

MISKOLCI EGYETEM
MŰSZAKI FÖLDTUDOMÁNYI KAR
MIKOVINY SÁMUEL FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

A Doktori Iskola vezetője: Prof. Dr. Dobróka Mihály, egyetemi tanár



**A HASZNOSÍTHATÓ NAPENERGIA SZÁMÍTÁSA TÉRINFORMATIKAI
MÓDSZEREKKEL ADOTT IRÁNYÚ ÉS DŐLÉSSZÖGŰ FELÜLETEKRE**

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS

Szalontai Lajos
okl. geográfus

Tudományos vezető
Kocsis Károly
intézetigazgató, egyetemi tanár, az MTA levelező tagja

Kutatóhely:
MISKOLCI EGYETEM
MŰSZAKI FÖLDTUDOMÁNYI KAR
FÖLDRAJZ-GEOINFORMATIKA INTÉZET

Tartalom

1. Bevezetés.....	1
1.1 A Téma felvetés indoklása	1
1.2. A kutatás célkitűzései, megoldandó feladatok	4
1.3. A kutatás során alkalmazott módszerek	4
2. A megújuló energiaforrások szerepe a XXI. században, különös tekintettel a napenergiára	6
2.1. Energiapolitikai kihívások a XXI. században.....	6
2.2. Az Európai Unió energiapolitikája	16
2.3. Megújuló energiaforrások és a napenergia használata az EU-ban	19
2.3.1. Primer energiatermelés megújulókból az EU-ban	19
2.3.2. Elektromos áram termelés megújulókból	21
2.4. Magyarországi energiapolitika	23
2.4.1. Az új energiapolitika igénye	23
2.4.3. Megújuló energiaforrások hasznosítása, helyzete Magyarországon.....	27
3. A napenergia hasznosítási lehetőségei energiatermelésre.....	31
3.1. A napenergia fizikája.....	31
3.2. A napenergia hasznosítása.....	37
3.2.1. Termikus alkalmazás.....	38
3.2.2. Fotovillamos alkalmazás.....	41
3.2.3. Trendek a napelemes rendszerek alkalmazásában	45
3.2.5. Napelemes technológiából származó előnyök	46
3.3. Lehetőségek a hasznosítható napenergia mennyiségének meghatározása.....	49
3.3.1. Globálsugárzás mérése	49
3.3.1.1. Pyranométeressugárzás mérés.....	49
3.3.1.2. Műholdas globálsugárzás mérés	50
3.3.1.3. Geoinformatikai módszerekkel való besugárzás számítás.....	51
4. Települési hasznosítható napenergia potenciál meghatározása.....	62
4.1. Szolárkataszter létrehozásának folyamata egy magyarországi mintaterületen.....	63
4.1.1. Szükséges adatbázisok rendelkezésre állása, adatbeszerzés	63
4.1.2. Szükséges adatbázisok beszerzése a kutatási területre	65
4.1.3. Szolárkataszter térinformatikai előállításának lépései	67
4.2. Vízzintes felületre történő globálsugárzás számítás	78
4.3. DSM-re lefuttatott Area Solar Radiation eredménye	82
4.4. Tetőfelületek besugárzás viszonyainak vizsgálata	86
4.5. Létrehozott szolárkataszterek hasznosítási lehetőségei.....	94

5. Összefoglaló	99
6. Summary	102
7. Köszönetnyilvánítás	105
8. Felhasznált Irodalom	106
9. Mellékletek.....	120

Témavezetői ajánlás

Szalontai Lajos 2008-ban szerzett geográfus diplomát a Miskolci Egyetemen. 2008 őszén, kezdte meg doktoranduszi tanulmányait a Miskolci Egyetem Földrajz Intézetében. A PhD-s tanulmányaival a tervezett ütemezés szerint haladt, így 2012 tavaszán, eleget téve tanulmányi kötelezettségeinek megszerezte az abszolutóriumot. 2012 őszétől folyamatos alkalmazásban állt, tudományos segédmunkatársi munkakörben, míg 2014 decemberétől, mint egyetemi tanársegéd látja el oktatási-kutatási feladatait.

Az intézeti munkákba az ez idáig eltöltött mintegy 7 és fél év alatt szervesen bekapcsolódott, a munkához való hozzáállása kivételesnek tekinthető. Ez idő alatt számos hazai és nemzetközi projektben vett részt, mely során bizonyította, hogy feladatait maradéktalanul és magas szinten végzi el. Egy segítőkész, precíz kollégát ismerhettek meg személyében az Intézet munkatársai.

A PhD értekezésében a szerző a megújuló energiaforrásokhoz köthetően egy olyan területre fókuszál, melyre az eddigiekben, hazánkban kevés figyelem irányult. A tetőfelületeken hasznosítható napenergia potenciál geoinformatikai módszerekkel történő kiszámítását a hazai adatinfrastruktúra környezetben kevesen kutatták. A geoinformatikai módszerek széleskörű alkalmazásának köszönhetően a szerző a magyar szolárkataszterek létrehozásának módszertanát fekteti le a disszertációban, amely munkája fő célja volt. A meghatározott módszertan alapján olyan, széles körben hasznosítható produktumot állít elő, mely a hazai lakossági és önkormányzati napenergia beruházások döntéstámogató alkalmazása lehet.

Munkája során a célkitűzéseit sikeresen megvalósította, eredményei tudományos értékkel bírnak, de egyúttal a gyakorlatban is hasznosíthatók. Munkáját a 2015 júniusában lezajlott házi védésen a bírálók is egybehangzóan értékes munkának találták. Az értekezés lelkiismeretes, szorgalmas munka eredménye, mely összességében 7 év kutatómunkáját tükrözi. Az eddig kifejtett tevékenysége, a kutatási eredményei és publikációi alapján az értekezés nyilvános vitára bocsátását és a doktori (PhD) cím odaítélését javaslom.

Miskolc, 2015. június 19.

Kocsis Károly
intézetigazgató, egyetemi tanár
az MTA levelező tagja

1. Bevezetés

1.1 A Témafelvetés indoklása

Az energiaellátás folyamatos, fenntartható (mind környezetileg és mind gazdaságilag) biztosítása a XXI. századra elérte azt a szintet, hogy nem korlátozható a „hagyományos” energiahordozók hasznosítására, továbbá a környezetünk megóvása érdekében szükségessé vált az alternatív, tiszta energiaforrások részarányának növelése is az energiatermelésben. Hosszútávon a megújuló energiaforrások jelentős szerepet fognak betölteni a világ energiaellátásában. Ezen kijelentésnek egyszerű az oka: amíg a kísérleti fázisban levő fúziós energiatermelés nem alkalmazható nagyüzemi keretek között, jelenleg nincs más alternatíva a környezetileg is fenntartható energiatermelés megvalósításának eléréséhez. Az emberiség a folyamatosan növekvő energiaigényének kielégítését nem alapozhatja a korlátozott mennyiségben rendelkezésre álló fosszilis energiahordozókra. Azon túl, hogy egyes fosszilis energiahordozók a jelenlegi felhasználási és kitermelési ütem mellett legfeljebb előrejelzések szerint kőszénből - 200 évig, kőolajból –50-60 és földgázból 60-70 évig elegendőek, még az üvegházhatású gázok legfőbb forrásait is jelentik, melyek a Föld környezeti fenntarthatóságát is veszélyeztetik (IPCC 1998, IPCC 2014, Olivier et al. 2013, BP Statistical Yearbook 2015). Az energiatermelés/használat és a környezeti terhelés közti összefüggések bizonyítása következtében, valamint ezen megfigyelések széles körben való elterjedésének köszönhetően a tiszta-megújuló energiaforrások hasznosítása nem csupán egy fontos, követendő irány, egy lehetőség, hanem kötelessége minden országnak, társadalomnak. Noha a *jelenlegi energiaigény fedezésére, a megújulók hasznosítására alkalmazott technológiájak csak részben megfelelő hatásfokúak, azonban azok használatával közvetlenül lassítható a hagyományos energiaforrások kitermelési üteme, valamint az energetikailag autonóm területek fejlődését-megalapozását szolgálhatják* (Árpási et al. 2006, Büki 2004, EREC 2010). Ezen energiaforrások hasznosításának szükségességét tovább növeli a globálisan is érzékelhető politikai-gazdasági instabilitás, valamint a „hagyományos” energiahordozókban szegény országok energiafüggőségének csökkentése is. *Kötelesség tehát megvizsgálni, felmérni az adott nemzet rendelkezésére álló alternatív energiaforrások hasznosítható mennyiségét országos, illetve lokális szinten is.*

A centralizált – decentralizált energiatermelés kérdése a XX. század utolsó éveiben vált mindennapossá. Nagyobb terület egységeket vizsgálva a centralizált rendszerek játszanak főszerepet, míg a decentralizált energiatermelés a települési – járási szintű közigazgatási egységek vizsgálatánál vehetőek figyelembe. A decentralizált rendszerrel a megújulók

potenciáljának felmérésére nyílik lehetőség, hogy az energiatermelést azokra alapozva lehessen tervezni, a közösség energiafogyasztásához igazítani az energiatermelő rendszer méretét (Büki 2005, Lukács 2010). A megújuló energiaforrások fő jellemzőiből fakadóan, miszerint az esetek többségében meghatározott időszakban korlátozott mértékben állnak rendelkezésre (napenergia, szélenergia, biomassza), valamint a nagyobb távolságra való energia- és nyersanyag-szállítás veszteséges, így jobb az alternatív forrásokból termelt energiát helyben hasznosítani illetve tárolni a későbbi felhasználásig (Árpási et al 2006, Bührke et al 2007, Gergely 2010).

