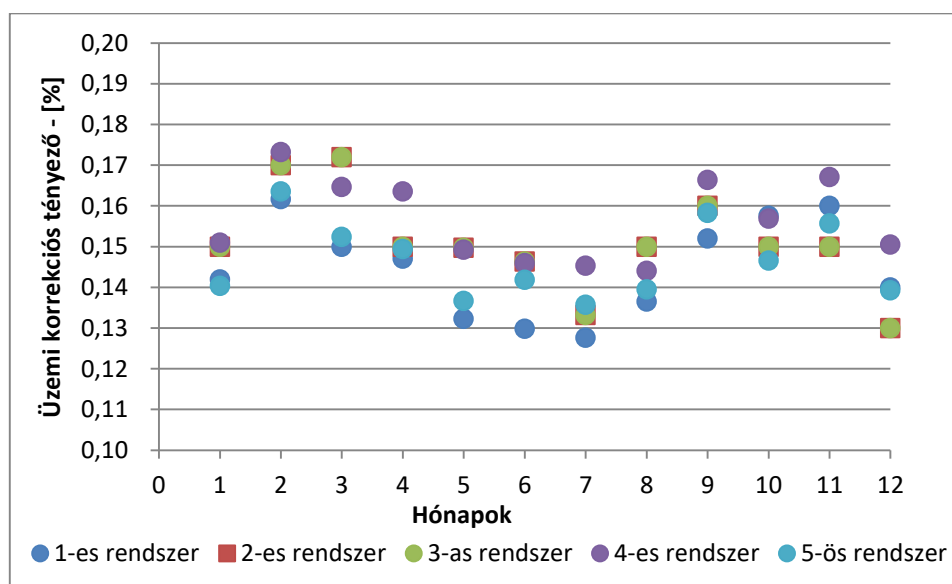
**34. diagram** A debreceni napelemes rendszernél mért szélesebbesség és nappali levegőhőmérséklet 2013-2015 között  
 Forrás: Saját szerkesztés, 2016

Megállapítottam, hogy a vizsgált időszakban a hőmérséklet emelkedése és a szélesebbesség csökkenése közel azonos globálsugárzás mellett a PV modulok – több mint 2%-os- energiahozam csökkenését okozta.

## 4.2. A napelemes PV modell

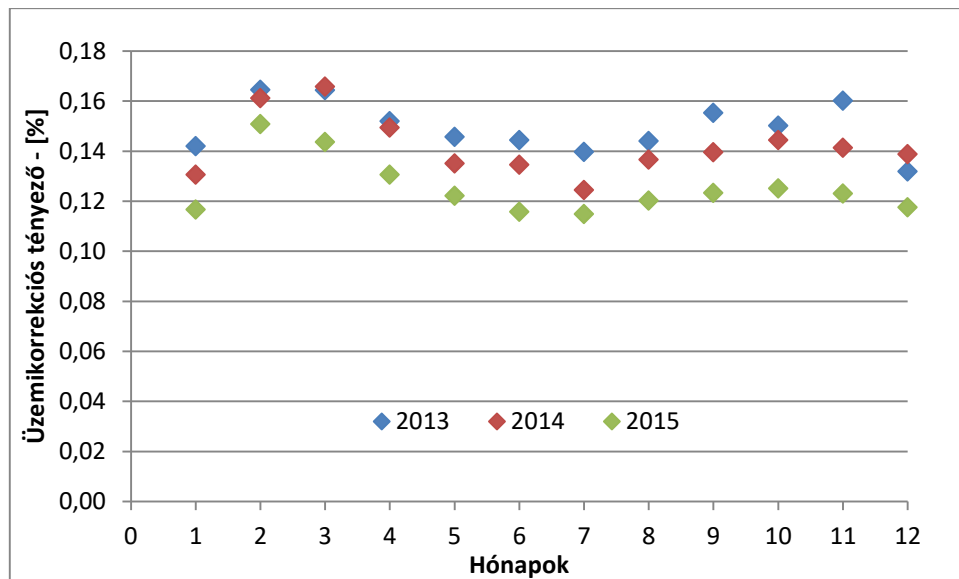
A mérési adatsorok alapján egy olyan modellt alkottam, amellyel lehetőség van a napelemes rendszer elvárható energiahozamát havi bontásban vizsgálni. A számítási módszer figyelembe veszi a telepített rendszer tájolását, dőlésszögét, földrajzi helyzetét, és a rendszer területén jellemző környezeti paramétereket. Így valós képet kapunk arról, hogy milyen elvárható energiahozammal kellene üzemelnie egy napelemes rendszernek, ha nincs egyéb műszaki akadály a háttérben.

Megállapítható a **35. diagram** adatai alapján, hogy évről évre a havi üzemi korrekciós tényező nagyon hasonló értékű az eltérő napelemes rendszereknél. Mind a hét napelemes rendszer esetében ugyanaz a trend figyelhető meg. Az is megállapítható, hogy az 1-es rendszernél (közvetlen a tetőre integrált) rosszabb minden hónapban a korrekciós tényező, ami a rendszer túlmelegedésére utal.



**35. diagram** 2013-ban a debreceni rendszerek havi üzemkorrekciós tényezője  
*Forrás: Saját szerkesztés, 2016*

Az üzemi korrekciós tényezők elemzése során azt is megállapítottam, hogy évről egy minimális 1%-os csökkenés figyelhető meg. Az átlagolt értékek éves változását a **36. diagramon** foglaltam össze.



**36. diagram** Üzemi korrekciós tényezők havi átlaga 2013-2015 között  
 Forrás: *Saját szerkesztés, 2016*

Az üzemi korrekciós tényező a labor körülmények között mért hatásfokot kompenzálja a valós körülmények között alakuló levegőhőmérséklet, szélsébség, szennyezettség és egyéb befolyásoló tényezők mellett mért valós energiahozamok szerint. Ez az üzemi korrekciós tényező sor egy adott régióra igaz, mivel a környezeti paraméterek vannak a legnagyobb hatással a napelemek energiahasznosítására.

A **4. fénykép** segítségével bemutatom, hogy milyen kiinduló adatokra van szükség, hogy a PV modell segítségével kalkulációt készítsünk a napelemes energiahozamra vonatkozóan. A felhasználó megadhatja:

- ☼ a tájolását a napelemnek,
- ☼ a dőlésszögét a rendszernek,
- ☼ a panelek hatásfokát,
- ☼ és a rendszer összteljesítményét.

A telepítéshelyétől függően a globálsugárzási összegek a vizsgált időszakra havi bontásban betölthetőek és az energiahozamot szintén havi bontásban készíti el program. Készít egy összefoglaló diagramot is, ahol az éves elvárható energiahozam kWh mértékegységben kerül bemutatásra.

## Napelmek energiahozam kalkulációja

Általános formula  $E = A \times r \times H \times D_K \times T_K \times (1 - \ddot{U}_K)$

E= Energiahozam éves [kWh]

A= Teljes Napelemes rendszer terület [m<sup>2</sup>]

Napelemes rendszer teljesítménye

r= Napelem panel hatásfok

Dőlésszög (0-90°)

Tájolás

46 689 kWh

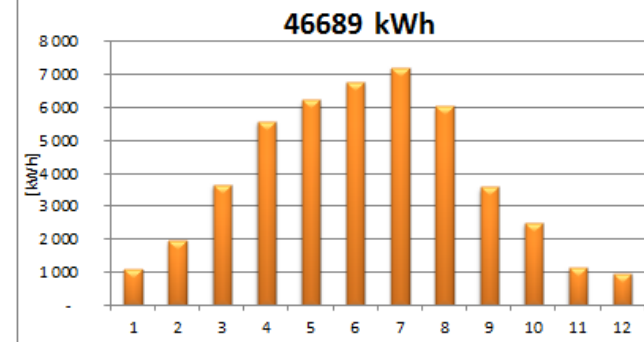
320,5 m<sup>2</sup>

50 kWp

15,60%

30 °

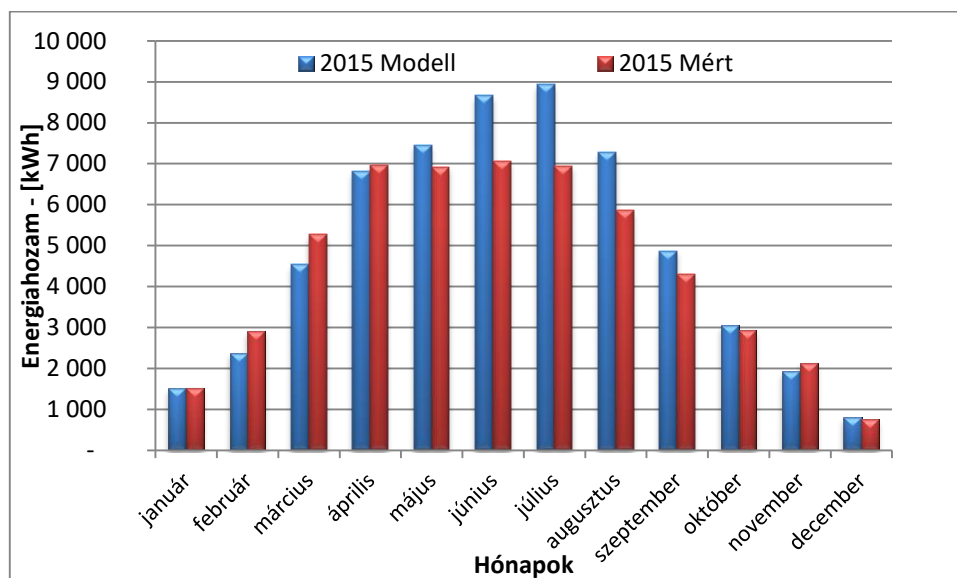
D



|                          | január | február | március | április | május  | június | július | augusztus | szeptember | október | november | december |           |
|--------------------------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|-----------|------------|---------|----------|----------|-----------|
| Dőlésszögből korrekció   | 89%    | 99%     | 100%    | 100%    | 100%   | 100%   | 100%   | 100%      | 100%       | 98%     | 98%      | 100%     |           |
| Tájolás korrekció        | 100%   | 100%    | 100%    | 100%    | 100%   | 100%   | 100%   | 100%      | 100%       | 100%    | 100%     | 100%     |           |
|                          | 89,3%  | 98,7%   | 100,0%  | 100,0%  | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0%    | 100,0%     | 98,5%   | 98,1%    | 100,0%   |           |
|                          | 87,5%  | 83,6%   | 84,6%   | 85,3%   | 85,7%  | 86,0%  | 86,4%  | 85,7%     | 83,9%      | 84,9%   | 84,1%    | 85,7%    |           |
| Üzemeltetési korrekció   | 0,14   | 0,17    | 0,15    | 0,15    | 0,14   | 0,14   | 0,14   | 0,14      | 0,16       | 0,15    | 0,16     | 0,14     |           |
| Globál sug összeg kWh/m2 | 25     | 46      | 86      | 131     | 146    | 158    | 167    | 141       | 85         | 59      | 27       | 22       |           |
| Energiahozam elvárható   | 1 077  | 1 938   | 3 647   | 5 577   | 6 240  | 6 793  | 7 212  | 6 045     | 3 581      | 2 490   | 1 134    | 956      | 46689 kWh |

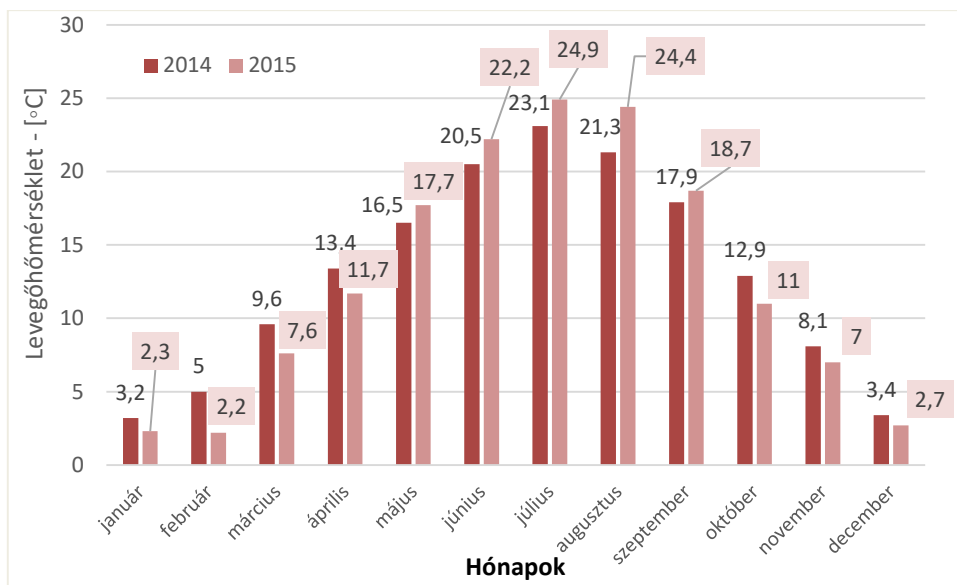
### 4. fénykép A napelemes modell energiahozam prognosztizáló számítógépes felülete

