

A napenergia fotovillamos hasznosítása

Trendek, hazai alkalmazások

A napenergia fotovillamos hasznosítását a korszerű napelemek kifejlesztése tette lehetővé. A fotovillamos alkalmazások nagymértékben növekednek a világon és hazánkban is. A hazai fotovillamos energiatermelés potenciálja a hazai villamosenergia-igény többszörösét fedezhetné. 2020-ra a magyar villamosenergia-igény akár 5%-át is napenergiából fedezhetjük.

The development of the high efficiency solar cells has been the key to the electrical energetical application of the solar energy. There is a great progress in PV (photovoltaic) application all over the world as well as in Hungary. According to some of forecasting lately to cover of 5% of the Hungarian yearly electrical energy consumption by solar energy in 2020 may have pretty reality.

1. BEVEZETÉS

Arkhimédész (i. e. 287–212) görög tudós, bölcselőnek tulajdonítja a technikatörténelem az első tudatos napenergia-hasznosítást. I. e. 212-ben, amikor Siracusát a rómaiak hajóhadakkal támadták, Arkhimédész – egyes források szerint tükörrel, más források szerint a védők pajzsaival – a Nap sugárzásának koncentráálásával lobbantotta lángra a hajókat. A fotovillamos hasznosítással kapcsolatban E. Becquerel (1820–1891) nevét kell elsőként említeni, aki 1839-ben a fotovillamos effektust fedezte fel. Az első fotovillamos energia átalakítónak, napelemnek nevezhető eszközt azonban csak 1953-ban a Bell Laboratórium kutatói, Pearson, Fuller és Chapin készítették. Hazánkban az első napelemek és berendezések 1975-ben a Villamosipari Kutató Intézetben (VKI) készültek. A fejlődés és alkalmazás azóta töretlen. 2015-ben a globális napelemes berendezés állomány 233 GWp (a gigawattcsúcs angol rövidítése) és Magyarországon is mintegy 162 MWp volt. 2016-ban a globális napelemes berendezés állomány 300 GWp-ot, a hazai a 200 MWp-ot meghaladta. Ez elsősorban a napelem tömeggyártási technológia fejlődésének és ebből adódóan a jelentős árcsökkenésnek köszönhető. Egyre nőnek a napelemgyártó kapacitások és ezzel együtt a napelemek és alkalmazásukkal készült berendezések beruházási és energiatermelési költségei is jelentősen csökkennek. (Pl. egy dubaji tenderben 29,9 USD/MWh fajlagos villamosenergia-előállítási költséget ajánlanak, a Canadian Solar napelemgyártó 2017-re 0,29 USD/Wp modulköltiséget prognosztizál) [1]

2. HAZAI ENERGETIKAI POTENCIÁL

Magyarországon a globális napsugárzás átlagértéke kb. 1250 kWh/m²/év. Ez azt jelenti, hogy hazánk 93 030 km² területére évente átlagosan kb. 1,163×10¹⁴ kWh energia érkezik a Napból. Ez az energiamennyiség mintegy 2900-szorosa a kb. 40 milliárd kWh éves villamosenergia-felhasználásunknak. Egy