A XXI. századra jelentős technológiai és gazdasági fejlődésen mentek keresztül a Föld nemzetei, melyekkel megteremtődött a megújulóknak nagyobb arányú hasznosításának lehetőségei is (Wilkins 2002). A kifejlesztett és bevált technológiáknak köszönhetően biztonságosan, tisztán, fenntartható módon, lokálisan (helyi termelés – helyben hasznosítás) és nem utolsósorban gazdaságilag is megtérülő módszerekkel aknázhatjuk ki a természet megújuló energiáit. *A lakosság által települési környezetben is alkalmazható megújuló energiaforrást hasznosító technológiák egyre szélesebb körben elérhetővé, megfizethetővé váltak, továbbá megtérülési idejük is jelentősen lerövidült a korábbi évtizedekhez képest, így a lakosság megfelelő mennyiségű és minőségű adattal, információval való ellátása az általuk is hasznosítható megújuló energiaforrásokra vonatkozóan kiemelt érdekévé vált. Továbbá ezen információkat adatbázisokká alakítva önkormányzati megújuló energiaforrás adatbázisokat hozhatunk létre, melyek hozzájárulhatnak a különböző települési, térségi, járási (megújuló) energia hasznosítási tervek kidolgozásához.*

Az alternatív energiaforrások közül a napenergia az, mely a lakosság által is a legkönnyebben hasznosítható a napelemek és napkollektorok által, egyúttal az egyik legtöbb munkahelyet generálja a megújuló energiaforrások területén, valamint az épített környezet kiterjedése (tetőfelületek) miatt rendkívüli hasznosítható potenciállal bír (IRENA 2011, IRENA 2014). A GIS (Geographical Information System – Földrajzi Információs Rendszer) környezet a XX. század közepétől kezdődően elért egy olyan szintet, hogy a különböző térinformatikai és távérzékelési eljárások, módszerek lefolytatásával meglehetősen pontos megújuló energiaforráshoz köthető potenciál becsléseket hajtsanak végre és azokat akár web-alapú információszolgáltatás útján publikálni is lehessen (Lang 1998, Pellegrino et al. 2008). A napenergia hasznosítható potenciáljának meghatározására és lakosság felé történő bemutatására az Egyesült Államokban, Nyugat-Európa országaiban (Németország, Nagy-Britannia, Ausztria) már jelentek meg különböző minőségű *települési szintű*, úgynevezett **szolárkataszterek** (solar cadastre) (Aguiaro et al. 2010). *A szolárkataszter tulajdonképpen*

egy olyan nyilvántartási adatbázis, mely egy település, járás, régió tetőfelületei általhasznosítható napenergia potenciálját/besugárzás mennyiségét tartalmazza (www.meteonorm.com alapján). Kelet-Közép-Európában viszont eltekintve egy két különböző mélységű kutatástól (Csehország, Szlovákia – Hofierka et al. 2009, Magyarország – Munkácsy et al. 2008, DEnzero 2014) nem születtek még nyilvánosan közzétett térinformatikai módszerekkel, tetőfelületekre vonatkozó besugárzási kataszterek.

A pontos adatokkal szolgáló solárkataszter egy társadalmi ösztönző, zöld tudatosság formáló-növelő eszköz, ami egyben kiváló adatbázis is, mely jelentősen hozzájárulhat a helyi/régiós zöld gazdaság fejlődéséhez és megújuló energiaforrás részarányának növeléséhez (Rylatt et al. 2001).

1.2. A kutatás célkitűzései, megoldandó feladatok

Kutatásom fő céljával *egy magyarországi, hiteles globálsugárzás mérés adataihoz igazodó szolárkataszter geoinformatikai alapokra helyezett módszertanának kidolgozását* tűztem ki, *a hazai viszonyok közt, önkormányzatok által is elérhető adatok/adatbázisok használatával*, mely a későbbiekben kiváló alapot nyújthat a megújuló energiaforrásokra alapozott települési fenntartható energia akciótervek kidolgozásához, valamint nyilvános lakossági információszoigáltató eszközként is hasznosulhat. Célkitűzésem megvalósításához több elvégzendő részfeladatot határoztam meg, melyek a következők:

- Az energiapolitika-energiahasznosítás alakulásának vizsgálata, elemzése a XX-XXI. század során, kiemelten figyelve a napenergia hasznosítás alakulását;
- a megújuló energiaforrások területén történő beruházások arányának vizsgálata;
- a napenergia keletkezésének, az energiaközlés folyamatának, a besugárzás mennyiségét meghatározó tényezők bemutatása, ismertetése;
- napenergiát hasznosító berendezések, technológiák bemutatása,
- a nemzetközi besugárzás mérések, modellezések típusainak, módszertanainak bemutatása;
- szolárkataszterekhez köthető térinformatikai, távérzékelési módszertanok közös metszetének megtalálása, nemzetközi és hazai kutatási előzmények feldolgozásával;
- magyarországi szolárkataszter kidolgozásához szükséges adatok, adatbázisok felkutatása;
- légköri tényezők (szórási – átlátszósági tényező) parametrizálása a mintaterületre számolt illetve mért adatok használatával;
- a szolárkataszterek további hazai, illetve nemzetközi hasznosítási lehetőségeinek felkutatása, megjelölése.

1.3. A kutatás során alkalmazott módszerek

Kutatásom megalapozásához másodlagos adatforrásokra is támaszkodtam. Különböző energetikai, társadalmi illetve egyéb statisztikai adatokhoz hazai részről a Központi Statisztikai Hivatal (KSH – www.ksh.hu), nemzetközi részről az EUROSTAT (<http://ec.europa.eu/eurostat>), a BP Statistical Yearbook 2014, 2015, a CIA – The World Factbook 2014, az Enerdata, a Bloomberg Finance, a Solarbuzz, OECD Statistical database (<http://data.oecd.org>), 2014 World Development Indicators - 2014 International Bank for Reconstruction and Development (<http://data.worldbank.org/>), Enerdata - Global Energy

Statistical Yearbook 2014, Eu Energy Country Factsheets 2014 version 3.0, Eu Energy in Figures 2014: Statistical Pocketbook, GSR 2014: Renewables 2014 Global Status Report, U.S. Census Bureau, International Programs 2008, World Resources Institute – WRI Climate Analysis Indicators Tool (CAIT 2.0) – WRI's climate data explorer, (<http://cait.wri.org>) online és papír alapon is elérhető statisztikai évkönyveiből, adatbázisaiból jutottam hozzá.

A modellezés alapjául szolgáló, lézeres távolságmérésből (LiDAR) keletkező pontfelhő 2013-ban a Miskolci Egyetem, Földrajz-Geoinformatikai Intézet által megvalósított „Árvízi modellezés és a mentést támogató logisztikai rendszer kiépítése - FLOODLOG” című, HUSK/1001/2.1.2/0009 számú nemzetközi projekt keretén belül keletkezett. A LiDAR felmérést a gyöngyösi Károly Róbert Főiskola, Távérzékelési és Vidékfejlesztési Kutatóintézete folytatta le.

Hiteles, mért meteorológiai adatokhoz az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) szolgáltatásai között megtalálható, kutatási célra térítésmentesen biztosított korlátozott mértékű adatszolgáltatását vettem igénybe, mely során 2008-2012 közötti napi bontású besugárzási adatsort szereztem be. További információforrásként még a Szolgálat által kiadott Magyarország Éghajlati Atlasz(sorozata), melyek további fontos klimatológiai adatokat tartalmaznak.