A modell segítségével számításokat végeztem más üzemelő rendszereknél is. Annak érdekében, hogy különböző területeken telepített rendszereknél is lehessen alkalmazni a modellt, különböző területekről választottam rendszereket. Egy hódmezővásárhelyi telephely 50 kWp-es napelemes rendszerére vonatkozóan az alábbi kalkuláció készült. (37. diagram)



**37. diagram** A mért és a PV modell segítségével számolt energiamennyiség 2015-ben  
*Forrás: Saját szerkesztés, 2016*

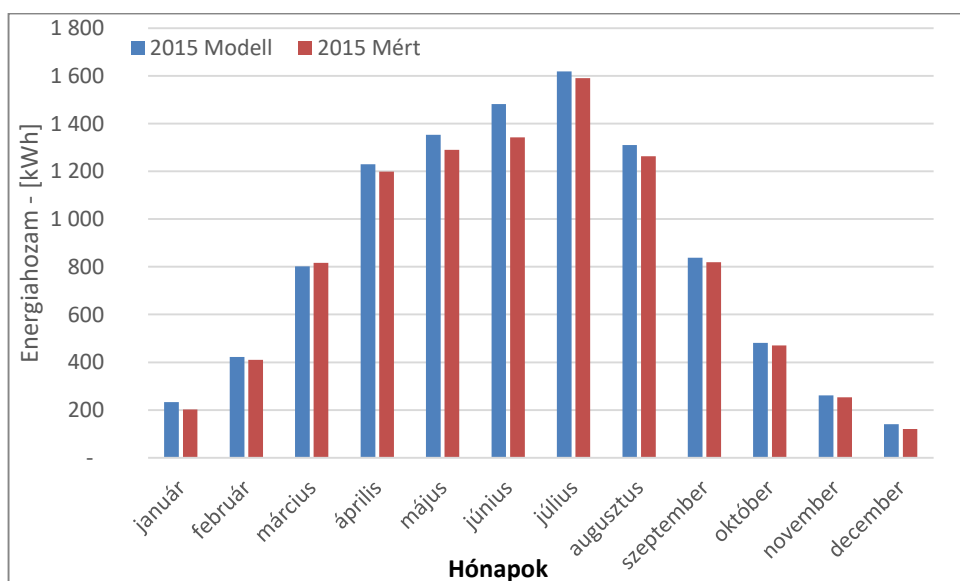
A fenti diagramon foglaltam össze a 2015-ös évre vonatkozó havi energiamennyiségeket. Kékszínrel a modell által készített energiahozam, míg pirossal jelöléssel a tényleges energiamennyiséget ábrázoltam. Ennek a rendszernek az egészéves energiahasznosítás 55.620 kWh értékű, míg a számítások szerint 58.242 kWh értékű energiamennyiséget lehetett volna hasznosítani. Azt is megállapítottam, hogy a nyári időszakban van jelentősebb teljesítmény csökkenés. Ez azért alakul, így mert túlmelegednek a napelemek - a csarnok tetőszerkezetéhez közel vannak rögzítve ezek is- nem tudnak hűlni kellő mértékben. Tovább fokozza a helyzetet, hogy 2015-ben a –helyi időjárás állomás adatai alapján- a nyári időszak melegebb, mint 2014-ben. (38. diagram).



**38. diagram** Átlag levegőhőmérséklet Hódmezővásárhelyen 2014- 2015-ben  
*Forrás: Saját szerkesztés, 2016*

Júniusban 1,7 °C, júliusban 1,8 °C augusztusban 3,1 °C-os hőmérséklet növekedés mérhető Hódmezővásárhelyen 2015-ben a 2014-es adatokhoz képest. Ez az átlagos nyári 2,2 °C-os hőmérséklet növekedés 4,5%-os energiahozam csökkenést jelent.

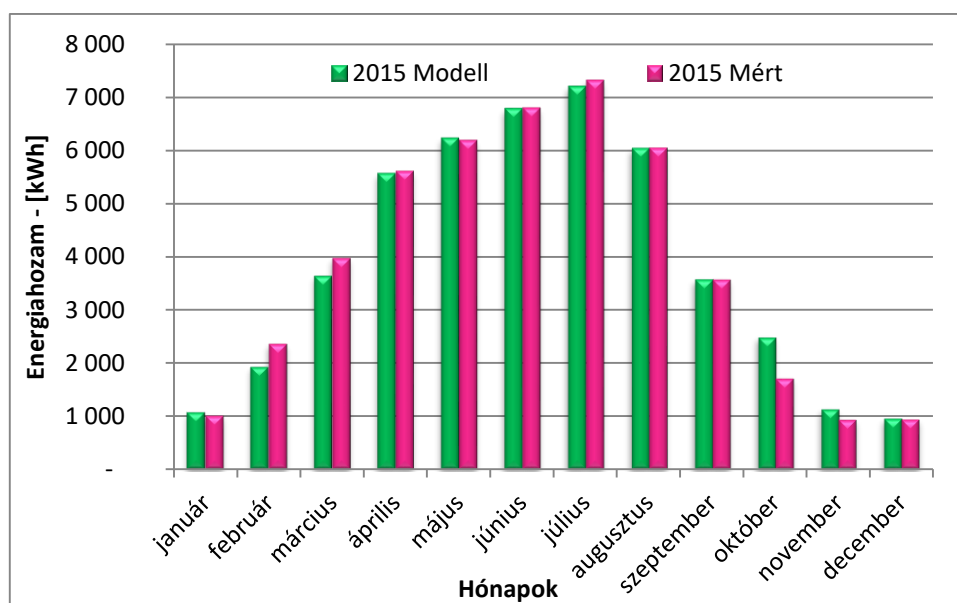
Egy debreceni rendszer adataival is készíttetem elemzést a 2015-es évre vonatkozóan, ahol egy 42 táblából álló összesen 9,2 kWp-os rendszer energiahasznosítását vizsgáltam. A mért és modell számított értékeit a **39. diagramon** foglaltam össze.



**39. diagram** Egy debreceni napelemes rendszer számított és mért energiahasznosítása 2015-ben  
*Forrás: Saját szerkesztés, 2016*

A számítások szerint 10.172 kWh az elvárható energiamennyiség ettől a rendszertől. Az üzemeltetés során 9.778 kWh értékű hasznosított energiamennyiséget regisztráltak. A nyári időszakban májustól júliusig. Így ennél a rendszernél megállapítom, hogy műszaki beavatkozást nem igényel a rendszer, gazdaságosan üzemeltethető.

Annak érdekében, hogy a megbízhatóságot tovább növeljem egy hajdúnánási rendszer energiahasznosítási adatait is ellenőriztem (**40. diagram**)



**40. diagram** A hajdúnánási napelemes rendszer által hasznosított energiamennyiség és a modellezett energiahasznosítás havi bontásban 2015-ben.

*Forrás: Saját szerkesztés, 2016*

Ennél a rendszernél a számítások szerint 46.689 kWh energia hasznosítható, míg a mérések alapján 46.501 kWh energiát hasznosított a rendszer. A **40. diagramon** ábrázolt adatsor alapján is megállapítottam, hogy hónapról hónapra a rendszer a tőle elvárható mértékű energiahasznosítást teljesíti.

A PV modell segítségével készített elemzéseket összehasonlítottam, az egyik legnépszerűbb PVGIS kalkulátor elemzéseivel. Ehhez elemzéseket készítettem az online rendszerű kalkulátorral, melyek számítási eredményeit az alábbiakban mutatom be (16,17,18,19-es táblázat).

**16. táblázat** PVGIS Hódmezővásárhely 50 kWp-os rendszer kalkulációja

| Hónapok    | $E_d$     | $E_m$ | $H_d$ | $H_m$ |
|------------|-----------|-------|-------|-------|
| Január     | 65.50     | 2030  | 1.57  | 48.7  |
| Február    | 103.00    | 2890  | 2.51  | 70.4  |
| Március    | 174.00    | 5380  | 4.41  | 137   |
| Április    | 210.00    | 6290  | 5.53  | 166   |
| Május      | 215.00    | 6660  | 5.83  | 181   |
| Június     | 219.00    | 6560  | 6.02  | 181   |
| Július     | 226.00    | 7010  | 6.28  | 195   |
| Augusztus  | 221.00    | 6860  | 6.12  | 190   |
| Szeptember | 183.00    | 5480  | 4.88  | 146   |
| Október    | 151.00    | 4670  | 3.89  | 120   |
| November   | 94.10     | 2820  | 2.33  | 70.0  |
| December   | 52.80     | 1640  | 1.26  | 39.2  |
| Átlag      | 160       | 4860  | 4.23  | 129   |
| Éves       | 58300 kWh |       | 1540  |       |

**17. táblázat** PVGIS Debrecen 9,2 kWp-os rendszer kalkulációja

| Hónapok    | $E_d$     | $E_m$ | $H_d$ | $H_m$ |
|------------|-----------|-------|-------|-------|
| Január     | 12.10     | 374   | 1.57  | 48.7  |
| Február    | 19.00     | 532   | 2.51  | 70.4  |
| Március    | 31.90     | 990   | 4.41  | 137   |
| Április    | 38.60     | 1160  | 5.53  | 166   |
| Május      | 39.50     | 1230  | 5.83  | 181   |
| Június     | 40.20     | 1210  | 6.02  | 181   |
| Július     | 41.60     | 1290  | 6.28  | 195   |
| Augusztus  | 40.70     | 1260  | 6.12  | 190   |
| Szeptember | 33.60     | 1010  | 4.88  | 146   |
| Október    | 27.70     | 859   | 3.89  | 120   |
| November   | 17.30     | 519   | 2.33  | 70.0  |
| December   | 9.72      | 301   | 1.26  | 39.2  |
| Átlag      | 29.4      | 894   | 4.23  | 129   |
| Éves       | 10700 kWh |       | 1540  |       |

**18. táblázat** PVGIS Hajdúnánás 50 kWp-os rendszer kalkulációja

| Hónapok    | $E_d$     | $E_m$ | $H_d$ | $H_m$ |
|------------|-----------|-------|-------|-------|
| Január     | 58.40     | 1810  | 1.38  | 42.8  |
| Február    | 96.20     | 2690  | 2.32  | 64.8  |
| Március    | 173.00    | 5350  | 4.34  | 135   |
| Április    | 211.00    | 6340  | 5.54  | 166   |
| Május      | 215.00    | 6660  | 5.81  | 180   |
| Június     | 217.00    | 6500  | 5.93  | 178   |
| Július     | 218.00    | 6750  | 6.02  | 187   |
| Augusztus  | 217.00    | 6740  | 5.96  | 185   |
| Szeptember | 176.00    | 5290  | 4.67  | 140   |
| Október    | 137.00    | 4250  | 3.49  | 108   |
| November   | 81.70     | 2450  | 2.00  | 60.1  |
| December   | 43.80     | 1360  | 1.04  | 32.3  |
| Átlag      | 154       | 4680  | 4.05  | 123   |
| Éves       | 56200 kWh |       | 1480  |       |

**19. táblázat** Összefoglaló táblázat a mért és a számított energiahozamokról

|                  | PVGIS<br>[kWh] | PV Modell<br>[kWh] | Mért érték<br>[kWh] |
|------------------|----------------|--------------------|---------------------|
| Hódmezővásárhely | 58.300         | 58.242             | 55.620              |
| Debrecen         | 10.700         | 10.172             | 9.778               |
| Hajdúnánás       | 56.200         | 46.689             | 46.501              |

Megállapítottam, hogy a 2015-ös mérések tekintetében mind a három helyszínen a hazai PV modell számításai közelebb vannak a valós mérési adatsorhoz, mint a PVGIS által számolt értékek. A PV modellel így egy pontosabb a helyi környezeti paraméterek figyelembe vételével készített elemzést kapunk  $\pm 0,5\%$ -os eltéréssel.

### 4.3. Napelemes rendszerek diagnosztikája

Maga a napelemes modulok nem igényelnek karbantartást. Azonban fontos, hogy legalább havonta energiahozam vizsgálatokat végezzünk. Ezen kívül évente minden elektromos kapocs, mechanikus rögzítést ellenőrizni kell.

A modulok üvegfelületein megtelepedett és megnövekedett szennyeződéseket le kell tisztítani, de ne kaparjuk az üvegfelületet. Fontos legalább 3 évente az inspekciós karbantartás elvégzése, ami a rendszer teljes átvizsgálását *jelenti (Debreceni, 2012).*

A 2-es rendszer komolyabb teljesítmény csökkenését is a felület szennyeződése okozhatja. A helyszínen fényképfelvételeket készítettem és azt tapasztaltam, hogy több modul szennyezett (**5. fénykép**).