háztartás éves villamosenergia-igényének megfelelő energia átlagosan 2 m²-re érkezik a Napból. Ez a legnagyobb energiamennyiség! Nem függ a gazdasági és politikai válságoktól, nem eshet embargó alá, nem korlátozhatják különféle gazdasági és politikai folyamatok. Ez az energiamennyiség folyamatosan érkezik a Napból, és rendelkezésünkre áll. Csak okosan kell hasznosítanunk. A napelemek alkalmazásának hazánkban a villamos energia termelésében óriási lehetősége van, és a hazai napelemes szakemberek közül jó néhányan meg vagyunk győződve arról, hogy az elkövetkező időszakban a hazai napelemes alkalmazások száma és névleges össztelejesítménye továbbra is jelentősen növekedni fog. Becslés és számítás készült a hazai potenciálról. [2] A vizsgálat tárgyát képezte, hogy Magyarországon a különböző építmények tetjén, szabad vagy felszabaduló földterületen, autópályák, vasútvonalak mentén mennyi napelem helyezhető el, és ezek várhatóan mennyi energiát tudnának termelni. (A szabad földterületeken történő telepítésnél lehetőség van egyéb, például legelőként történő hasznosításra, erre svájci példák is szolgálnak.) A számításoknál a KSH adatai, 10% energiaátalakítási hatások és számos csökkentő tényező (takarások, kedvezőtlen tájolások, optimálistól eltérő dőlésszögek stb.) lett figyelembe véve. Ma már azonban 20% feletti hatásfokú napelemmodulok is kaphatóak a piacon. Ezekkel számolva a telepíthető napelemteljesítmény és a megtermelhető villamos energia duplázódik. A számításokat az 1. táblázatban foglaltuk össze. Nem lettek figyelembe véve az épületek homlokzatára telepíthető napelemek. Ezek további potenciált jelentenek. Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy a termikus kollektorokkal osztozni kell a lakóépületek tetőfelületein.

A táblázatból látható, hogy a 10% hatásfokú napelemekkel kb. 405 GWp napelem-telejesítmény volna telepíthető, amelynek villamosenergia-termelése éves átlagban – a napból hazánkra beérkező 1250 kWh/m²/év globális napsugárzás mellett – mintegy 486 milliárd kWh. Ez a villamosenergiamennyiség a jelenlegi magyar fogyasztás kb. 12-szerese! A számítások tovább pontosíthatók, de világosan látszik, hogy a napelemek elhelyezésének és alkalmazásának hazánkban a villamos energia termelésében óriási lehetősége van. Azt is meg kell azonban jegyezni, hogy a beérkező napenergia szezonálisan és naponta is változó értékű, azonban saját méréseink is azt mutatják, hogy a napból éves átlagban beérkező energiamennyiség +/- 10%-on belül van. A napelemes berendezések változó energiatermelése és az egyenletes energia biztosítása energiátároló alkalmazását teszi szükségessé. Az autonóm áramforrásoknál ez általában akkumulátorral oldható meg, míg villamos hálózatra dolgozó rendszereknél a villamos hálózat szolgálatát „energiátárolóként” és a helyszínen megtermelt és fel nem használt villamos energia más fogyasztókhoz való eljuttatásához. Bizonyos esetekben (mint például a légkondicionálásnál) a jelentkező villamosenergia-igény ideje és mértéke megegyezhet a termeléssel. Az életminőség javulásával a hazai légkondicionáló-igény is növekszik, ami a napenergiával termelt villamos energia optimális felhasználását elősegíti. A hagyományos villamosenergia-termelőkre és a hálózat üzemeltetőire azonban mindenképpen jelentős szabályozási feladat hárul a fotovillamos energiatermelés részarányának növekedésével. A nagy távolságra gazdaságosan eljuttatható villamos energia technológiájának továbbfejlesztésén és alkalmazásán túlmenően a fotovillamos energiatermelés részarányának növekedése globálisan is nagyobb energiátároló kapacitások kiépítését, felhasználását (gravitációs víz, hidrogén technológia, egyéb villamos energiátárolók, villamos járművek akkumulátorai, házi villamos energiátárolók stb.) teszi szükségessé.