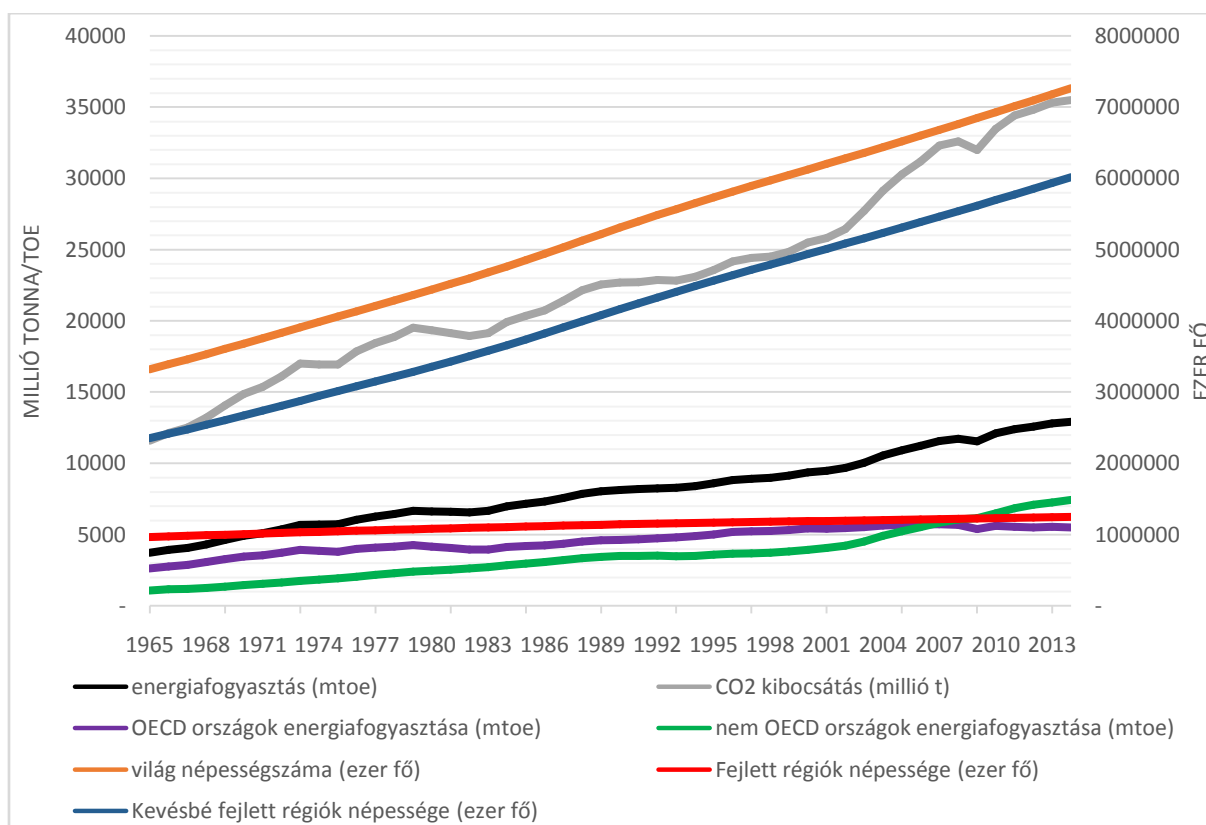
A különböző digitális térinformatikai állományokat, domborzatmodelleket, felszínmodelleket, továbbá a rajtuk elvégzett statisztikai számításokat, besugárzás modellezéseket az ESRI térinformatikai cég ArcGIS 10.x szoftverével és kiegészítőivel hajtottam végre.

A kutatás során felkerestem a LiDAR méréssel érintett 12 település polgármesterét, akiktől a településükre vonatkozó adatokat, térképeket, digitális térképállományokat szereztem be (Területrendezési, Településfejlesztési Tervek, kataszterek), továbbá kisebb interjú keretén belül a településükön megvalósuló, illetve megvalósítani kívánt megújuló energiaforrásokhoz köthető beruházásokról is beszélgettünk.

2. A megújuló energiaforrások szerepe a XXI. században, különös tekintettel a napenergiára

2.1. Energiapolitikai kihívások a XXI. században

A társadalmi és gazdasági oldalon jelentkező energiaigény zavartalan és folyamatos kielégítése minden egyes nemzetállam alapvető feladata. Azonban az, hogy Földünk lakossága folyamatosan növekszik (2014 végére elérte a 7 milliárd 150-200 millió főt)(U.S. Census Bureau, The World Bank), a globalizált társadalmakban egyre nagyobb az igény az életünket megkönnyítő eszközök üzemeltetése iránt, egyben azt is jelentik, hogy a keletkező energiaigény is növekedik, mely globális szinten 2014-re már 13583 millió toe¹tett ki (OECD 2014, Enerdata - Global Energy Statistical Yearbook 2014, BP Statistical Yearbook 2015, UN 2015)(1. ábra).

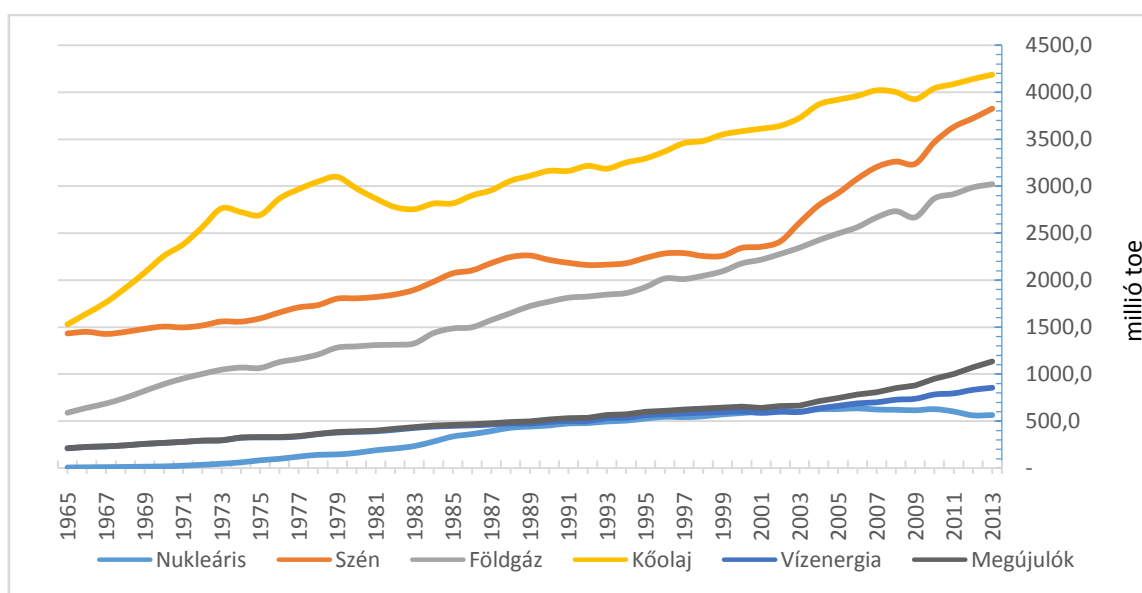


1. ábra A Föld népességének, teljes energia fogyasztásának, valamint CO₂ kibocsátásának alakulása 1965-2014 között

forrás: OECD 2014, Enerdata - Global Energy Statistical Yearbook 2014, BP Statistical Yearbook 2015, UN 2015, szerkesztette Szalontai L

¹toe – tonne of oil equivalent; Energetikában használatos mértékegység az olajegyenérték vagy kőolaj-egyenérték, amely az adott mennyiségű energia előállításához elégetendő nyersolajtömegét adja meg. Jelölése: toe

A vizsgált 50 éves időszak alatt a Föld lakosságának száma a 65-ös bázisához képest 2014-re 290 %-os emelkedést produkált, míg a teljes energia fogyasztás 346 %-os bővülést mutat. A CO₂ emisszió mennyiségét megvizsgálva elmondható, hogy szoros összefüggésben van az energiafogyasztás növekedésével, ugyanis az energiafogyasztás keretein belül található meg a legfőbb szén-dioxid kibocsátó tevékenységeket, mint például a fosszilis energiatermelés, közlekedés, elektromos áramfogyasztás, stb. A megnövekedett energiafelhasználás a kibocsátott CO₂ mennyiségének 306 %-os növekedéséhez járult hozzá. Az ábrán továbbá megfigyelhető az is, hogy míg az OECD országok (Organisation for Economic Co-operation and Development – Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet - mely tagságát főként a világ, gazdaságilag legfejlettebb, fejlettebb országai adják) népessége alig több, mint negyedével növekedett (29 %), valamint energiafogyasztása megduplázódott (209 %), addig a fejletlenebb gazdasági régiók, fejlődő országok esetében a népesség több mint a két és félszeresére nőtt (257 %), az energiafogyasztás pedig meghatszorozódott (628 %)! A 2. ábrán a 1965-2014-es időszakra vonatkozó globális primer-energiafogyasztás szerkezetét láthatjuk, melyen megfigyelhető, hogy „természetesen” a fosszilis energiahordozók töretlenül dominálnak (az ipari forradalom óta) a világ energiafogyasztásának területén, noha a megújuló energiaforrásokból termelt energia, valamint ahhoz kapcsolódó energiafogyasztás a vizsgált időszakban közel 7-szeresére növekedett. Az energiafogyasztás 1990-es évek óta tartó folyamatos növekedésében kisebb visszaesés látható 2008-2010 között mely a 2008-ban kialakult gazdasági válság hatásaként értelmezhető.