**5. fénykép** Poros szennyeződés a 2-es számú napelemes rendszer moduljain

*Forrás: Saját fotó*

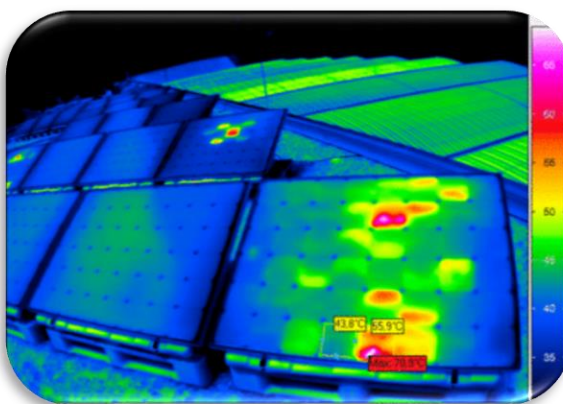
A felület tisztítása fontos üzemeltetői feladat. Nagyobb rendszereknél segítségünkre lehet pl. a PVSpin robot, mellyel nagyobb felületek is rövid idő alatt megtisztíthatóak (**6. fénykép**).



6. fénykép PvSpin robot  
 Forrás: Schletter, 2016; Net20

A debreceni 4-es számú napelemes rendszernél lehetőségem volt az egyik felét a napelemeknek letisztítani, míg a másik felét eredeti állapotában hagytam. A tisztítás követő egyhónapban 68 kWh energiahasznosítás volt télen mérhető, míg a porosan maradt napelemes mező csak 67 kWh villamosenergiát tudott hasznosítani. Ez 1,5%-os eltérést jelent.

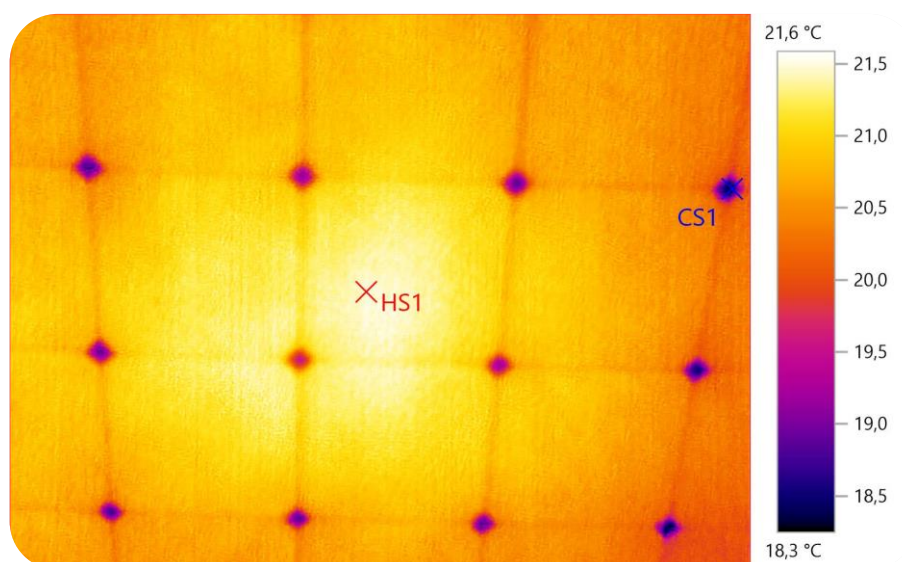
A másik fontos és hasznos diagnosztikai eszköz a hőkamera. A modulok celláin észlelt túlmelegedések – ahol az átlaghőmérséklet  $15 \div 20$  K-nel magasabb ott a cella nem termel áramot csak hőenergiát. Ezért ha a havi elemzés során energiahozam csökkenést tapasztalunk és a tisztítás és a szemrevételezés nem hoz eredményt célszerű megvizsgálni a modulokat egy hőkamerával (7. fénykép).



7. fénykép Hőkamerás diagnosztika napelemes rendszereknél  
 Forrás: Infratec, 201; Net6

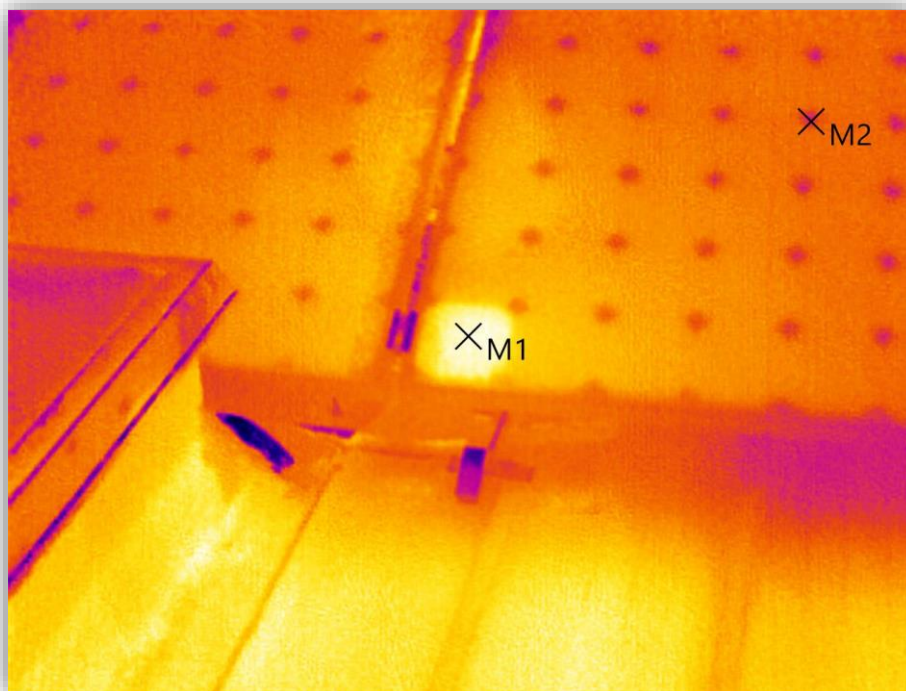
A **7. fénykép**-felvételen jobbra látszik egy olyan panel, ahol több cella is túlmelegedett és emiatt energiahasznosítás kiesés történt. A baloldalon látható moduloknak nincs ilyen problémája. Az általam vizsgált rendszereknél csak olyan modulokat találtam, ahol egy-egy modul nem működött. A hőkamerával vizsgált modulok száma, több mint 200 db és csak 2 db esetben detektáltam ilyen jellegű hibát.

Az 4-es számú rendszer esetében lehetőségem volt a modulok hőkamerás vizsgálatára. A több mint négy éve üzemelő rendszernél nem találtam olyan modult, ahol hőkamerával kimutatható lenne műszaki hiba. A modulokban minden cella egyforma hőmérsékletű a leghidegebb és a legmelegebb pont között 3,3 K-es hőmérséklet különbség észlelhető (**8. fénykép**), (**9. fénykép**), (**10. fénykép**).

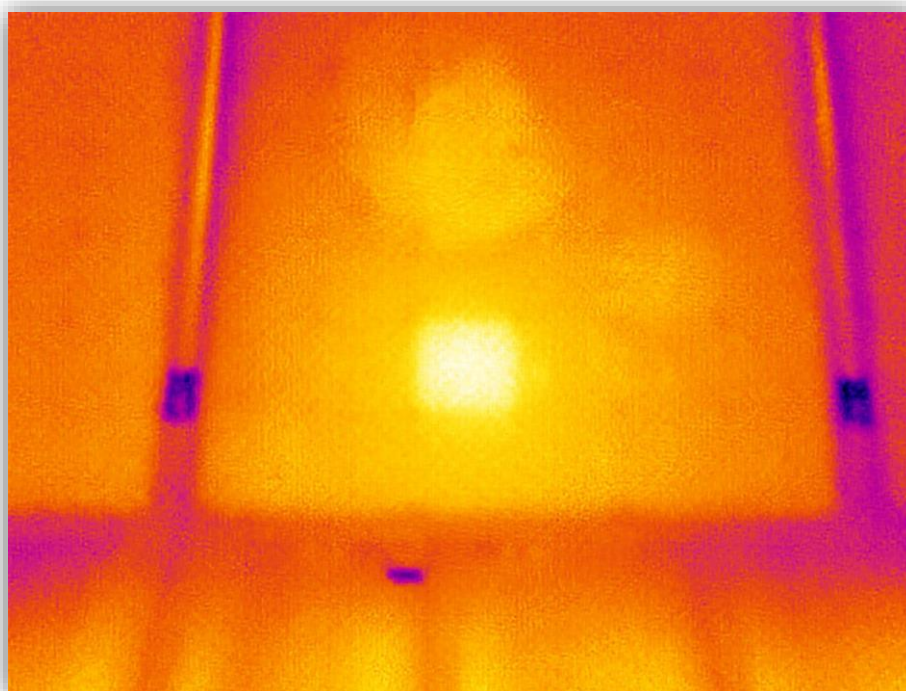


**8. fénykép** Hőkameráskép egy debreceni polikristályos napelemes rendszer egy moduljáról

*Forrás: Saját fotó*



**9. fénykép** Hőkameráskép egy debreceni polikristályos napelemes rendszer egy moduljáról  
*Forrás: Saját fotó*



**10. fénykép** Hőkameráskép egy debreceni polikristályos napelemes rendszer egy moduljáról  
*Forrás: Saját fotó*

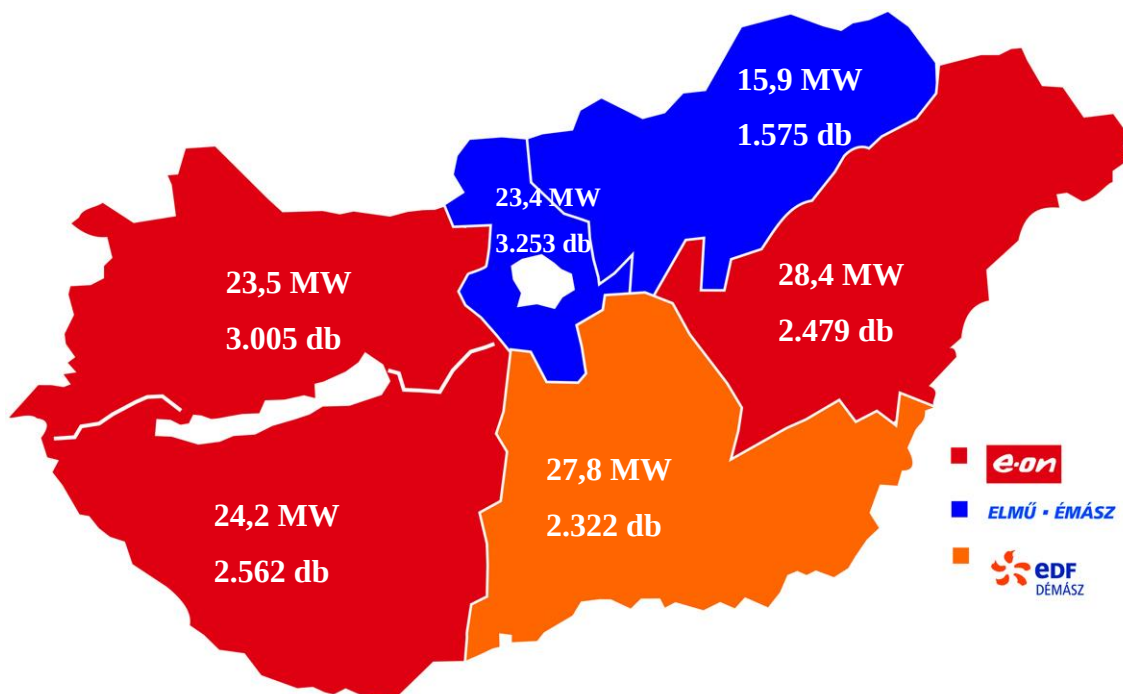
A hőkamerával az alábbi hibák diagnosztizálhatóak és lokalizálhatóak:

- hibás Bypass diódák,
- érintkezési hibák és rövidzárlatok,
- a napelemes cellákban beszivárgó nedvesség,
- szennyeződés, fizikai hibák a cellákon.

A termográfias mérésnél fontos, hogy a környezeti feltételek adottak legyenek, hogy értékelhető eredményeket kapjunk (*Net3*).