1. táblázat Magyarországon telepíthető napelemek mennyisége és becsült éves villamosenergia-termelése

	Vízszintes felület (km ²)	30° -os felület (km ²)	45° -os felület (km ²)	60° -os felület (km ²)	Elvileg beépíthető napelem-felület (km ²)	Valóságban kedvezően beépíthető napelem-felület (km ²)	Beépítési dőlésszög (°)	Beépíthető napelem-	Éves villamos-energia-termelés (10 ⁹ kWh)
Nagypanel és alagútszalus házak	3,94				1,698	0,764	30	76,416	0,0916996
Egyéb lakóépületek			63		63	28,350	45	2835	3,26025
Mezőgazdasági épületek	13,5				13,5	6,075	30	607,5	0,729
Mezőgazdasági épületek			10,125		10,125	4,556	45	455,625	0,5239688
Oktatási épületek	1,68				0,724	0,326	30	32,5836	0,0391003
Oktatási épületek			2,744		2,744	1,235	45	123,48	0,142002
Önkormányzati épületek	1,992				0,859	0,386	30	38,63484	0,0463618
Önkormányzati épületek			3,2536		3,254	1,464	45	146,412	0,1683738
Gyep-legelő	10610				4573	2057,810	30	205780,95	246,93714
Új mezőgazdaságilag felszabadult területek	10000				4310	1939,500	30	193950	232,74
Vasútvonalak mentén		47,388			47,388	10,662	30	1066,23	1,279476
Autópályák mentén				1,00513	1,005	0,452	60	45,23085	0,0497539
Összesen		47,388		1,00513	9027,207	4051,581		405158,06	486,00713

3. ALAPANYAG, HATÁSFOK, ENERGIAMEGTÉRÜLÉS

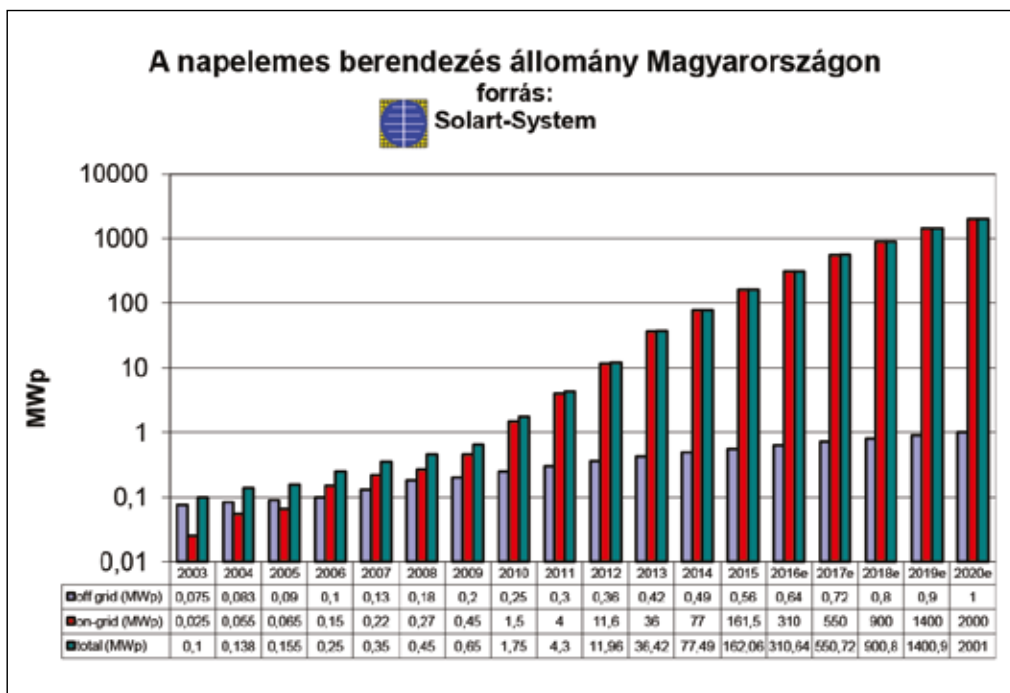
A napelemek alapanyaga általában félvezető. Az energiaátalakítás a félvezető alapanyagban játszódik le. Számos napelemstruktúra ismeretes. Alkalmazás szempontjából megkülönböztethetünk földi vagy űrtechnikában alkalmazott napelemeket, de normál vagy koncentrált napsugárzásra készült, egyrétegű vagy többrétegű stb. napelemekről is beszélhetünk. Laboratóriumi körülmények között gyártott többrétegű napelemstruktúrákkal 46% energiaátalakítási hatásfokot is elértek, és további növekedés is várható. Új technológiák alkalmazásával számos napelemstruktúra készült (például szerves anyagok, fényérzékeny festékek stb.). Ezek energiaátalakítási hatásfoka messze elmarad jelenleg a csúcserőértéktől, de az NREL (National Renewable Energy Laboratory) folyamatos adatgyűjtése szerint minden évben nő az elért hatásfok. A jelenleg földi alkalmazásban használt hosszú élettartamú, nagy hatásfokú napelemek többsége egykristályos, illetőleg polikristályos (multikristályos, kvázi-polikristályos) szilícium felhasználásával készül. Ezek tömeggyártásban elért energiaátalakítási hatásfoka 14-15% körüli, de összetettebb struktúrákkal 20% felett van. Garantált élettartamuk legalább huszonöt év. Számos más anyagból is készül napelem. Alkalmazásuk környezeti hatásával összefüggően leggyakrabban feltett kérdés, hogy mennyi idő alatt termelnek annyi energiát, amennyi az előállításukhoz szükséges. A Fraunhofer Institute for Solar Energy vizsgálata szerint németországi kör-