2. ábra A világ primer-energiafogyasztásának szerkezete energiaforrás szerint (mtoe)
forrás: BP Statistical Yearbook 2014, Enerdata 2014, szerkesztette Szalontai L

A legfejlettebb, valamint legdinamikusabban fejlődő gazdasággal illetve nagy népességszámmal bíró nemzetek, gazdasági közösségek és azok tagjai a legnagyobb energiafogyasztók is egyben a globális teljes primer energiafogyasztás tekintetében (I/a Melléklet)

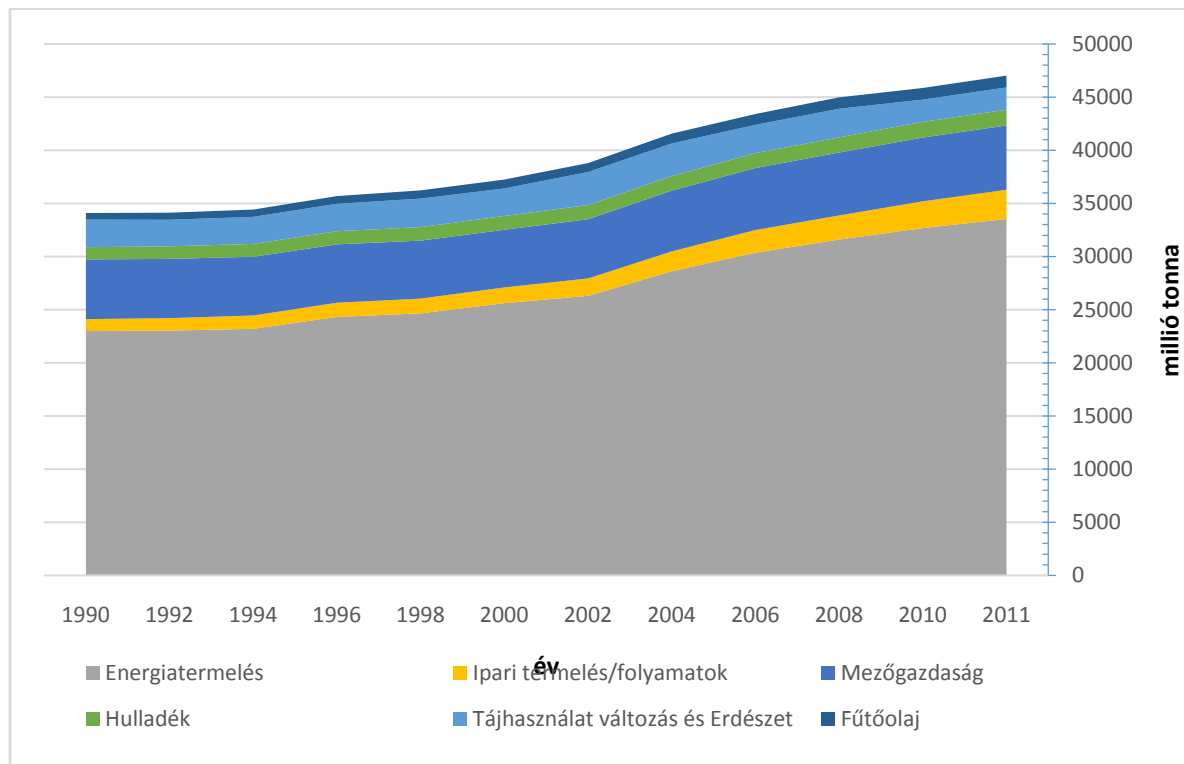
Megjegyzendő, hogy számos statisztikai elemzésben a vízenergiát külön rögzítik az egyéb megújuló energiaforrásoktól, ugyanis korábban ezen alternatív energiaforrást lehetett a legkönnyebben hasznosítani az elektromos áram előállítására (más mechanikai munka mellett). Napjainkig a vízenergiát hasznosítjuk legnagyobb mértékben. Az újabb technológiák, melyek a nap-, szél-, hullám- és geotermikus energiát hasznosítják a XX. század végére fejlődtek ki oly mértékben, hogy megjelenhessenek az ipari és globális méretű energiatermelésben is. Mindemellett a keletkező energiaigény térben egyenlőtleneloszlású.

A „hagyományos” energiahordozók (kőszén, földgáz, nukleáris) korlátolt mennyiségben állnak rendelkezésünkre, valamint a kitermelésükkel és hasznosításukkal összefüggően az 1990-es évektől a természetben egyre gyakrabban bekövetkező negatív hatások, változások is megfigyelhetőek az emberiséget az energiapolitikájának újragondolására készítette. Az ipari forradalom óta lezajló technológiai, technikai újításoknak köszönhetően a fát, mint legnagyobb mértékben használt energiahordozót felváltotta a jóval kedvezőbb fűtőértékkel, égéshővel bíró, könnyen, nagy mennyiségben rendelkezésre álló és kitermelhető kőszén. A XIX. század közepétől elkezdődik a még nagyobb mennyiségben, koncentráltabban rendelkezésre álló, kedvezőbb égéshővel bíró, könnyebben szállítható földgáz és kőolajmezők feltárása, majd az ásványkincs kitermelése és hasznosítása. Azonban a fosszilis energiahordozók hasznosításával (elégetésével) és kitermelésével jelentős mennyiségű üvegházhatást okozó gáz (ÜHG – CO₂, CH₄, N₂O) kerül(t) a légkörbe, melyek közvetlenül, bizonyítottan felelősek a globális átlaghőmérséklet fokozatos emelkedéséért (IPCC 1998, Bobok et al 2005). A földi átlaghőmérséklet emelkedése pedig forrása számos klímaváltozási folyamatnak, melyek a szűkebb-tágabb környezetünket is érintik. Ilyen folyamat többek között: a növény- és állatfajok migrációja illetve kipusztulása, a szárazföldi és tengeri jéggel/hóval borított területek arányának csökkenése, óceánok-tengerek savasodása-felmelegedése, tavak kiszáradása és a sor még folytatható tovább. Ezen természeti folyamatok ugyanakkor hatással vannak a társadalomra, a nemzetek gazdaságára is (IPCC 1998, Mika 2002, Olivier et al. 2012, IPCC 2014).

Az egyre növekvő számú környezeti illetve társadalmi és gazdasági problémák megjelenése és kezelése a XX. század végére megkerülhetetlenné vált. A kibocsátott üvegházhatású gázok mennyiségének csökkentése, a változásokra való felkészülés, a

változásokra adott megoldási javaslatok kidolgozása, az alkalmazkodás módozatai váltak prioritássá a környezeti-, társadalmi fenntarthatóságot szem előtt tartó államok számára. 1972-ben, az Egyesült Nemzetek Szervezetének (ENSZ) stockholmi gyűlése a környezet védelmét, mint az emberiség kiemelt feladatát vitatta meg. Az 1992. júniusában, Rio de Janeiróban aláírt és kiadott ENSZ Éghajlat-változási Keretegyezmény (United Nations Framework Convention on Climate Change, (UNFCCC) lehetőséget biztosított a klímaváltozáshoz kapcsolódó problémák feltárására, célok megfogalmazására hivatalos intézményi kereteken belül. Ezen keretegyezmény kiegészítése, ám de annál fontosabb része lett az 1997. december 11-én aláírt Kiotói Jegyzőkönyv (UNFCCC 2008.), amelyben az aláíró államok vállalják, hogy 2008-2012-es időszakban legalább 5,2 %-kal csökkentik az 1990-es bázisához viszonyítva kibocsátott ÜHG mennyiségét. A 2012 év végén lejárató kiotói jegyzőkönyv érvényességét az akkor aktuális (Doha – Katar) ENSZ Éghajlat-változási Keretegyezmény konferencián 2020-as lejáratási dátummal kitölték (Mika 2002).

A legfőbb felelőse az ÜHG kibocsátásának az energiatermelő szektor és részesedése (több, mint 70 %) az összes kibocsátott ÜHG mennyiségéből konstans módon növekszik (NKS 2013, Kahn et. al 2007). A 3. ábrán látható, hogy mely források milyen mértékben részesedtek az összes ÜHG kibocsátásából az elmúlt évtized folyamán.