#### 4.4. Az eddig telepített hazai napelemes rendszerek

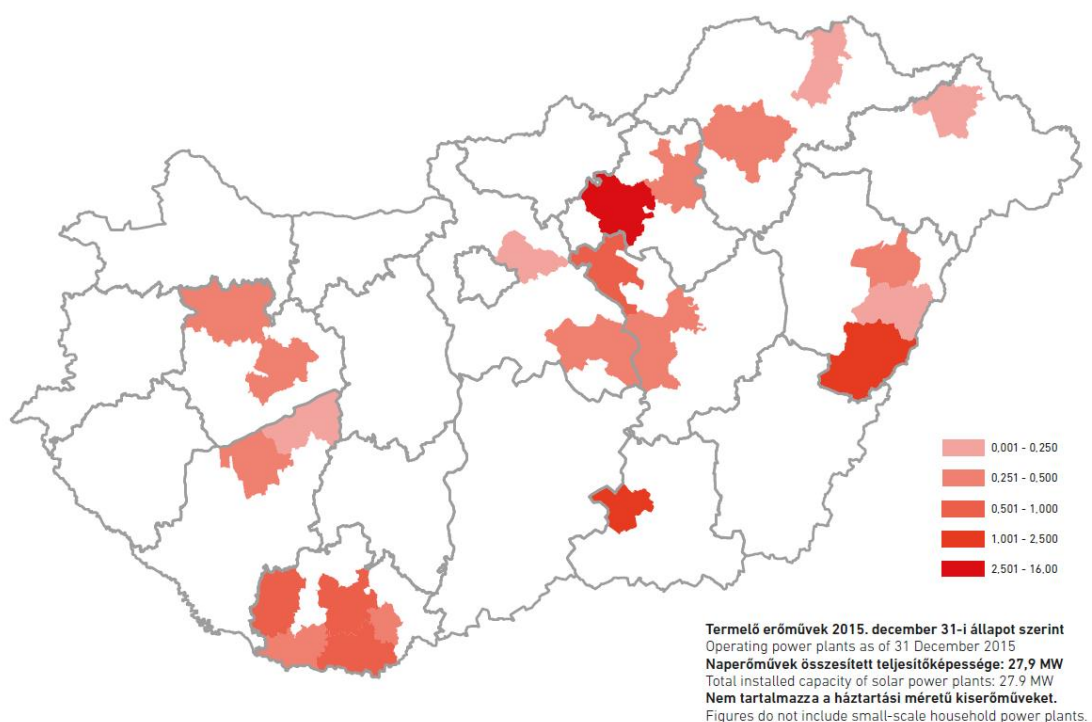
A Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal adatai alapján szerkesztett (9. ábra) mutatja a nem engedély köteles napelemes kapacitás, hogyan oszlik meg területileg. A 143,3 MW beépített kapacitás eloszlása, úgy alakul, hogy a Dunántúlra 47,7 MW van már beépítve, a Tiszántúlon és a déli részen mintegy 56,2 MW beépített kapacitás van és Észak-Magyarországon 39,4 MW kapacitás lett telepítve.



**9. ábra** Napelemes rendszerek teljesítményének területi eloszlása 2015-ben  
*Forrás: Saját szerkesztés Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal, 2015 adatai alapján.*

Kiserőműnek minősül az 50 MW alatti erőmű, a 0,5 MW-nál nagyobb erőműveket a Magyar Energetikai hivatalnál engedélyeztetni szükséges, az 50 kW alatti rendszerek esetében ennél lényegesen egyszerűbb a csatlakozási eljárás, amit a helyi szolgáltatónál kell intézni (273/2007. (X. 19.) Korm. rendelet).

A járasonkénti eloszlását is vizsgáltam a napelemes erőműveknek. A következő **10. ábra** egy összefoglaló a Magyar energetikai és közmű-szabályozási hivatal 2015-ös adataiból az erőművek területi eloszlásáról.

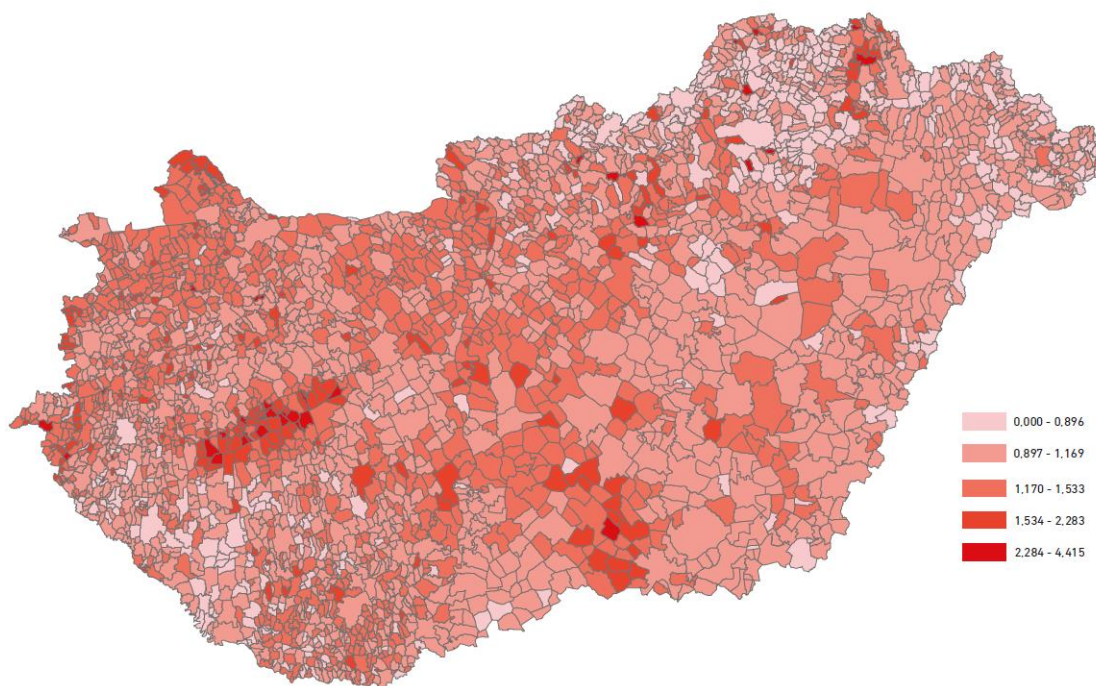


**10. ábra** Naperőművek járasonkénti eloszlása 2015. december 31-i állapot szerint  
Forrás: *A Magyar villamosenergia-rendszer 2015. évi adatai (MVR, 2015;)*

Megállapítottam, hogy az erőművek eloszlása járasonként nagy szórást mutat. Több olyan megyénk is van pl. Bács-kiskun megye, ahol nincs telepített rendszer pedig kedvező napsugárzási feltételekkel bír ez a terület. Van olyan járás is például a Gönczi, ahol az időjárási feltételek nem a legkedvezőbbek és még is van telepített naperőmű.

Hajdú-Bihar megyében a legtöbb beépített kapacitás a Berettyóújfalui járásban a második legtöbb a Debreceni járásban van és van egy kevés a Derecskei járásban is, de a maradék hét járás egyikében sem regisztráltak naperőművet.

Az egy főre jutó villamosenergia-fogyasztást területi eloszlását is megvizsgáltam és a 2015-ös év adatait a következő ábrán mutatom meg (11. ábra).



**11. ábra** Egy főre vetített lakossági villamosenergia felhasználás településenként (MWh/fő)

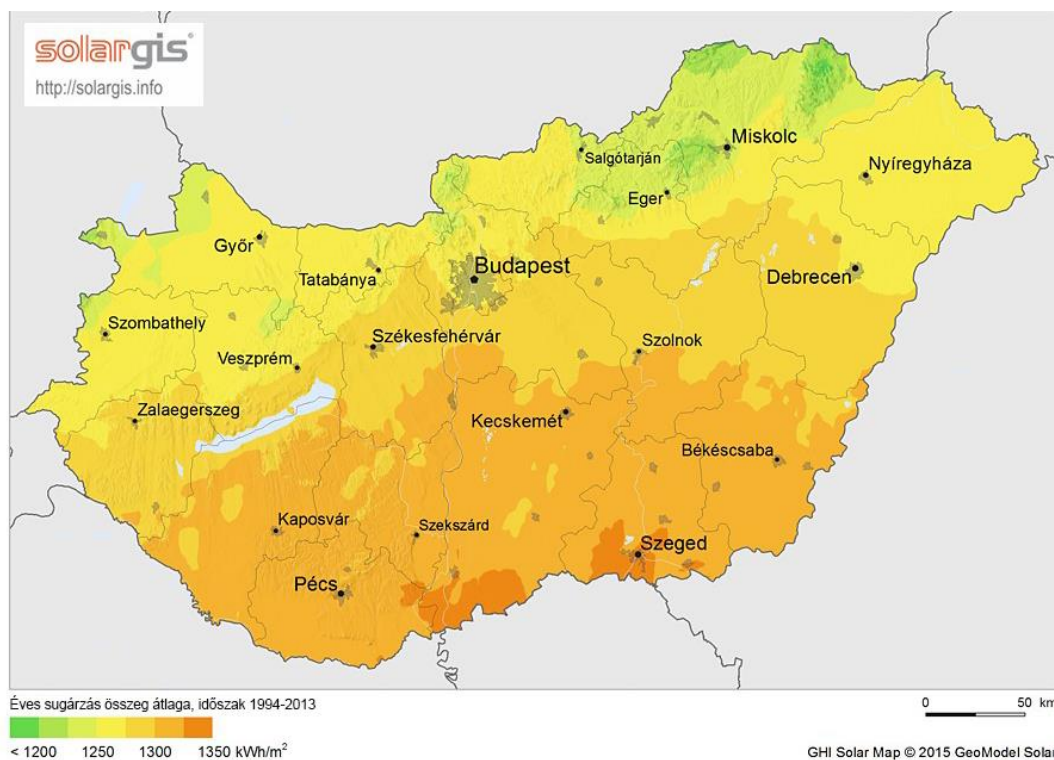
Forrás: *A Magyar villamosenergia-rendszer 2015. évi adatai (MVR, 2015)*

Megállapítottam, hogy a Gönci járás környezetében az országos átlagtól több energiát használnak fel, így az itteni naperőműveknek van létjogosultsága. A másik jelentősebb többlet fogyasztás a Duna-Tisza között déli részén figyelhető meg. A globálisugrási adatok szerint (**12. ábra**) nagy potenciálja van a naperőműveknek ezen a területen, így különösen hasznos lenne egy napelemes beruházás.

Az Észak-Alföldi régióban az MVR adatai alapján átlagosan 1.030 kWh az egy főre jutó átlagos villamosenergia fogyasztás. A népesség adatokkal -1,5 millió fő- összevetve a régió egész éves energia fogyasztása nagyságrendileg 1.545 GWh értékű (*KSH, 2011; Net7*). Ez azt jelenti, hogy ha átlagosan 1 kWp napelemes rendszert használna minden

ember, akkor képes lenne előállítani tisztán környezeti energiából a villamos energia igényét. Természetesen ehhez nagyon sok szakmai és anyagi támogatásra van még szükség, de a fosszilis energiahordozók mértékét az energiamixben nagymértékben csökkenthetnénk.

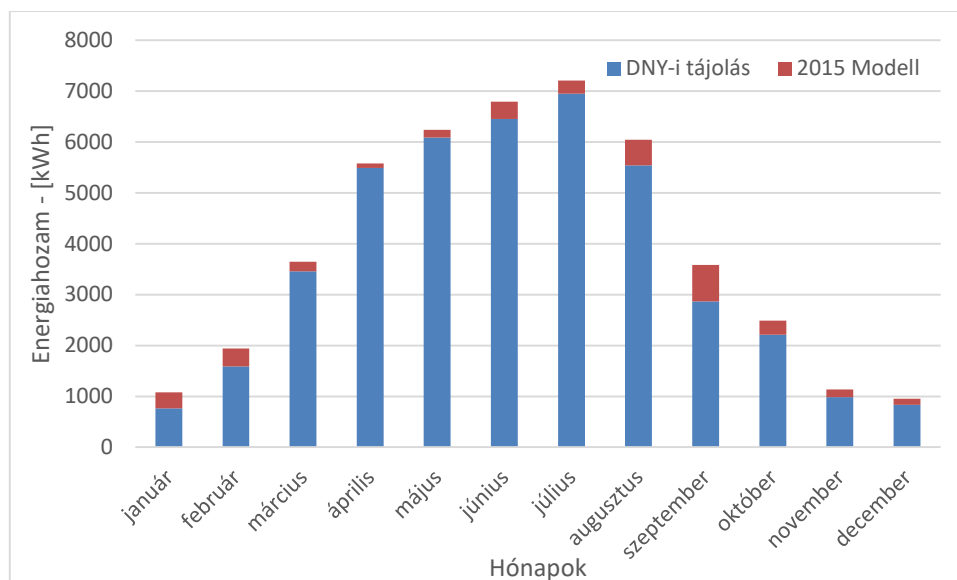
Az összesített vízszintes felületen mért globálsugárzás területi eloszlása az alábbi ábrán látható (12. ábra).