nyezetben, 1000 kWh/m²/év fajlagos globális napsugárzás mellett a különböző alapanyagot felhasználó, tetőre szerelt napelemes környezetbarát villamosenergia-termelő rendszerek energiamegtérülése 1,2-3,3 év. [3] Figyelembe véve Magyarország átlagosan 1250 kWh/m²/év fajlagos globális napsugárzási viszonyait, az energiamegtérülés 25%-kal kedvezőbb. A gyártásuk során felhasznált anyagok környezeti hatását tekintve a legnagyobb mennyiségben gyártott szilícium alapanyagú napelemeknél felhasznált mérgező szilánt kell említeni, amely azonban újrahasznosítható. Ugyanez vonatkozik élettartamuk végén a napelemmodulokra is, amelyekre a nagyobb gyártók eljárásokat dolgoztak ki és az összetevők becslések szerint 2015-ben mintegy 80%-ban és 2020-ra 85%-ban újrahasznosításra kerülnek. [4]

4. HAZAI HELYZETKÉP ÉS TRENDKÉP

A bevezetőben említésre került, hogy a napelem-technológiák és berendezések magyarországi fejlesztése az 1970-es évek közepén indult a Villamosipari Kutató Intézetben (VKI), és az elmúlt több mint 40 év első fele a VKI, majd Pannonglas és Solart-System szakembereinek tevékenységéhez köthető. [5] [6] 1979-re 15%-os hatásfokú napelemeket sikerült kifejleszteni a VKI-ban. A magyarországi napelemes berendezések összkapacitásának alakulását az 1. ábrán követhetjük.

Jelentős a fejlődés. Az utóbbi időkben volt, hogy egyik évről a másikra megháromszorozódott a magyarországi napelemes berendezések állománya, de így is nagy a lemaradásunk.