3. ábra Szektoronként kibocsátott ÜHG gáz mennyisége a Földön (Mt CO₂ egyenértékben)
forrás: BP Statistical Yearbook 2014, Enerdata - Global Energy Statistical Yearbook
2014szerkesztette Szalontai L

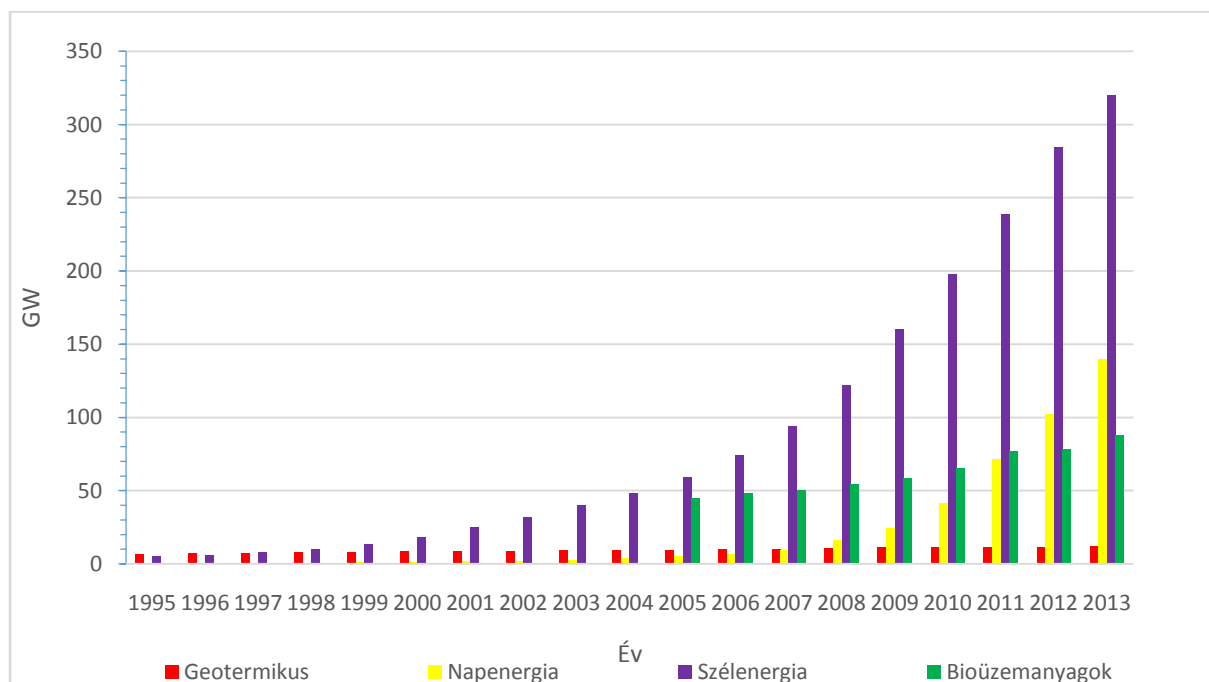
Az energiapolitikai beavatkozások, törvények a nemzetállamok gazdasági fejlettségétől, energia-mixétől, meglévő infrastruktúrájától – energiatermelő szektorától, természetföldrajzi jellemzőitől (éghajlat, domborzat, ásványvagyon készlet, stb.) függően különböző területekre fókuszálva jelentek meg (Wilkins 2002). Azonban egyes akciók közös metszeteként (ÜHG kibocsátás csökkentése, éghajlatváltozás elleni küzdelem, vállalt nemzetközi célértékek elérése) kiemelhetőek a megújuló energiaforrásokhoz köthető beavatkozások, melyek minden államban kiemelt prioritással bírnak (Árpási et al 2006, Stróbl 1998, NCsT 2010):

- *Megújuló energiaforrások hasznosítás részarányának növelése:*
 - o gazdaságilag hasznosítható megújuló energiaforrás potenciál mérések, számítások az országok területére;
 - o társadalmi tudatosság növelése (awerness raising) a megújuló energiaforrások hasznosítására, környezetünk védelmére;
- *Energiahatékonyság növelése a közlekedés, energiatermelés, épületek területén;*
- *A centralizált – decentralizált energiatermelés jó gyakorlatainak megvalósítása:*
 - o a nemzeti energiatermelési rendszer újragondolása, újratervezése az új nemzetközi jó gyakorlatok megvalósításával az adott ország adottságaihoz igazodóan – pl. energetikailag autonóm települések, térségek létrehozása;
- *Megfelelő technológia transzfer* akár a hagyományos (nagyobb hatásfokú illetve környezetkímélőbb) akár a megújuló energiaforrás hasznosításához köthetően;
- *Zöldgazdaság fejlesztése:*
 - o Zöldgazdaságban foglalkoztatottak számának növelése;
 - o Alternatív energiaforrásokhoz köthető új gazdasági, piaci lehetőségek kiaknázása.

Mindezeknek köszönhetően az 1990-es évektől megvizsgálva megállapítható, hogy növekvő és folyamatos bővülés figyelhető meg az alternatív energiaforrások hasznosításának területén, mely a beépített teljesítmény, rendelkezésre álló kapacitások számából is következtethető (4. ábra).

A vízenergia nem szerepel az ábrán a megújuló energiaforrásokon belüli tartós dominanciája miatt. Vezető helye (vizsgált időszakban 624 és 979 GW között változott az értékkel) a beépített teljesítmény területén arra a tényre vezethető vissza, hogy az elektromos áram feltalálása és hasznosítása óta a vízenergia volt a legelső olyan megújuló energiaforrás, amelyet eme szekunder energiahordozó előállítására alkalmaztak, valamint annak is

köszönhető, hogy a megfelelő technológia és hely kiválasztásával nagy mennyiségű, koncentrált energiát lehet hasznosítani.



4. ábra Globálisan beépített teljesítmény megújuló energiaforrások szerint

forrás: BP Statistical Yearbook 2014, Enerdata - Global EnergyStatisticalYearbook 2014
szerkesztette Szalontai L

A szélenergia második helye a beépített teljesítmények rangsorában azzal magyarázható, hogy a technikai fejlődésnek köszönhetően a nagy hatásfokkal működő, nagy beépített teljesítményű (nagyobb, mint 1-1,5 MW) szél erőművek telepítése vált lehetségessé, megnövelve ezáltal a szélenergia kihasználtságának arányát. A napenergia és biomassza kapcsolt-energiatermelésben való hasznosítása a 2000-es évektől kezdett el rohamos mértékben terjedni, amelyet a megfelelő/gazdaságos hatásfokú technológiák kifejlesztése eredményezett. Végül, de nem utolsó sorban a geotermikus energia hasznosítása, azért marad el jelenleg a többi megújulótól, mert az alkalmazása jelenleg még olyan feltételekhez van kötve, mely korunk technológiai fejlettség szintjén rohamosabb léptékű növekedést nem tud produkálni, tehát ipari méretű beruházások csak a remek adottságokkal rendelkező országok esetében jöhetnek szóba, míg a kisebb lakossági (hőszivattyús) beruházások nem képviselnek olyan jelentős méretű beépített teljesítmény emelkedést (EREC 2008, NCsT 2010). A fejlődési ütemeket tekintve viszont elmondható, hogy a napenergia területén több mint 1500-szorosára növekedtek az eltelt 20 év alatt a beépített kapacitások, míg a bővülésben második

helyezett szélenergia „csupán” 78-szor nagyobb beépített teljesítménnyel bír az 1995-ös bázisadathoz képest.

Világszinten ugyan stagnál a primer energiatermelésből való részesedése a megújulóknak (12-13 % között), azonban nagyobb földrajzi területeket (kontinenseket), gazdasági körzeteket vizsgálva eltérő folyamatokat tapasztalhattuk az elmúlt évtized folyamán. A gazdaságilag, infrastrukturális szinten elmaradottabb Afrikában, a biomasszára alapozott energiatermeléssel és a vízenergia magas fokú hasznosításával valamint az ehhez társuló alacsony energiafogyasztásának köszönhetően az alternatív energiaforrások megközelítőleg 50 %-os részesedéssel bírnak. Ázsiában a rohamosan növekvő népességszám, hatalmas energiaigény jelentkezésével járt, melyet az olcsó üzemanyaggal, a szénnel fűtött erőművek nagymértékű üzembe helyezését vonta magával, valamint a nukleáris technológiára alapozott energiatermelés elfogadottnak számított és viszonylag nagy piaccal bírt ebben a térségben. Azonban a társadalom által szinte naponta tapasztalható szmogriadók, az éghajlatváltozáshoz kapcsolódó természeti katasztrófák, a zöld gazdaság rohamosan fejlődő mérete és nem utolsósorban a 2011-es fukushimai atomerőműben bekövetkező baleset a megújuló energiaforrások hasznosításának bővítésére irányította az országok figyelmét. Ezek eredményeképpen, valamint a megújulót hasznosító technológiák transzferének következtében 2010-től lassú emelkedés figyelhető meg az ázsiai adatoknál (I/b Melléklet) (Wilkins 2002, IEA 2014). A világ két legfejlettebb gazdasági térségét az Európai Uniót és Észak-Amerikát megvizsgálva elmondható, hogy a II. világháború utáni intenzív gazdasági fejlődés energiaigényének kielégítésére a konvencionális energiatermelést részesítették előnyben. A megújulók a 90-es évekig 4-5-% között részesedtek a primer energiatermelésből és fogyasztásból. A 90-es évektől meginduló energiapolitikai szabályozásoknak, új környezetvédelmi irányelvek megjelenésének köszönhetően viszont látható, hogy az Európai Unió ezen megújuló értékekre vonatkozó részaránya folyamatos növekedést produkál (1990-es bázis adathoz viszonyítva 115 %-os növekedés az elektromos áram termelésben, 183 %-os emelkedés a primerenergia fogyasztásban). Az Egyesült Államok-Kanada összesített adata lassú emelkedést mutat e téren (1990-es bázisadathoz viszonyítva 11 %-os növekedés az elektromos áram termelésben, 36 %-os emelkedés a primerenergia fogyasztásban) (BP 2014, Enerdata 2014).