**12. ábra** Összesített globálsugárzás területi eloszlása Magyarországon  
*Forrás: Net13*

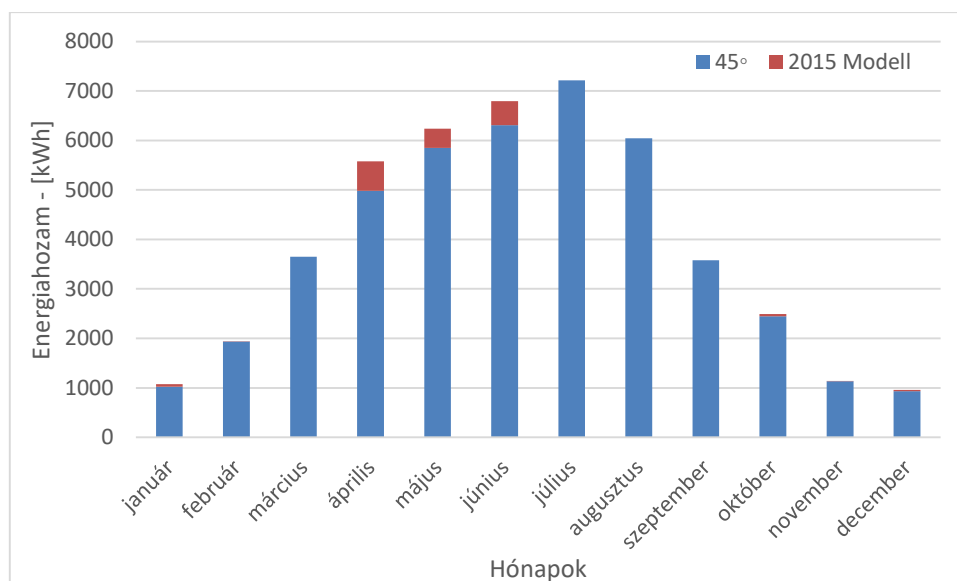
A meteorológiai adatok alapján készült a fenti ábra, melyből megállapítható, hogy az összesített globálsugárzási adottságokat tekintve nagyon jó potenciál van a Tiszántúli régió területén is. Összevetve az energiahivatal adatival az is megállapítottam, hogy ebben a régióban nagyobb beépített napelemes kapacitás figyelhető meg, mint a többi régióban, de a járásonkénti eloszlás lehetne homogénebb. A déli területeken  $1.300 \text{ kWh/m}^2$  értékű sugárzási átlag érték nagyon kedvező a napelemes rendszerek üzemeltetéséhez, de még az északi területeken, ahol  $1.250 \text{ kWh/m}^2$  érték alá csökken az is kedvezőnek mondható.

Abban az esetben is érdemes napelemes beruházásban gondolkodni, ha az épület adottságai miatt nem a legideálisabb paraméterekkel lehet telepíteni a modulokat. Erre vonatkozóan készítettem két számítást, ahol egyik esetben a tájolás DNY-i, a másik esetben 45° -os dőlésszögű napelemekre vonatkozik (**41. diagram; 42. diagram**).



**41. diagram** DNY-i tájolású 50 kWp-es napelemes rendszer várható energiahozama

A már meglévő épületeknél sokszor előfordul, hogy nem lehet D-i tájolással installálni a modulokat. Ebben az esetben ez az eltérés 7,4 %-os éves energiahozam csökkenést eredményez.



**42. diagram** 45°-os dőlésszögű 50 kWp-es rendszer várható energiahozama

Amennyiben a dőlésszöget nem lehet a meglévő tetőszerkezet miatt ideálisra állítani, úgy ez az éves csökkenés 3,4%-ot jelent. Az általam modellezett energiahozam csökkenések összhangban vannak a 18-as diagramon bemutatott értékekkel. Összeségében megállapítom, hogy minimális eltérés esetén nem jelentős a kiseső energiahasznosítás az a beépítendő napelemes modulok darabszámával kompenzálható.

#### 4.5. Napelemes rendszerek SWOT analízise

| Erősségek                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Gyengeségek                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Magyarország kedvező természeti adottságokkal rendelkezik a napenergia felhasználása területén, és ezáltal az ezeken alapuló elektromos áram termelés is kedvező.</li> <li>Hazai napenergia potenciál még kiaknázatlan.</li> <li>Rendelkezésre állnak Magyarországon különböző pl. Uniós források is, melyek energetikai, környezeti és klímapolitikai célokra fordíthatóak.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Jelenlegi részesedése a napelemeknek az energiamixben igen kicsi.</li> <li>A társadalom bizalmának és környezettudatosságának hiánya.</li> <li>A megújulókból előállított áram támogatási rendszere eltér a már teljesen kiforrott nyugat európai gyakorlattól és bizonytalanná teszi a befektetőket.</li> <li>Hiányoznak a megújuló energiákra irányuló K+F programok.</li> </ul> |
| Lehetőségek                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Veszélyek                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>A fosszilis energiahordozók beszerzési nehézségei és árának folyamatos növekedése elősegítheti a napelemes rendszerek térnyerését.</li> <li>Csökkenthető lenne hazánk energiaimport-függősége a naperóművekkel.</li> <li>A decentralizált energiaellátó rendszerhez potenciálisan hozzájárulhatnának a napelemes rendszerek.</li> </ul>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Még mindig magas a megújuló energiaforrások ára és adótartalma, mely gátolja Magyarországi elterjedésüket.</li> <li>Összehangolt támogatási rendszer nélkül a megújuló energiaforrások részaránya nem növekszik az elvárt célok szerint.</li> </ul>                                                                                                                                |

#### 4.6. Hipotézisek

A szakirodalom alapján felállított négy hipotézist sikerült igazolnom, kettőt cáfolni.

|                                                                                                                                                                                                    |          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| H1: Az üzemeltetett napelemes rendszereknek folyamatos optimalizálásra van szüksége, melyhez az üzemeltetőknek szüksége lenne egy üzemi modell rendszer kidolgozására.                             | IGAZOLVA |
| H2: Az eddig telepített hazai napelemes rendszerek földrajzi helyzete és a magas globálsugárzási területek között koherens összefüggés van.                                                        | ELVETVE  |
| H3: A monoszkristályos napelemek a gyakorlatban hasonló éves energiahasznosítással üzemeltethetők <i>régiókban</i> , mint a polykristályos napelemek.                                              | ELVETVE  |
| H4: Potenciálisan kedvező régiókban a napelemekkel lehetőség van egy decentralizált villamosenergia-ellátásra, a jelenlegi fogyasztási igények egésze fedezhető lenne napelemes rendszerekkel.     | IGAZOLVA |
| H5: A napelemes rendszerek energiahatékonysága és a napsütéses órákban mért külső átlaghőmérséklet fordítottan arányos.                                                                            | IGAZOLVA |
| H6: Magyarországon a PV modell segítségével régióként, hasonló ökológiai környezetben, közel azonos globálsugárzási feltételek mellett jól prognosztizálható a napelemek energia hozama hazánkban. | IGAZOLVA |

## 5. Következtetések, javaslatok

Felhasználva az általam bemutatott modellt, a hazai időjárási állomásokra kiterjesztve meghatározható egy-egy rendszer elvárható energiahasznosítása. Szabályozási szempontból kiemelt jelentőségű, hogy a lehető legjobb mértékben tudjuk prognosztizálni a napelemek által a hálózatba táplált energiamennyiséget, a nyugati példákat felhasználva már most olyan energia stratégiát és támogatási rendszert kell kidolgoznunk, ahol a megújulóknak sokkal nagyobb szerep jut a villamoshálózatot fejlesztésben. A modell tovább fejlesztésével akár a napi energiahozamot is számíthatjuk.

További elemzésekkel a modell használatával a jelenlegi rendszerek üzemeltetését lehetne hatékonyabbá tenni, fontos lenne például a külsőhőmérséklet hatásait is bevenni a modellbe, így akár a napi előrejelzés is megvalósítható lenne. Erre akkor lesz szükség, mikor a napelemes részarány az energiamixben jelentősebb lesz, és jelentős hálózatfejlesztéseket kell majd végezni ahhoz, hogy mind a csúcs mind a völgyi időszakban kielégíthetők legyenek a felhasználói szokások.

A mérési adatok alapján javaslom, hogy a lakossági rendszerektől ( $>4$  kWp) nagyobb erőműveknél ár-érték aránynak megfelelően a lehető legkorszerűbb monokristályos napelemekből kell felépíteni a rendszert, mivel régiókban jobb éves energiahasznosítással üzemeltethetőek, mint a polikristályos napelemek.

Egy napelemes rendszert nem csak beüzemelni kell, hanem üzemeltetni is. Hiába nem igényel karbantartást a napelemes rendszer, célszerű a rendszert évente átvizsgálni. Az éves felülvizsgálatnak kiemelt része kellene, hogy legyen a havi energiahozam vizsgálat. Az energiahozam vizsgálatokor kiderülhet, hogy van-e olyan string, ami árnyékolt, sérült vagy elkoszolódott. Arra is érdemes figyelni, hogy a nyári időszakban is képes legyen a rendszer a lehető legnagyobb mértékben átszellőzni. Nem csak a hűtés, de az üvegfelület tisztán tartása is nagyon fontos.

## 6. Új tudományos eredmények

1. Az általam javasolt PV modell segítségével prognosztizálható a napelemek energia hozama éves és havi léptékben. Az üzemeltetők az aktuális környezeti paraméterek alapján ellenőrizni tudják az energiahasznosítást. A kontroll mérések alapján  $\pm 5\%$  pontossággal számolható az elvárható energiahasznosítás.
2. Három év mérési adatai alapján megállapítottam, hogy a monokristályos napelemek jobb éves energiahasznosítással üzemeltethetők régiókban, mint a polikristályos napelemek. Azt a véleményt, miszerint a szórt sugárzást a polikristályos napelemek a magyarországi éghajlati viszonyok mellett jobban hasznosítják, nem sikerült mérésekkel igazolnom. Az adatsorok alapján mind a téli mind a nyári hónapokban a monokristályos napelemek energiahozama kedvezőbb mintegy 7,6%-al.
3. A különböző dőlés szögű és tájolású napelemek energiahozamait vizsgálva meghatároztam az ideálistól való eltérések okozta teljesítmény csökkenés mértékét. Azt tapasztaltam, hogy az ideális tájolástól való eltérés jelentősebben például délnyugati tájolás esetén 7,4%-al csökkenti az éves termelést. Még abban az esetben, ha csak az ideális dőlésszöget nem lehet tartani a megvalósításkor, akkor például egy 45°-os dőlés szög esetén éves szinten 3,4%-al csökken csak a hasznosítható energiamennyiség.
4. A PV modell segítségével bizonyítottam, hogy nagy jelentősége van a már üzemeltetett napelemes rendszerek folyamatos optimalizálásának. A havi ellenőrzésekkel egy-egy műszaki probléma felderíthető, és ha sikerül elhárítani a hibát, akkor az éves energia kihozatal maximalizálható.
5. Bizonyítottam, hogy nagymértékű a teljesítmény csökkenés azoknál a rendszereknél, amelyek nem tudnak kellő mértékben hűlni. A tetőszerkezethez szorosan rögzített napelem csak kismértékben szellőznek át, és mintegy 4,7%-al kevesebb energiát tudnak átalakítani, mint a szabadon álló napelemek. Megállapítottam,

hogyan az általam vizsgált napelemes rendszerek jóságfoka és a napsütéses órákban mért külső átlaghőmérséklet fordítottan arányos.

6. Megállapítottam a napelemek felszíni tisztításának feltétlen szükségességét, mert a felület szennyezettsége nagymértékben csökkentette a napelemek energiahasznosítását. Az általam megtisztított napelemeknél 1,5%-os javulás volt mérhető, azokkal a napelemekkel szemben, ahol ez a karbantartás nem történt meg.
7. A jó természeti adottságokkal rendelkező régiókban Magyarországon a napelemekkel potenciális lehetőség van egy decentralizált villamosenergia-ellátásra, a jelenlegi fogyasztási igények akár egésze fedezhető lenne napelemes rendszerekkel, ha átlagosan 1 kWp napelemet telepítene mindenki. A magyarországi napelemes rendszerek közül azoknak kell nagyobb támogatást kapniuk, melyek regionális helyzete a magasabb globálsugárzási területekre esnek. Továbbá előnyben kell részesíteni energiahatékonysági programokkal azokat a régiókat, ahol az átlagosnál magasabb a villamosenergia felhasználás, hogy csökkenteni tudják az energiafelhasználást, és ezt a csökkent mennyiséget a lehető legnagyobb mértékben megújuló energiából állítsák elő. Valamint ösztönözni kell a befektetőket egy kiszámítható és átlátható átvételi rendszerrel.