1. ábra Napelemes berendezés állomány alakulása 2004-től

2015 végén kb. 16.000, 2016-ban több mint 20.000 napelemes berendezés volt Magyarországon, ami összehasonlítva Németország kb. másfélmillió berendezés állományával igen csak szerény mennyiség. Németország Európában és hosszú ideig a világon is a napelemes alkalmazásokban világelső volt. 2015-ben azonban a kb. 40 GWp napelemes berendezés állományával a második helyre került. Kína, mint sok mindenben, így a napelemek gyártásában és 43 GWp napelemes berendezés állományával világelső lett 2015-ben és 2016-ban elérte a 73 GWp-et. Németországban a nagy fellendülést a 2000-ban bevezetett energiatörvény jelentette, amelyben a napenergiával termelt villamos energia kötelező átvételét évente 5% csökkenés mellett kb. 0,5 euróban határozta meg. Európában Németország után több országban általában kisebb mértékű, de hasonló támogatási rendszert vezettek be, amelynek eredményeképpen jelentős napelemes berendezés állomány létesült. [1] Az EU 2015-ös kb. 95 GWp napelemes berendezés állományában néhány ország részesedése a következő: Olaszország kb. 19 GWp, Egyesült Királyság kb. 8,8 GWp, Franciaország kb. 6,4 GWp, Spanyolország kb. 5,4 GWp. Az új tagállamokban pl. Csehország kb. 2 GWp, Románia kb. 1,3 GWp, és Bulgária kb. 1 GWp. Németországban a nagy áttörést elsősorban a házak tetejére szerelt napelemes házi, háztartási max. néhányszor 10 kWp-es rendszerek alkalmazása jelentette. Napjainkban azonban jelentős növekedés tapasztalható a több száz MWp teljesítményű, erőművi nagyságrendű napelemes létesítmények létrehozásában. 2016-ban Kínában 1 GWp és 1,5 GWp teljesítményű napelemes erőművek is létesültek. 2015-ben kb. 18 GWp háztartási és kb. 33 GWp erőművi méretű új rendszer létesült a világon. A 2020-ra prognosztizált 700 GWp globál napelemes berendezés állományban valószínűsíthetően a növekedés mellett ez az arány nem fog változni. [1] A hazai napelemes berendezés állomány összeteljesítményének alakulásában a nagy fellendülést a hálózatra dolgozó napelemes rendszerek (grid connected, grid on, on-grid) hazai engedélyezése jelentette az ezredforduló után. Az 1. ábrán látható, hogy 2003-ban a kb. 100 kWp hazai napelemes berendezés állomány 75%-a autonóm, vagyis nem villamos hálózatra dolgozó (off-grid) áramforrás volt.

Néhány éven belül a hálózatra dolgozó berendezések összteljesítménye – amelyben a többség ma is a max. 50 kWp teljesítményű háztartási fotovillamos rendszer – jóval meghaladja az autonóm napelemes áramforrásokét. Itt kell megjegyeznünk, hogy a villamos járművek, valamint a házi villamos energiatárolók elterjedése további lendületet fog adni a napelemes alkalmazások növekedésének.

Hazánkban az eddig legnagyobb (2015 októberében üzembe helyezett) mátrai napelemes erőműben a villamos energiát 72.480 db 255 Wp névleges teljesítményű polikristályos szilícium alapanyagú napelem termeli (névleges beépített teljesítmény 18,4824 MWp), és táplálja a villamos hálózatba.

A hazai fotovillamos ipar számos kételkedés és értetlenség ellenére negyven év kitartó munkájának

és az új technológiában bízó néhány szakember eltökéltségének is eredményeképpen napjainkra megteremtődött. Több napelemgyártó és számos tervező, kivitelező, forgalmazó tevékenykedik Magyarországon. A hazai felsőoktatásban több intézmény képez szakembereket. Egyesületek fogják össze a szakembereket, és adnak segítséget hétköznapi tevékenységükhöz. Számos energetika tárgyú konferencia foglalkozik a napenergia-hasznosítással.



2. ábra Mátrai naperőmű (forrás: Mátrai Erőmű)