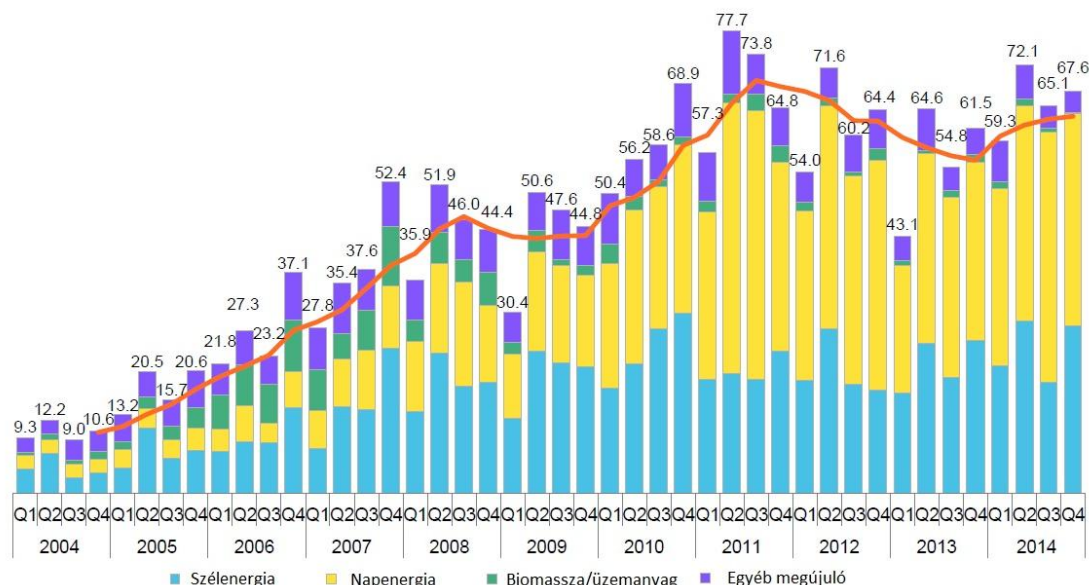
Azzal, hogy a világ 196 független államából 144 nemzet rendelkezik a megújuló energiaforrásokhoz köthető törvényi rendelkezéssel, szabályozással, elérendő célértékkel (változó időkorlátokra vonatkozóan) (IRENA 2014) a megújuló energia hasznosítását előtérbe helyező intézkedések, beruházások további növekedésére számíthatunk.

A XX. század során kialakult koncentrált energiatermelés (fosszilisra, nukleárisra alapozva) mellett megjelent és elkezdett terjedni a decentralizált energiatermelés is a megújuló energiaforrásokhoz köthető folyamatosan emelkedő technológiai határfok, teljesítmény értékeknek jóvoltából. A decentralizált energiatermelés közel a felhasználás helyéhez történik, függetlenül a technológia teljesítményétől és jellegétől; formái (Veisse 2004, Büki 2007):

- jó hatásfokú **kapcsolt energiatermelés** (1kW – 400 MW): gáz-gőzturbinák, Stirling-motorok, tüzelőanyag-elemek, mikro-gázturbina, belsőégésű motorok;
- **megújuló energiaforrásokra alapozott** energiatermelés: PV – napelemes rendszerek, kis vízerőművek, helyi szélenergia, geotermikus energia hasznosítása;

Ezen fajta energiatermelés elterjedését elősegíti továbbá, hogy a villamos-energia, hőszállító infrastruktúra jelentős mértékben kiépült a XX. század végére, valamint a XXI. századi energiahasznosítási „trendek” is fejlődtek, illetve azok a fenntartható környezet szemléletében alakultak ki. A decentralizált-, centralizált-energiatermelés kérdéskörében fontos megemlíteni, hogy a decentralizált megújulóakra alapozott termelési mód elterjedésének gátat szab a fosszilis energiahordozók mögött felsorakozó pénzügyi, politikai és gazdasági befolyás, lobbis, valamint, hogy a támogatási rendszerek kevésbé támogatják a kisebb erőművi beruházásokat globális szinten (Büki 2007). Ökológiai aspektusból jobban megfogalmazza a fenntartható energiatermelés/ellátás fogalmát, hogy decentralizált energiatermelésnél a helyi közösség felügyelete mellett, általuk és nem helyettük működtetett rendszeren keresztül történik az energiaellátás, mely a legjobb kihasználása a kis területen ám koncentráltan megjelenő megújuló energiaforrások alkalmazásának (Kiss 2009, Tóth 2013). Noha a decentralizált energiatermelési módot a fejletlenebb infrastruktúrával, energiatermelő rendszerrel rendelkező országok számára fejlesztették ki, az 1970-es évektől a liberalizálódó energiapiacok- és a környezetvédelmi szempontok előtérbe kerülése miatt a fejlett országok energiatermelő szerkezetében is megjelent (Szuppinger 2000, Wilkins 2002). A kutatás-fejlesztés, az innovatív technológiák kifejlesztése, a különböző technológiák alkalmazása és transzferje, illetve a megújuló energiaforrásokhoz köthető gazdasági tevékenységek (keresleti és kínálati oldalról egyaránt) kialakították az úgynevezett „zöld-gazdaságot”, mely a folyamatos növekedésének köszönhetően jelentős méreteket öltött. A II/a mellékletben megfigyelhető az új, megújuló energiaforrások területén a nem állami területről érkező beruházások mértékének alakulása, növekedő mennyisége, melyek együttes összege 2014-re meghaladta a 300 milliárd USD-t (Bloomberg New Energy Finance 2014). A vizsgált időszakot tekintve folyamatos emelkedés figyelhető meg 2011-ig a beruházásokba fektetett

összeg értékét tekintve mind globálisan, mind a megújuló energiaforrásokat legnagyobb mértékben hasznosító országokban (USA, EU-28, Kína). 2011-től csökkenés figyelhető meg az USA-ra és az EU-ra esetében. Ezen csökkenés a megújulók használatát ösztönző támogatói rendszer átalakulásához, a lakosság által is könnyen elérhető technológiák (pl.: kisméretű/háztartások részére szánt PV rendszerek árának drasztikus csökkenésével) magyarázható (GSR 2014). A csökkenő PV rendszer árak ugyanis ugyanakkora összegű befektetés mellett nagyobb beépített teljesítmény létrehozását eredményezik (2012-ben 31 GW-nyi napelemes beruházás 2013-ban már 39 GW beépített teljesítmény bekerülési összegének felelt meg) (Aspinall et al. 2014, GSR 2014). Ezt alátámasztja még az a tény is, hogy 2012-ben 22 %-kal alacsonyabb volt a befektetett összeg mennyisége 2011-hez képest, azonban 32 %-kal emelkedett a kiépített PV kapacitások mennyisége (GSR 2014). A világ egyéb államaira vonatkozó adatsorban váltakozó az éves szintre vetített alternatív energiákba fektetett összege, ugyanis az jelentős mértékben függ a fejlődő országok technológia- és tudástranszferjének szintjétől is, valamint külső tényezők behatásaitól (pl. Japánban az atomerőművek leállítása rekord méretű beruházást okozott a napelemes-geotermikus rendszerek piacán) (Bloomberg 2014, Watanbe 2012, Wilkins 2002). Az összes befektetett összeg energiaforrások szerinti bontását az 5. ábra mutatja be.



5. ábra Globálisan a megújuló energiaforrásokba fektetett összeg arányainak alakulása energiaforrásonkénti bontásban (mrd \$)
forrás: Bloomberg New Energy Finance 2014

A fenti ábra alapján is jól kirajzolódik, hogy a 2000-es évek végétől kezdődően töretlenül a napenergia hasznosítás területén történik a legnagyobb mértékű befektetés

globálisan, melyet a szélenergetikai beruházások követnek a rangsorban. A többi megújuló energiaforrásba történő beruházás a szél- (25-38 %) és a napenergia (50-65 %) mellett csekély összeget tesz ki (cca. 10-15 %).

Az alternatív energiaforrásokba fektetett összeg folyamatos növekedése emelkedő beruházás számot jelent, mely beruházások, valamint a kiépült rendszerek üzemeltetése/fenntartása, a berendezések, alkatrészek gyártása munkahelyeket teremtenek szerte a Földön. A megújuló energiaforrásokhoz közvetlenül köthető foglalkoztatottak száma a 2012-ben mért 5,7 millió főhöz képest 2013-ra elérte a 6,5 millió főt (IRENA 2014), mely 800.000 fős bővülést jelent 1 év alatt. A különböző energiaforrások szerinti foglalkoztatottsági adatokat vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a napenergia (2800000 fő) és a biomassa (2520000 fő) hasznosítás területén jelentkezik a legnagyobb arányú munkaerőigény, míg a szélenergia 840000 főt a víz és a geotermikus energia pedig egyaránt 160000 főt foglalkoztat globális szinten (II/b melléklet).