## 7. Gyakorlatban alkalmazható eredmények

1. Az energia stratégia felülvizsgálata során szükséges, hogy nagyobb szerepet kapjanak a napelemes rendszerek, hiszen nagy potenciális lehetősége van Magyarországnak a napenergia hasznosításban. Az elmúlt hét évben szinte a nulláról 140 MW felé emelkedett a beépített napelemes kapacitás hazánkban és folytatni kell ezt a fejlődést. Régióként eltérés tapasztalható a napelemes potenciálban, ezért kiemelt támogatás szükséges azoknak a térségeknek, melyek adottsága kedvezőbb.
2. A karbantartási munkákhoz segítség a PV modell, mely a hazai környezeti paraméterekre lett beállítva és akár havi energiahozamokat is számíthatunk a segítségével, így még optimálisabban üzemeltethetők a már meglévő PV rendszerek is, és pontosabb prognosztizálás készül a tervezett napelemes rendszerekhez.
3. A kiinduló paraméterek közül a globálsugárzási paraméternek van a legnagyobb jelentősége a termelés szempontjából, amit számos időjárás állomás rögzít a régiókban. A PV modell ezekbe a rendszerekbe integrálható és a számítógépes térinformatikai rendszereknek köszönhetően számos elemzést készíthetünk. Az elemzéseknek még a tervezés fázisában nagy jelentősége van, hiszen a nagyobb potenciálú területek előnyben részesíthetők.
4. A diagnosztikánál és az ellenőrzésnél viszont a PV modelles energiahozam elemzésnek nagy jelentősége van. Az elemzések során kiderül, hogy a rendszer a tőle elvárható mértékű energiahasznosítással dolgozik-e vagy sem. Amikor nem megfelelően működik, akkor remélt költség megtakarítás sem jelentkezik, így a megtérülési idő is romlik. Az általam vizsgált rendszereknél az egyik közös és jelentős probléma a szennyezettség volt a másik a túlmelegedés.
5. Abban az esetben a szemrevételezés nehézkes vagy nem megoldható elégséges lehet a monitoring adatok és PV modell elvárható energiahozamainak összehasonlítása és csak akkor kell szemrevételezéssel ellenőrizni a rendszert, ha nem a környezeti paramétereknek megfelelően működik a rendszer. A nyári csökkent

kapacitás általában az átszellőzés hiányában túlmelegedő rendszereknél tapasztalható, ahol vagy hűtővíz –nem károsítja a fényelnyelő tulajdonságot- használata javasolt vagy a tartószerkezet módosítása.

6. A gyakorlatban fontos, hogy prognosztizáljuk a különböző típusú napelemes rendszerek energiahozamát és az ár-érték arány vizsgálatnál vegyük figyelembe a hosszú -20-30 éves- üzemidőt.

## 8. Összefoglaló

A globális energiafelhasználás 1971 és 2010 között duplájára, majd 2020-ra a háromszorosára nő előre láthatóan. Mindeközben az energaintenzitás – tehát az egységnyi jövedelem előállításához szükséges energiamennyiség - folyamatosan csökkent. A Nemzetközi Energia Ügynökség felmérése alapján, magában Kína mintegy 30% -kal fogja emelni energia igényét. Nem szabad megfedkezünk Indiáról sem, amivel együtt ez az arány eléri a 40 % -ot.

Az energiastratégia szerint kiemelt szerepet kell kapnia a jövőben az energia ellátó új nyomvonalak kiépítésének, valamint a hagyományos energiahordozókon kívül pedig a megújuló energiaforrásokat kell előtérbe venni.

Magyarországi adottságokat tekintve elmondható, hogy kedvező lehetőségeink vannak, a környezeti energiák tekintetében - a vízenergiát és a szélenergiát kivéve - a napenergia hasznosításban nagy potenciál van. Az EPIA által készített felmérés eredményei alapján az EU-s átlag 20-szorosa a Magyar beépített kapacitásnak. Ha csak a szomszédos Romániát nézzük ott is 1.097 MW napelemes kapacitás volt beépítve már 2013-ban, ami harmincszorosa az akkori hazai kapacitásnak. A németországi példát is ki kell emelni, ahol 3.300 MW napelem van, ami közel százszorosa a hazai kapacitásnak. Ha az egy főre vetített beépített kapacitást vizsgáljuk, akkor Románia 55W/fő, majd Németország 41 W/fő és Magyarországon ez az arány 3,5 W/fő.

A kutató munkám során vizsgáltam, hogy a napelemes rendszerek kapacitását célszerű-e növelni hazánkban, illetve van-e jelentősége a területi elosztásnak. A kutatás kiemelt része a már üzemelő napelemes rendszerek energiahozam vizsgálata, ahol környezeti paraméterek adatsoraira alapozva elemzem azok energiahasznosítását.

Ennek érdekében a Tiszántúlon három településen Debrecenben, Hajdúnánáson és Hódmezővásárhelyen gyűjtöttem napelemes és meteorológiai adatokat. Debrecenben nyolc különböző helyen üzemelő napelemes rendszer adatsorát gyűjtöttem össze 2013 és 2015 között.

Ezekén kívül plusz egy kontroll debreceni, egy hajdúnánási rendszer 2015-ös adatait és egy hódmezővásárhelyi rendszer három éves adatsorát használok az elemzésekhez.

A vizsgált három év mérési tapasztalataira támaszkodva összefüggést kerestem a napelem energiahozama és a globálsugárzás adatsora között. Valamint az ideális tájolástól való eltérés energiahasznosításra gyakorolt hatásait is elemeztem. Végül a már üzemelő rendszerek diagnosztikai vizsgálataira tettem javaslatot.

A PV modellel, meghatározott input adatok segítségével kalkulációt készíthetünk az elvárható energiahozamra vonatkozóan. Ennek a modellnek a segítségével az aktuális hazai időjárás alapján készül az elemzés és lehetőségünk van több helyszínen is futtatni az elemzést a helyi mérések alapján. Jelenleg a modell havi bontásban képes prognosztizálni a termelést, de a további kutatási célok között szerepel, hogy napi hasznosítás elemzésre is képes legyen. A helyi környezeti paraméterek figyelembe vételével valós képet kapunk arról, hogy milyen elvárható energiahozammal kellene üzemelnie egy napelemes rendszernek, ha nincs egyéb műszaki gond a háttérben.

Egy napelemes rendszert nem csak beüzemelni kell, hanem üzemeltetni is. Hiába nem igényel karbantartást a napelemes rendszer, célszerű a rendszert évente átvizsgálni. Az éves felülvizsgálatnak kiemelt része kellene, hogy legyen az energiahozam vizsgálat. Ehhez az energiahozamokat célszerű legalább havi bontásban tárolni. Az energiahozam vizsgálatokor kiderülhet, hogy van-e olyan string, ami árnyékolt, sérült vagy elkoszolódott. A vizsgált rendszereknél az energiahozam elemzések alapján feltárt hibákat sikerült detektálni.

A mérési adatsorok elemzése alapján azt is megállapítottam, hogy az energiahasznosítás mértéke nagymértékben csökkent azoknál a rendszereknél, ahol a beépítési mód miatt túlmelegedtek a napelempanelek és nem tudtak kellő mértékben átszellőzni. Az üvegfelületek tisztán tartása és rendszeres felülvizsgálata is fontos üzemeltetési feladat és jelentősen befolyásolja az energiahozamot.

Magyarország energia stratégia felülvizsgálata során szükséges, hogy nagyobb szerepet kapjanak a napelemes rendszerek, hiszen nagy potenciális lehetősége van Magyarországnak a napenergia hasznosításban.

## 9. Összefoglaló (angol nyelven)

The global energy consumption was doubled between 1971 and 2010, by 2020 is likely to increase triple. Meanwhile, the energy intensity - so the amount of energy required to produce one unit of income - decreased steadily. Based on the assessment of the International Energy Agency, China's energy demand will increase about 30%. We must not forget either about India, with this proportion will reach 40%.

In the future, we should build new energy supply trails, as well we should prefer the renewable energy sources over conventional energy source.

In terms of capabilities, we can say that Hungary has favorable opportunities, environmental energies - except hydropower and wind power - solar energy has great potential. The results of the survey carried out by the EPIA the installed average capacity in EU is twenty times more than in Hungary. If we look at our neighbor Romania, there were 1,097 MW integrated solar capacity already in 2013 that is 30 times more than Hungarian domestic capacity. The German example should be also highlighted, with 3,300 MW of solar cells, which is nearly hundred times more than the Hungarian domestic capacity. If we analyze the installed capacity per capital the results are Romania 55W / person, Germany 41 W / person and Hungary only 3.5 W / person.

In my research work one of the main aims to find out that the capacity of the solar systems in our country should be increased or not, and is there any importance of the geographical distribution. Main scope of my research is to inspect the yield of already operating solar systems, based on environmental parameters.

For this, I collected solar and meteorological data in three locations, Debrecen, Hajdúnánás and Hódmezővásárhely. I collected eight different operating PV system data at Debrecen between 2013 and 2015.

Based on the experience of the three-year measurement I was looking for correlation between the energy yield of solar radiation and global radiation. Also I analyzed the effects the deviation of ideal orientation to energy utilization. Finally, I suggested diagnostic tests to the already operating systems.

We are able to calculate the expected energy generated, with PV model which use some input data. This model help us to analyze PV energy utilization based on the current local weather data, furthermore possible to run the analysis multiple locations. Currently, the model is make a monthly interpretation, in further research goals are to be able to analyze daily use too. Taking into account, the local environmental parameters we get information about how should operate the PV system, what is the target of energy yield, of course when there are no other technical problems in the background.

An analysis of the measurement data also found that the energy utilization rate greatly reduced in systems where the solar panels installed in to the roof and could not be a breathable. Keeping the glass purely is an important operational function, and this significantly affects the energy yield as I measured.

## 10. Irodalom

Bai A. - Bagi Z. - Bartha I. - Fenyvesi L. - Hódi J. - Kovács K. - Mátyás L. - Mogyorósi P. - Petis M.: 2007. A biogáz. Száz magyar falu könyvesháza Kht., Budapest, 284.

Bai A. - Lakner Z. - Marosvölgyi B. - Nábrádi A.: 2002. A biomassza felhasználása. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 226.

Baranyi B.: 2010. Bioenergetika – társadalom – harmonikus vidékfejlődés. MTA RKK – DE AMTC. Debrecen, 339.

Barótfi I.: 2000. Környezettechnika, Mezőgazda Kiadó, Budapest. 985.

Bergmann, A. – Hanley, N. – Wright, R.: 2006. Valuing the attributes of renewable energy investments. *Energy Policy*. Volume 34. Issue 9.: 1004-1014.

Bertani, R.: 2015. Geothermal Power Generation in the World 2010-2014 Update Report. Proceedings World Geothermal Congress, Melbourne, Australia. 19.

Bruckert, F.: 2012. Tailor cutting of crystalline solar cells by laser micro jet, High Power Laser Materials Processing: Lasers, Beam Delivery, Diagnostics and Applications. San Francisco, California, USA.

Bulla M. - Tamás P.: 2006. Fenntartható fejlődés Magyarországon, Jövőképek és forgatókönyvek, UM Kiadó, Budapest. 511.

Büki G. – Lovas R.: 2010. Megújuló energiaforrások hasznosítása. *Köztisztületi Stratégiai Programok*. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest. 82-85.

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*, Volume 25, Issue 5, Department of Physics Azad University, North branch, Tehran, Tehran, Iran. 676-677.

Csom Gy. - Gács I. - Gerse K. - Giber J. - Grábner P. - Hegedűs M. - Imre T. - Láng I. - Lengyel Gy. - Ligeti P. - Magyari D. - Miklós L. - Molnár L.: 2006. Magyarország energiapolitikai tézisei (2006-2030). *A Magyar Villamos Művek Közleményei*. 43. évfolyam, Budapest. 68.

Daisuke, G. - Yoshida, H. - Suzuki, H. - Kisara, K. - Ohashi, K.: 2014. The Overview of JAXA Laser Energy Transmission R&D Activities and the Orbital Experiments Concept on ISS-JEM. Proc. International Conference on Space Optical Systems and Applications (ICSOS) 2014, S5-2, Kobe, Japan,

Daryl, M.: 2009. Evaluation of the Performance of the PVUSA Rating Methodology Applied to DUAL Junction PV Technology. American Solar Energy Society Annual Conference Buffalo, New York.

Daut, I. – Irwanto, M. – Irwan, Y.M. – Gomesh, N. – Agmas, N.S.: 2011. Clear sky global solar irradiance on tilt angles of photovoltaic modul in Perlis, Northern Malaysia. In: International conference on electrical, control, and computer engineering, Pahang, Malaysia.

Dinya L.: 2010. Biomassza alapú energiatermelés és fenntartható energiagazdálkodás. *Magyar Tudomány*. 171. évf. 2010/8. sz., Akaprint Kft., Budapest. 914.

Eikelboom J.: 2000. Characterisation of PV modules of new generations. Results of tests and simulations. Report ECN-C-00-067. Cambridge, England. 18.