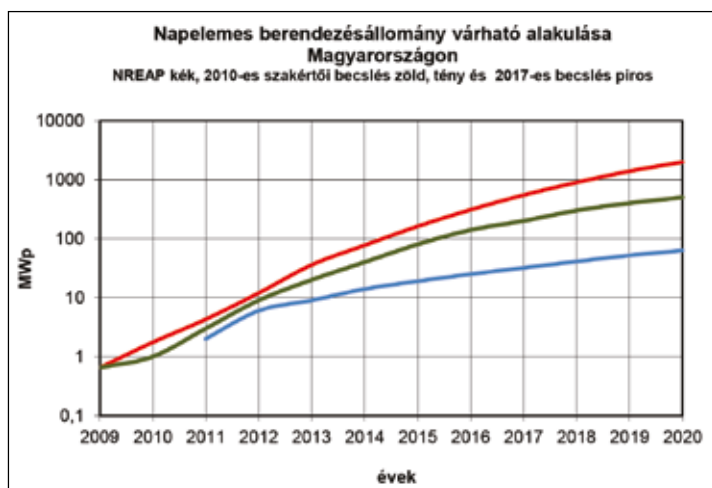
A fotovillamos energiaátalakítás hazai helyzetképéhez hozzátartozik, hogy 1982-ben a Magyar Elektrotechnikai Egyesületben megalakulhatott a Fotovillamos energia-átalakítók, napelemek munkabizottság. Az Energetikai Informatika Szakosztály szakületének tekinti a napenergia fotovillamos hasznosítását. 1983-ban megalakult a Magyar Napenergia Társaság, amelynek keretében a Fotovillamos energia-átalakítók szakosztály aktív tevékenységet folytat. A Nemzetközi Napenergia Társaság (ISES) tagjaként 1993-ban a Magyar Napenergia Társaság nagy sikerű világkonferenciát és

világkiállítást szervezett Budapesten. Az iparág összefogására és reprezentálására 2010-ben a MANAP Iparági Egyesület (MANAP) került megalapításra. Ma már számos energetikai konferencia témájaként szerepel a napenergia fotovillamos hasznosítása. A napenergia hasznosításának helyzetéről és problémáiról a Magyar Tudományos Akadémia (MTA) 2016-ban ankétot szervezett és az előadásokat 2017-ben megjelentette a Magyar Tudomány szaklapjában. [7][8]

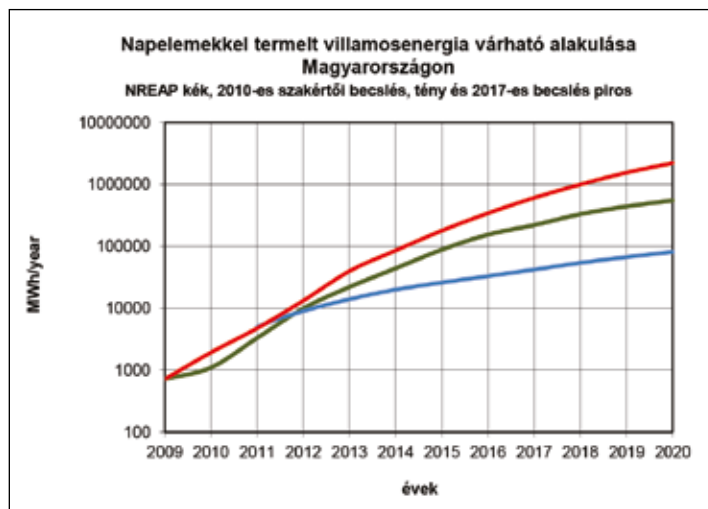
Végül, de nem utolsósorban említést érdemel, hogy fotovillamossággal kapcsolatos oktatási tevékenység többek között a gödöllői Szent István Egyetemen, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen és az Óbudai Egyetemen is folyik.