A biomassa hasznosításánál, mint tradicionális megújuló energiaforrásnál az élőmunka igény a mezőgazdasági munkafolyamatok, szállítás illetve a hasznosítási technikák következtében jelentkezik jelentős mennyiségben, míg a napenergiánál a napelem és napkollektor panelek gyártásánál, disztribúciójánál illetve installálásánál keletkezik nagyobb számú munkahely (EESI 2013., GSR 2014.). *Ezen két energiaforrásnak a nagyfokú munkaerőigénye azzal is indokolható még, hogy a biomassa és a napenergia az a két megújuló energiaforrás, amely - leszámítva egy-két, e tekintetben kivételesen kedvezőtlen földrajzi adottságú országot – minden ország területén kiemelt hasznosítható potenciállal bír.* A víz-, szél-, geotermikus energiaforrás hasznosításához köthető foglalkoztatottak alacsony száma a beruházások alacsonyabb számával, illetve a kevesebb kezelő-fenntartó személyzet számmal magyarázható, ugyanis a biomasszával és napelemes, napkollektoros rendszerek lakossági célú használata könnyebben hozzáférhető a társadalom számára (IRENA 2014., Tóth 2013).

A fentebbiekben ismertetett tények, adatok alapján elmondható tehát, hogy az emberiség a történelme során folyamatosan használta a különböző típusú megújuló energiaforrásokat a felmerülő energiaigényei kielégítése érdekében, azonban azok alacsony energiasűrűségük miatt háttérbe szorultak a XX. századra konvencionálissá vált, energiasűrűség szempontjából jobb tulajdonságokkal bíró fosszilis energiahordozókkal szemben (Tóth 2013). A XXI. századra azonban gazdasági, politikai, természeti környezet változásával, illetve a fosszilis készletek végeességének figyelembevétele miatt az alternatív energiaforrások intenzívebb hasznosítása globális érdeké vált. A gazdaságilag és

környezetileg fenntartható energiatermelés legjobb verziója az, ha a nagyméretű, stabil ellátási rendszer mellett kisléptékű, keresletoldali, moduláris és megújulóakra alapozott energiaforrásokra támaszkodik (Kiss 2009).

A kutatás-fejlesztés, az innovatív technológiák kifejlesztése, az energiaátalakító berendezések hatásfokának növelése magukkal hozták minden társadalom számára elérhető, megfizethető és adott területre speciálisan tervezhető megújuló energia hasznosító berendezések korszakát, melyek megtérülési ideje is jelentősen lecsökkent. Ahhoz azonban, hogy az állami illetve nagy piaci beruházásokat kiegészítve a lakossági szektorban is markáns emelkedés legyen megfigyelhető a megújuló energiaforrások részarányában, szemléletváltásra, tudatosságnövelésre van szükség.

Kulcsfontosságú tehát, az energiapolitikai, döntéshozói, befektetői, termelői és végfelhasználói szinteken a „zöld” tudatosság növelése, illetve a saját környezetében, lokálisan hasznosítható megújuló energiaforrás potenciállal kapcsolatos pontos információval való ellátása (Szalontai 2014 a, b). Kiemelt tekintettel a nap-, és szélenergiára, valamint a biomasszára, ugyanis a vizsgált adatsorokból, adatokból kitűnik, hogy az elmúlt évtized során tapasztalható megújuló energia „boom”-jában kimagaslóan vesznek részt.

2.2. Az Európai Unió energiapolitikája

A XX. század végére a világ nagy fogyasztóihoz hasonlóan az EU-ban is (Európai Unió a 3. legnagyobb primer energiafogyasztó gazdasági-politikai közösség) megfigyelhető a különböző környezetvédelmi, energiapolitikai dokumentumok, rendeletek, törvények előkészítése, kidolgozása, elfogadása, melyek a következő kihívásokra próbálnak megoldást találni (Hubai 2004, Horánszky 2004, Sebestyén 2013):

- a kőolaj, a kőolajtermék és a földgáz piacok jövőben felmerülő problémái;
- az energiaimport csökkentésének igénye;
- az eddigi diverzifikáció korlátozott mértéke;
- az energiaárakvolatilitása;
- a világszerte növekvő energiakereslet;
- a termelő és tranzit országokat, valamint a szállítási útvonalakat érintő biztonsági kockázatok;
- az éghajlatváltozás okozta fokozódó fenyegetettség;
- az energiahatékonyság és a megújuló energiaforrások használata terén tapasztalható lassú előrehaladás;
- az energiapiac liberalizációja mellett az energiapiacok korlátozott átláthatósága;

- energiarendszer jelentősfejlesztése.

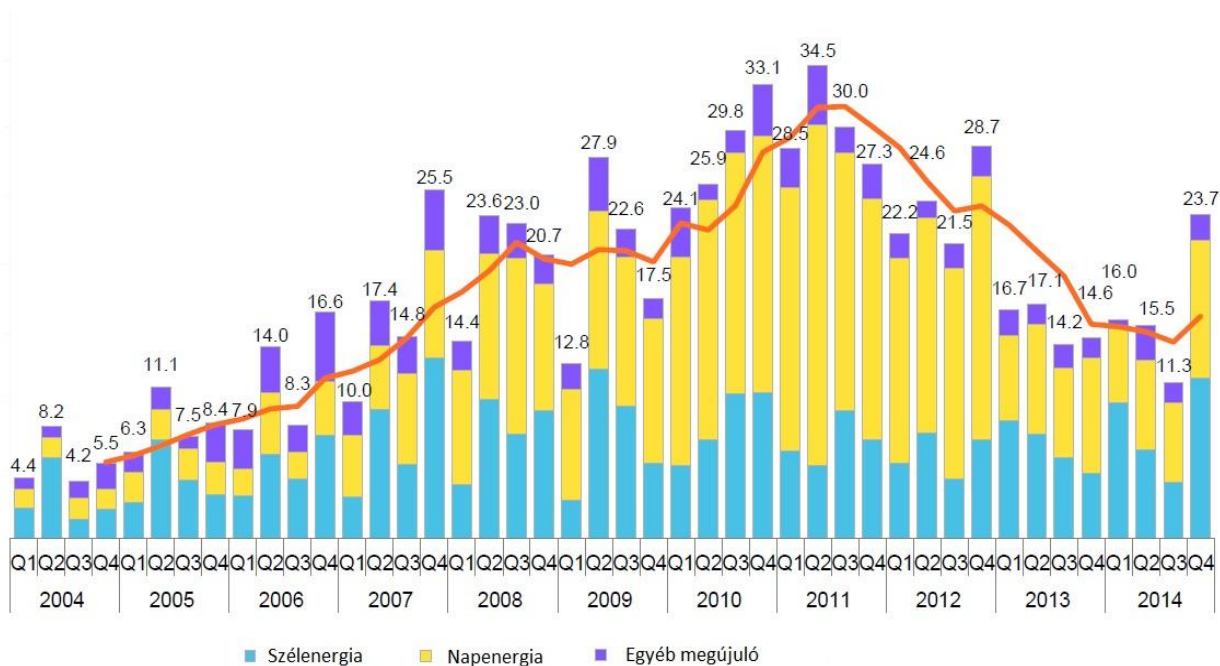
Az Unió a tagországok által elfogadott célok megvalósítása érdekében különböző szerződésekből, irányelvekből és rendeletekből írta elő céljainak megvalósítását a tagországok számára. Ezen dokumentumok, határozatok kronológiai sorrendben az alábbiak: 1992. Maastricht-i szerződés, 1994-ben első Zöld Könyv – „*For a European Union Energy Policy címmel*”, 1995-ben az első Fehér Könyv „*An Energy Policy for the European Union*” címmel, 1997-ben, második Fehér Könyv „*Energy for the future: renewable sources of energy*” címmel. Az iránymutató dokumentumokat, cselekvési terveket európai jogszabályok megalkotása követte, melyek közül a 2001/77/EK - a belső villamosenergia-piacon a megújuló energiaforrásokból előállított villamos energia támogatásáról és a 2003/30/EK - a közlekedési ágazatban a bio-üzemanyagok, illetve más megújuló üzemanyagok használatának előmozdításáról irányelvek a legfontosabbak. Ezen két irányelv 2010-re elérendő célértékeket határozott meg minden tagállam számára a megújuló energiaforrások hasznosításának részarány növelésére, a technológiai fejlesztésekre és hozzáférésre vonatkozólag (Horánszky 2004, Sebestyén 2013).

Az Európai Tanács által 2007 márciusában elfogadott új európai uniós energia- és klímavédelmi csomag a közösségi energiapolitika három központi célkitűzésére, nevezetesen a fenntarthatóságra, a versenyképességre és az ellátás biztonságára irányuló, előrettekintő szakpolitikai programot határozott meg (Horánszky 2004). Az Európa 2020 program megvalósítása érdekében az EU elkötelezte magát az Energia 2020 stratégia létrehozása, az úgynevezett „20-20-20” kezdeményezés mellett. Ebben vállalta, hogy 2020-ig az üvegházhatást okozó gázok kibocsátását 20%-kal csökkenti az 1990-es szinthez képest, a végső energiafelhasználáson belül a megújuló energiaforrások részarányát 20%-ra növeli, és az energiahatékonyságot 20%-kal javítja (COM/2010/0639).