Elghali, L. – Clift, R. - Sinclair, P. – Panoutsou, C. – Bauen, A.: 2007. Developing a sustainability framework for the assessment of bioenergy systems. *Energy Policy*. Volume 35. Issue 12. 6075-6083.

Farkas I. – Beke J. – Búzás J. – Farkasné F.M. – Hegyi K.- Imre L. – Kaboldy E. – Pálffy M. – Szűcs M.: 2003. Napenergia a mezőgazdaságban, Mezőgazda Kiadó. Budapest. 317.

Farkas I.: 2010. A napenergia hasznosításának hazai lehetőségei. *Magyar Tudomány*. 171. évf. 8. sz. 937-946.

Fesharaki, V.J., Dehghani, M., Fesharaki, J.J.: 2011. The Effect of Temperature on Photovoltaic Cell Efficiency. Proceedings of the 1st International Conference on Emerging Trends in Energy Conservation. Tehran.

Gáthy A. - Karcagi A. - Kuti I.: 2006. Az alternatív energiaforrásokra vonatkozó célkitűzések és jelzőszámok az EU tagországok nemzeti fenntartható fejlődési stratégiáiban. 1-9.

Geiger, M. – Diabate, L. – Menard, L. – Wald, L.: 2002. A web service for controlling the quality of measurements of global solar irradiation. *Solar Energy* 2002; 73(6). 475–480.

Gerse K. – Tringer Á.: Magyarország energiapolitikai tézisei 2006-2030, A Magyar Villamos Művek Közleményei különszám - XLIII. évfolyam 2006. november, Magyar Villamos Művek Zrt., Budapest., 64.

GKM: 2007. Magyarország megújuló energiaforrás növelésének stratégiája 2008-2020. Gazdasági és Közlekedési Minisztérium, Budapest. 82.

Green, M.A. , Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W., Dunlop, E.D.: 2012. Solar cell efficiency tables (version 39), Progress in photovoltaics: research and applications, Prog. Photovoltaic Res. Appl. 2012; 20:12 –20.

Háber I.- Farkas I.: 2011. Fotovillamos modulok energia-viszonyainak monitorozása. Környezettudatos Energiatermelés és –felhasználás. II. Környezet és Energia Konferencia. Debrecen. 208.

Hendel, R.: 2008. Laser applications in solar cell manufacturing , *Laser Technik Journal*, 5. kötet, 1. példány. 32 - 35.

*Hoffmann, W.:* 2006. Photovoltaic on the Way from a Few Lead Markets to a World Market, *European Renewable Energy Review*

*Horváth Á.:* 2006. A napenergia modern felhasználási lehetőségei. *Fizikai Szemle* 2006/4. 144.

*Kaboldy E.:* 1999. Vízmelegítés napenergiával, *Energia Központ Kht.* Budapest. 15.

*Kalogirou, S. A.:* 2009. *Solar Energy Engineering, 2nd Edition. Processes and Systems.* Oxford. 813.

*Ketskemény L. – Izsó L.:* 2005. Bevezetés az SPSS programrendszerébe, *ELTE Eötvös Kiadó, Budapest.* 459.

*Kraya, D. – Hopmana, S. – Spiegelb, A. – Richerzhagenb, B. – Willeke, G.:* 2007. Study on the edge isolation of industrial silicon solar cells with waterjet-guided laser, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 91. kötet. 1638–1644.

*Lasagni, F.A.:* 2011. *Laser Micromachining, Fabrication and Characterization in the Micro - Nano Range.* Springer Berlin Heidelberg, Berlin. 221.

*Lukács G.S.:* 2009. Megújuló energia és vidékfejlesztés. *Szaktudás Kiadó Ház.* Budapest. 265.

*Lund, J.W. - Freeston, D.H. - Boyd T. L.:* 2010. Direct Utilization of Geothermal Energy 2010. Worldwide Review. – *Proceedings World Geotherma Congress 2010* Bali, Indonesia. 159-180.

*Madlener, R. – Stagl, S.:* 2005. Sustainability-guided promotion of renewable electricity generation. *Ecological Economics.* Volume 53. Issue 2. 147-167.

*Malhotra N.K.:* 2002. *Marketingkutatás.* KJK-Kerszöv Jogi és Üzleti Kiadó Kft., Budapest. 904.

*Menegaki, A.*: 2006. Valuation for renewable energy: A comparative review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 12. Issue 9. 2422-2437.

*Miras – Avalos, J.M. - Rodriguez-Gomez, B.A. - Meizoso-Lopez, M.C. - Sande-Fouz, P. - Gonzalez-Garcia, M.A. - Paz-Gonzalez, A.*: 2012. Data quality assesment and monthly stability of ground solar radiation in Galicia (NW Spain) *Solar Energy* 86. 3499-3511.

*Molnár E.*: 2002. Területi statisztikai elemzési módszerek. Agroinform Kiadó és Nyomda Kft., Budapest

*Moradi, I.*: 2009. Quality control of global solar radiation using sunshine duration hours. *Energy* 34, 1–6.

*Muneer, T. – Fairouz, F.*: 2002. Quality control of solar radiation and sunshine measurements—lessons learnt from processing worldwide databases. *Building Services Engineering Research and Technology* 23(3). 151–166.

*Nemcsics Á.*: 2001. A napelemek fejlesztési perspektívai, Akadémiai Kiadó, Budapest. 139.

*NFM*: 2010. Magyarország megújuló energia hasznosítási cselekvési terve 2010-2020. Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, Budapest. 226.

*NFM*: 2012. Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, Nemzeti energia stratégia 2030, Budapest. 136.

*Pálvölgyi T.*: 2000. Az új évezred környezeti kihívása: az éghajlatváltozás. L'Harmattan. Budapest, 105.

*Perrottet, D. – Housh, R. – Richerzhagen, B.*: 2006. Fast cutting and scribing of silicon PV cells using the water – jet -guided laser technology, *21th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Dresden. 811–814.

*Popp J.*: 2013. A bioenergia szerepe az energiaellátásban. *Gazdálkodás*. 57. évf. 5.sz. 419-435.

*Randall, D. – Krueger, S. – Bretherton, C. – Curry, J. – Moncireff, M., - Ryan, B.- Starr, D. – Miller, M. – Rossow, W. – Tselioudis, G. – Wielicki, B.*: 2003. „Is AM1.5. applicable in practice? Modelling eight photovoltaic materials with respect to light intensity and two spectra’. PhD thesis, Laboratoire de Production Microtechnique, Lausanne, Switzerland.

*Rau, H.*: 1976. Heliotechnik, Udo Pfriemer Verlag, München.

*Regan, A. – Puto, I.R.*: 2010. Basic Understanding of IEC Standard Testing For Photovoltaic Panels. Photovoltaic Technology. Reac Renewable Academy. TÜV SÜD Product Service.

*Reich, N.H. – Sark, W. – Alsema, E.A. – Kan, S.Y. – Silvester, S. – Heide, A. – Lof, R.W. – Schropp, R.*: 2005. Weak Light Performance And Spectral Response Of Different Solar Cell Types.

*Reményi K.*: 2007. Megújuló energiák. Akadémiai Kiadó, Budapest. 290.

*Rouve, L.*: 1987. Simulation photovoltaischer Anlagen - Randbedingungen, Systemeinflüsse und Ergebnisse, (Simulation of photovoltaic systems - boundary conditions, system effects and results), Schriftenreihe der Forschungsstelle für Energiewirtschaft, Band 18, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg.

*Sembery P. - Tóth L.*: 2004. Hagyományos és megújuló energiák, Szaktudás Kiadó, Budapest. 522.

*Sharma, V. – Chandel, S.S.*: 2013. Performance and degradation analysis for long term reliability of solar photovoltaic systems: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 753-767.

Shi, G.Y. – Hayasaka, T. – Ohmura, A. – Chen, Z.H. – Wang, B. – Zhao, J.Q.: 2008. Data quality assessment and the long-term trend of ground solar radiation in China. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 47. 1006–1016.

Suri, M. – Huld, T.A. – Dunlop, E. D. – Ossenbrink, H.A.: 2007. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. *ScienceDirect. Solar Energy*. 1295.

Tang, W. – Yang, K. – He, J. – Qin, J.: 2010. Quality control and estimation of global solar radiation in China. *Solar Energy* 84. 466–475.

Tóthné Szita K.: 2012. A regionális energiaszektor környezeti aspektusai. 157-162. [In: Radácsiné Almai M. – Roncz J. (Szerk.) (2012):] *Energiagazdálkodás és fenntarthatóság – Az energiaszektor környezeti és gazdasági vonatkozásai az Észak-Magyarországi régióban*. Miskolci Egyetemi Kiadó. Miskolc. 201.

Vajda Gy.: 2004. Energiaellátás ma és holnap. MTA Társadalomkutató Központ, Budapest. 385.

Younes, S. – Claywell, R. – Muneer, T.: 2005. Quality control of solar radiation data: present status and proposed new approaches. *Energy* 30. 1533–1549.

#### Egyéb kiadványok irodalmi hivatkozása:

EEBKF: 2012. Energiapolitika Európai Bizottság Kommunikációs Főigazgatóság; Közérthetően az Európai Unió szakpolitikáiról, Európai Bizottság Kommunikációs Főigazgatóság Kiadványok. Brüsszel.

Debreczeni M.: 2012. Fotovillamos Energia – napelemes alapismeretek 137.

Dobos A.: 2014. Növénytermesztési információs rendszer (METAGRO)

*Dombi M.*: 2013. Villamos és hőenergia előállítását szolgáló megújuló energetikai technológiák fenntarthatósági értékelése, PhD értekezés, Debreceni Egyetem, Debrecen. 26 p.

*Dorogi É.*: 2009. A megújuló energiaforrások felhasználása Magyarországon különös tekintettel a geotermikus hőtermelésre, szakdolgozat, Budapesti Gazdasági Főiskola. Budapest. 19.

*EPIA*: 2014. Global Market Outlook 2014-2018, European Photovoltaic Industry Association. Belgium.

*EU 347*: 2013. Az Európai Parlament és a Tanács 347/2013/EU rendelete

*Eurostat*: 2012. Energy, transport and environmental indicators. Eurostat Pocket-books. European Union, Luxembourg. 240.

*Eurostat*: 2013. Energy intensity of the economy – annual data.

*EWEA*: 2011. EU Energy Policy to 2050. Report by the European Wind Energy Association. 67.

*Földvály-Bándy E.*: 2015. Félig átlátszó szilícium alapú napelem cella technológiája és vizsgálata, PhD értekezés, BME, Budapest. 7.

*Garamhegyi Á.*: 2007. Megújuló energia és energiahatékonyság Magyarországon, Gazdasági és Közlekedési Minisztérium

*International Energy Agency IEA*: 2004. World Energy Outlook 2004, France by Stedi, Párizs

*International Energy Agency IEA*: 2011. World Energy Outlook 2011; p. 564

*International Energy Agency IEA*: 2012. Electricity Information, Imprimerie Centrale, Luxembourg

*International Energy Agency IEA*: 2014. Energy Policies of IEA Countries - The European Union

*International Energy Agency IEA*: 2015. Snapshot of global PV

*KSH*: 2014. A fenntartható fejlődés indikátorai Magyarországon. Budapest.

*Kun D.*: 2013. A napenergia mint megújuló energiaforrás alkalmazhatósága konkrét családi házra; Miskolci Egyetem

*MEKSzH*: 2016. Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal.

*MVR*: 2015. Magyar villamosenergia-rendszer 2015. évi adatai. Budapest. 94.

*PINC*: 2016. Nuclear Illustrative Programme, Brussels

*WEC*: 2016. World Energy Perspectives Energy efficiency policies 2016 8th report. World Energy Council. London. 152.

*WEO*: 2011. World Energy Outlook 2011. International Energy Agency. Paris.659.

*Zöld Könyv*: 2013. Az éghajlat- és energiapolitika 2030-ra szóló kerete; COM (2013) 169 final; Brüsszel.

#### Internetes hivatkozások

Net1: Colville, F: 2009. Laser sources for next - generation solar cells. Photonics Online.; [www.photonicsonline.com](http://www.photonicsonline.com) (letöltés dátuma: 2016. november 24.)

Net2: Garamhegyi Á.: 2007. megújuló energia és energiahatékonyság Magyarországon, gazdasági és közlekedési minisztérium

[www.rec.org/reep/docs/meetings/2007\\_sept\\_24\\_sign/presentations/reep\\_garam-hegyi.ppt](http://www.rec.org/reep/docs/meetings/2007_sept_24_sign/presentations/reep_garam-hegyi.ppt) (letöltés dátuma: 2016. november 24.)

Net3: GLSolar: 2016. [http://www.glsolar.hu/download/TESTO\\_hokamera\\_nap-elem.pdf](http://www.glsolar.hu/download/TESTO_hokamera_nap-elem.pdf)  
(letöltés dátuma: 2016. november 3.)