5. A VÁRHATÓ ALKALMAZÁS ALAKULÁSA

A napelemes berendezések elterjedésére az Európai Unió előrejelzést készített a tagországok NREAP-ben (Nemzeti Megújuló Energia Cselekvési Tervben) megadott vállalásai alapján 2020-ig. [9] 2020-ra 84,4 GWp napelemes állományt vállaltak összesen a tagországok. A napelemes berendezések teljesítménye már 2014-ben meghaladta a tagországok által 2020-ra vállalt és becsült értéket. Ugyanez jellemző hazánkra is. A Nemzeti Energia Stratégia Programjához 2010-ben előterjesztett becslésünk szerint 2020-ra egyenletes növekedés mellett 500 MWp teljesítményű új napelemes berendezést prognosztizáltunk. Ebből a magyar NREAP-be 63 MWp vállalása került be. Bár ez jóval kevesebb, mint amennyit becsültünk, mégis nagy eredménynek tartottuk a korábban vállalt 10 MWp-vel szemben. Próbáltunk becslést végezni a különböző években várható berendezés állomány mértékére 2020-ig, amit azonban a tények eddig minden évben felülírtak. A NREAP 63 MWp (2020) célját már régen átléptük. Az 500 MWp elérése (túllépése) nagyon valószínű. A Századvég prognózisa szerint (Renewable Energy Conference, EnKon, 2016 december) 2020-ra 1 GWp, míg a Magyar Mérnöki Kamara által szervezett Napelemes Tervezői Fórumon ugyancsak 2016 decemberében 2020-ra már 2 GWp napelemes állományt prognosztizálnak. A megújulókkal termelt villamos energia átvételére vonatkozó szabályozási környezet (METÁR) 2017-es változására tekintettel 2016 decemberében kb. 2 GWp napelemes villamosenergia-termelő egységre nyújtottak be engedélykérelmet. Valószínű, hogy csak egy részük fog megvalósulni, de a 2020-as előrejelzés valószínűségét nagymértékben erősíti. A 3. ábrán látható a 2010-ben készült Nemzeti Megújuló Energia Cselekvési Terv szerinti (kék), a 2010-es szakértői becslés



3. ábra A napelemes berendezés állomány alakulása



4. ábra A napelemes berendezésekkel termelt villamos energia éves mennyiségének alakulása

szerinti (zöld) és a tények, valamint a 2017-es becslés szerinti (piros) napelemes berendezés állomány alakulása.

A 4. ábrán látható a 2010-ben készült Nemzeti Megújuló Energia Cselekvési Terv szerinti (kék), a 2010-es szakértői becslés szerinti (zöld) és a tények, valamint a 2017-es becslés szerinti (piros), napelemes berendezés állománnyal termelt éves villamos energia mennyiségének alakulása.

A legújabb becslések szerint 2020-ra villamosenergia-igényünk akár 5%-át is fedezhetjük napenergiából.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A napenergia fotovillamos hasznosítása egy újkori sikertörténet. Környezetbarát módon segíti villamosenergia-ellátásunkat. Alkalmazásának további bővülése megállíthatatlan és ehhez a további gyártási költség-csökkenésen túlmenően az energiátárolási technológiák és kapacitások fejlődése (ennek egyik elemeként a villamos járművek elterjedése) jelentős mértékben hozzá fog járulni.

Irodalomjegyzék

- [1] **SolarPower Europe:** Global Market Outlook For Solar Power / 2016-2020.
- [2] **Pálffy M.:** Magyarország szoláris fotovillamos energetikai potenciálja. Energiagazdálkodás, 45. évf, 6. szám. 2004
- [3] **Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems.:** Photovoltaics Report. Freiburg, 14 November 2016
- [4] **CAT Information service:** <http://info.cat.org.uk/questions/pv/what-environmental-impact-photovoltaic-pv-solar-panels/>
- [5] **Pálffy M.:** Napelemek villamos jellemzői. Elektrotechnika, 79. évf, 10. szám. 1986
- [6] **Pálffy M.:** A napenergia fotovillamos hasznosítása Magyarországon. Fejezet **Váradi P.:** Van új a nap alatt. Móra Könyvkiadó, Budapest 2016
- [7] **Farkas I.:** Napenergia-Hasznosítás-Hazai és Nemzetközi Helyzetkép. Magyar Tudomány, 178. évf, 5. szám. 2017
- [8] **Pálffy M.:** A napenergia fotovillamos hasznosítása. Magyar Tudomány, 178. évf, 5. szám. 2017
- [9] **EUROOBSERVER** 2015. augusztus <https://www.eurobserv-er.org> vagy <https://euobserver.com>



Pálffy Miklós
okleveles villamosmérnök,
címzetes egyetemi docens
palfymiklos@solart-system.hu