Net4: Horváth J.: 2011. Megújuló energiák, Geotermikus energia. Digitális tankönyvtár. Pannon Egyetem.  
[http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021\\_Megujulo\\_energia/ch04.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Megujulo_energia/ch04.html)  
(letöltés dátuma: 2016. december 4.)

Net5: IEA: 2016. International Energy Outlook 2016. Washington.  
[www.eia.gov/outlooks/ieo](http://www.eia.gov/outlooks/ieo) (letöltés dátuma: 2017. január 9.)

Net6: Infratec: 2016. Hőkamerás diagnosztika napelemes rendszereknél,  
<http://www.infratec-infrared.com/thermography/application-area/predictive-maintenance/photovoltaic-thermography.html> (letöltés dátuma: 2016. november 3.)

Net7: KSH: 2011. Észak-Alföld az Európai Unió Régiói között;  
<http://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/regiok/debreceneuregio.pdf>  
(letöltés dátuma: 2016. szeptember 12.)

Net8: KSH: 2014. Energia 2013-2014; [http://www.ksh.hu/thm/3/indi3\\_1\\_2.html](http://www.ksh.hu/thm/3/indi3_1_2.html)  
(letöltés dátuma: 2016. október 17.)

Net9: KSH: 2015. Primer energiamérleg 1990-től  
[https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat\\_eves/i\\_qe001.html](https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_qe001.html)  
(letöltés dátuma: 2016. szeptember 12.)

Net10: Lynne, H. R.: 2016. Effect of Weather on Solar Panels.  
[http://www.ehow.com/list\\_6065315\\_effects-weather-solar-panels.html](http://www.ehow.com/list_6065315_effects-weather-solar-panels.html)  
(letöltés dátuma: 2016. szeptember 12.)

Net11: MEKH: 2008. A napelem cellák vizsgálatának kutatási eredményei. Óbudai Egyetem – Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Megújuló Energiaforrás Kutató Hely.

<http://ekh.kvk.uni-obuda.hu/napelemek/13-a-napelem-cellak-vizsgalatanak-kutatasi-eredmenyei.html> (letöltés dátuma: 2016. december 15.)

Net12: Molnár L.: 2001. Economy, Energy And Mitigation Of Emissions In Hungary, “Gazdaság, Energia És Emisszió-Csökkentés Magyarországon” Workshop On Good Practices In Policies And Measures [http://unfccc.int/files/mee-tings/workshops/other\\_meetings/application/pdf/molnar.pdf](http://unfccc.int/files/mee-tings/workshops/other_meetings/application/pdf/molnar.pdf) (letöltés dátuma: 2016. október 25.)

Net13: Solargis <https://solargis.info/> (letöltés dátuma: 2016. október 25.)

Net14: NES: 2010. Nemzeti Energiastratégia 2030 <http://2010-2014.kormany.hu/download/4/f8/70000/Nemzeti%20Energia-strat%C3%A9gia%202030%20teljes%20v%C3%A1ltozat.pdf> (letöltés dátuma: 2016. június 23.)

Net15: NREL: Daryl Myers: 2016. Evaluation of the Performance the PVUSA Rating Methodology Applied to DUAL Junction PV Technology. National Renewable Energy Laboratory, Efficiency chart [http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency\\_chart.jpg](http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg) (letöltés dátuma: 2016. december 28.)

Net16: Pátzay Gy.: 2009. Energiahordozók <http://zk.vemt.bme.hu/energia.pdf> (letöltés dátuma: 2016. október 25.)

Net17: Performance Of Grid-Connected PV: 2016. [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/PVcalchelp\\_en.html](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/PVcalchelp_en.html) (letöltés dátuma: 2016. december 28.)

Net18: PV Tech: 2017. A különböző típusú napelemek piaci részesedése <http://www.pv-tech.org/editors-blog/solar-cell-technology-roadmap-for-2016> (letöltés dátuma: 2017. január 2.)

Net19: Rauber, A.: 2011. G04 előadás - Napelem technológiák és jellemzőik.  
SOLTRAIN. <http://fft.gau.hu/fizika/Turkalo/napenergiahaszn/G04%20%20Napelem%20technologiak%20es%20jellemzoik.pdf>

(letöltés dátuma: 2016. május 3.)

Net20: Schletter: 2016. PV spint robot <http://www.schletter.ca/pvspin.html>

(letöltés dátuma: 2016. december 28.)

Net21: Stróbl A.: 2010. Energiapolitika, BME, Budapest <http://energia.bme.hu/~kaszas/Energiapolitika/megh%C3%ADvott%20el%C5%91ad%C3%B3k/Strobl.pdf>

(letöltés dátuma: 2016. november 12.)

Net22: ThermoGIS: ThermoGIS World Edition – Aquifers <http://www.thermogis.nl/worldviewer/ThermoGISWorldEdition.html>

(letöltés dátuma: 2016. október 25.)

Net23: Zárbok Zs.: 2015. Földfelszíni Megfigyelések Osztálya  
[http://www.met.hu/doc/rendezvenyek/met-esz\\_2015/02\\_ZarbokZs.pdf](http://www.met.hu/doc/rendezvenyek/met-esz_2015/02_ZarbokZs.pdf)

(letöltés dátuma: 2016. november 12.)

#### Ábrák forrása:

Net24: Napelem cella működése: [http://napelem.net/napelemes\\_rendszer/napelem\\_mukodese.php](http://napelem.net/napelemes_rendszer/napelem_mukodese.php)

(letöltés dátuma: 2016. november 12.)

Net25: Napelem felépítése:

[http://napelem.net/napelemes\\_rendszer/monokristalyos\\_polikristalyos\\_napelem.php](http://napelem.net/napelemes_rendszer/monokristalyos_polikristalyos_napelem.php)

(letöltés dátuma: 2016. november 12.)

Net26: Bell napelem:

[http://www.beatriceco.com/bti/porticus/bell/images/solar\\_battery2.gif](http://www.beatriceco.com/bti/porticus/bell/images/solar_battery2.gif)

(letöltés dátuma: 2016. november 12.)

Net27: Napelemes rendszer: Mono- és polikristályos napelem

[http://napelem.net/napelemes\\_rendszer/monokristalyos\\_polikristalyos\\_napelem.php](http://napelem.net/napelemes_rendszer/monokristalyos_polikristalyos_napelem.php)

(letöltés dátuma: 2016. november 12.)

Net28: Hatásfok csökkenés napelemeknél

<http://www.immotherm.hu/napelemek>

(letöltés dátuma: 2016. november 12.)

## 11. Publikációk az értekezés témakörében



DEBRECENI EGYETEM  
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR



Nyilvántartási szám: DEENK/14/2017.PL  
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Török Imre  
Neptun kód: G1YUAY  
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola  
MTMT azonosító: 10058087

### A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

#### Idegen nyelvű, külföldi könyvrészletek (1)

1. **Török, I.,** Tóth, J.: Operating experiences of the photovoltaic system of a business center that utilizes environmental energy.  
In: IMT Oradea - 2013 : Proceedings of the annual session of scientific papers : may 30 - june 2013, Felix SPA, Oradea Romania. Ed.: Calin Baban [et al.], Editura Universitatii, Oradea, 187-190, 2013. ISBN: 9786061010844

#### Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (3)

2. **Török, I.:** Energiahatékonyság itthon és külföldön.  
*Agrártud. közl.* 63, 147-150, 2015. ISSN: 1587-1282.
3. **Török, I.:** Egy napelemes rendszer üzemeltetési tapasztalatai.  
*Villanyszerelők lapja.* 13 (6), 2-5, 2014. ISSN: 1588-8770.
4. **Török, I.:** Környezeti energiát hasznosító irodaház PV rendszerének üzemeltetési tapasztalatai.  
*Agrártud. közl.* 51, 179-182, 2013. ISSN: 1587-1282.

#### Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

5. **Török, I.:** Renewable energy strategy in Hungary.  
*Agrártud. közl.* 59, 101-104, 2014. ISSN: 1587-1282.

#### Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

6. **Török, I.,** Tóth, J.: Operating experiences of the photovoltaic system of a business center that utilizes environmental energy.  
*An. Oradea Univ. Fasc. Manag. Techn. Engineer.* 22 (1), 435-438, 2013. ISSN: 1583-0691.



Cím: 4032 Debrecen, Egyetem tér 1. ☎ Postacím: 4010 Debrecen, Pf. 39. ☎ Tel.: (52) 410-443  
E-mail: [publikaciok@lib.unideb.hu](mailto:publikaciok@lib.unideb.hu) ☎ Honlap: [www.lib.unideb.hu](http://www.lib.unideb.hu)



Magyar nyelvű konferencia közlemények (1)

7. **Török, I.**: A napelemes rendszerek helyzete Magyarországon.  
In: Energia a mindennapokban : verseny és konferencia. Szerk.: Lázár István, Megújuló  
Energiapark Kutatóközp. Kft. : [Didakt], Debrecen, 17-23, 2015. ISBN: 9786155212338

**További közlemények**

Magyar nyelvű könyvek (1)

8. Szerk. Kozák, M., McIntosh, R. W., Buday, T., Bálint, B., Bobok, E., Carli, M. D., Lorberer, Á. F.,  
Püspöki, Z., Szűcs, P., Tóth, A., **Török, I.**: Geotermikus rendszerek fenntarthatóságának  
integrált modellezése: 3. munkacsoport : Hidrogeotermikus rendszerek és földtani vetületeik.  
Debreceni Egyetem, Debrecen, 140 p., 2011. ISBN: 9789634734482

Magyar nyelvű könyvrészletek (1)

9. Buday, T., **Török, I.**: Hőszondára telepített monitoringrendszer vizsgálatának tapasztalatai (MEAK,  
Debrecen).  
In: Környezettudatos energiatermelés és -felhasználás : [II. Környezet és Energia  
Konferencia] : [Debrecen, 2011. november 25-26.]. Szerk.: Szabó Valéria, Fazekas István,  
MTA DAB Megújuló Energetikai Munkabizottsága, Debrecen, 109-113, 2011. ISBN:  
9789637064272

Magyar nyelvű közlemények hazai folyóiratban (3)

10. **Török, I.**: Megújulók a felsőoktatásban.  
*Agrártud. közl.* 63, 151-154, 2015. ISSN: 1587-1282.
11. **Török, I.**: Geotermikus hőszivattyús rendszer üzemeltetési tapasztalatai.  
*Agrártud. közl.* 55, 115-118, 2014. ISSN: 1587-1282.
12. Buday, T., **Török, I.**: Működő hőszivattyús rendszerek hatása a felszínközeli üledékek  
hőmérsékletére egy debreceni példa alapján.  
*Magyar épületgépészet.* 59 (1-2), 21-24, 2011. ISSN: 1215-9913.

Idegen nyelvű közlemények külföldi folyóiratban (1)

13. **Török, I.**, Tóth, J.: Heat pumps, heating systems for intelligens buildings.  
*An. Oradea Univ. Fasc. Manag. Techn. Engineer.* 10 (20) (3), 2, 2011. ISSN: 1583-0691.





Idegen nyelvű konferencia közlemények (1)

14. Buday, T., **Török, I.**: Possibilities and problems in the modelling of operating borehole heat exchanger (BHE) systems based on field studies.  
In: Proceedings of 18th Building Services, Mechanical and Building Industry days, International Conference. Ed.: Ferenc Kalmár, Ákos Lakatos, Zsolt Tiba, Judit T. Kis, Norbert Boros, Attila Talamon, Debreceni Egyetem, Debrecen, 1-8, 2012.

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2017.01.27.



## 12. Nyilatkozatok

### NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetemen, a Kerpely Kálmán Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 20.....

.....

a jelölt aláírása

### NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy Török Imre doktorjelölt 2012-2015 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom/javasoljuk.

Debrecen, 20.....

.....

a témavezető aláírása

### 13. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Dr. Nagy János professzor úrnak, aki lehetőséget biztosított számomra és mindvégig támogatott a doktori kutatásom lefolytatása során, továbbá hasznos tanácsaival, valamint meglátásaival segítette munkámat.

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Dr. Mező Ferenc és Dr. Rátonyi Tamás opponensi észrevételeiért és segítő szakmai javaslataikért, mellyel hozzájárultak a doktori értekezés végleges formájának elkészítéséhez.

Szeretném megköszönni Dr. Dobos Attilának, hogy a meteorológiai adatokat biztosította számomra. Valamint észrevételeivel, szakmai javaslataival a doktori értekezés végleges formájának elkészítését segítette.

A meteorológiai adatok szolgáltatását szeretném megköszönni az Országos Meteorológiai Szolgálatnak.

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Halgas Csabának, aki lehetőséget és eszközöket biztosított, hogy méréseket végezek a napelemes rendszereken, és szakmai tapasztalataival segítette munkámat.

Hálás köszönetem fejezem ki családom minden tagjának támogatásáért, türelméért és megértéséért.