A megújuló energiaforrások minél szélesebb körű hasznosítására irányul az Európai Parlament és Tanács 2009/28/EK irányelve is (RES DIREKTÍVA), melyben megfogalmazottak szerint minden tagállamnak a korábban 2010-re vállalt célértékeket túllépve 2020-ra elérendő új célértékek kerültek meghatározásra (EREC 2008). Továbbá, minden tagállamnak létre kell hoznia egy Nemzeti Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési tervet is, mely a 2010-2020 közötti időszakra vonatkozó beavatkozásokat, prognózisokat, potenciális területeket, a különböző alternatív energiaforrások hasznosításának lehetőségeit vázolja fel, határozza meg.

A fentebbiekből látható, hogy az Európai Unió vezetése, döntéshozói elkötelezettek, hogy a felülről-lefelé ható intézkedések minél nagyobb hatékonysággal tudják elősegíteni az energiaellátás környezetileg-, és gazdaságilag is fenntartható jövőjének megvalósulását.

A törvények-irányelvek mellett a nem uniós/kormányzati, hanem külső befektetők, pénzügyi eszközök megjelenése illetve azok mennyiségének folyamatos növekedése jellemzi a XXI. század első évtizedét. 2011-től hasonlóan, mint azt a világon is lehetett tapasztalni csökkent a megújulóba fektetett pénzösszeg, ugyanis az EU-ban is érezhetővé vált (6. ábra), hogy csökkentek a napelemes beruházások fajlagos költségei, megjelenik a palagáz, mint új, könnyen hasznosítható energiaforrás, valamint megnövekedtek a rendelkezésre álló uniós támogatási források összegei is (www.ec.europa.eu/energy/en/funding-and-contracts).



6. ábra Piaci szereplőktől a megújuló energiaforrásokba fektetett pénz mennyiségének alakulása az Európai Unióban 2004-2014 között
forrás: BLOOMBERG New EnergyFinance

A 6. ábrán látható, hogy kiemelt befektetési területet jelent a napenergia és a szélenergia hasznosítás. A napenergiánál a társadalmi elfogadottság és könnyű alkalmazhatóság/hasznosíthatóság mellett, a PV rendszerek hatásfokának növekedése, a bekerülési költség csökkenése és ezáltal a megtérülési idő lerövidülése az ösztönző erő a beruházások számára, míg a szélenergiánál az ún. „off-shore” tengeri-, ill. szárazföldi szélerőmű farmok telepítése (főként Egyesült Királyság, Dánia, Spanyolország) okozza a nagy részarányt az összesített negyedéves, éves befektetési adatokból (Mills 2014, Eurostat 2014).

A fentiek ismeretében az Európai Unió energiapolitikájáról kijelenthető, hogy a XX-XXI. századi globális energiapolitikai kihívásokra megfelelően reagálva a környezetvédelmet és a klímaváltozás elleni célokat megfelelően integrálja az aktuális irányelveiben,

határozataiban. A *fenntartható gazdasági fejlődés* fogalmát a *környezetileg fenntartható gazdasági fejlődés* eszméje váltotta fel, mely megvalósítását a megújuló energiaforrások részarányának és az energiahatékonyság növelésére alapozza a társadalom minél szélesebb körű bevonásának segítségével. A megújuló hasznosításának további növekedése előtt azonban különböző akadályok is jelentkeznek, melyeket az EU-nak a kitűzött célok elérése érdekében el kell hárítania. Ezek az akadályok a következők (COM) 2013 175):

- piacok széttagoaltsága
- alacsony mértékű verseny
- környezetvédelmi, biztonsági, éghajlatváltozási, technológiai külső költségek (átgyűrűzése, lépéselőnyök kialakulása)
- közigazgatási szabályozások, engedélyezési, tervezési eljárások lassú üteme
- lassú villamosenergia-infrastruktúra fejlesztés

A XXI. századra kialakul, elfogadott energiapolitikai irányelvek, szabályok valamint a megújuló energiaforrások piacára irányuló pénz mennyiség (globális szinten megközelítőleg 30 %) alapján megállapítható, hogy az EU a vezető gazdasági nagyhatalmak között az egyik legaktívabb az energiapolitikájának megreformálása terén, valamint a heterogén tagállami szerkezettel járó nehézségek ellenére is kitart a Kiotói Jegyzőkönyvben vállalt, illetve a saját maga és tagállamai részére meghatározott célértékek elérése mellett.

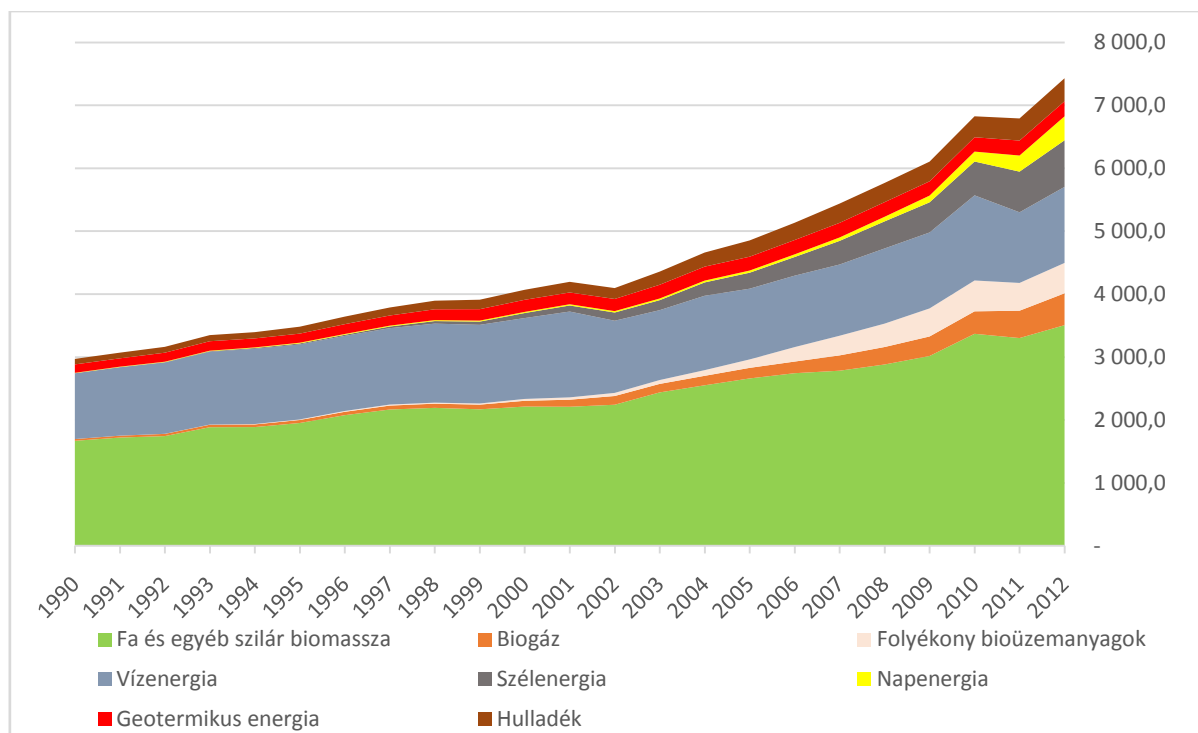
2.3. Megújuló energiaforrások és a napenergia használata az EU-ban

Az előző alfejezetben bemutatott EU-s energiapolitikai szabályozásoknak köszönhetően az 1990-2010-es időszakot vizsgálva a megújuló energiaforrások hasznosítása folyamatosan növekedett, azonban a szokásostól enyhébb teleknek, melegebb-szárazabb nyaraknak és a 2008-tól kibontakozó gazdasági válságnak tulajdoníthatóan 2011-12-ben ez a növekedés megtorpant. Az, hogy a végső felhasználáson belül a megújuló energiaforrások részaránya tovább növekedett a fosszilis energiahordozók fogyasztásának még nagyobb arányú csökkenési rátájából fakad, így 2012-re az EU-n belül a megújuló energiaforrások hasznosításának részaránya elérte a 14,1 %-ot (EUROSTAT)(III/a melléklet).

2.3.1. Primer energiatermelés megújulókból az EU-ban

A megújuló energiaforrásokból való primer energiatermelést vizsgálva csupán két évet (2002 és 2011) találunk 1990 és 2012 között, amikor csökkent a vizsgált mutató. Ez a két csökkenő adat a vízenergia termelésének végszámításában bekövetkeztető változtatások miatt keletkezett (Sturc 2012). Az elemzés alá vont 22 éves időszak alatt a termelés mértéke az

1990-es év bázisértékhez képest másfélszeres növekedést mutat (7. ábra). Energiaforrás szerinti részletes bontásban az 7. ábra mutatja be a megújulókból való energiatermelési szerkezetet.



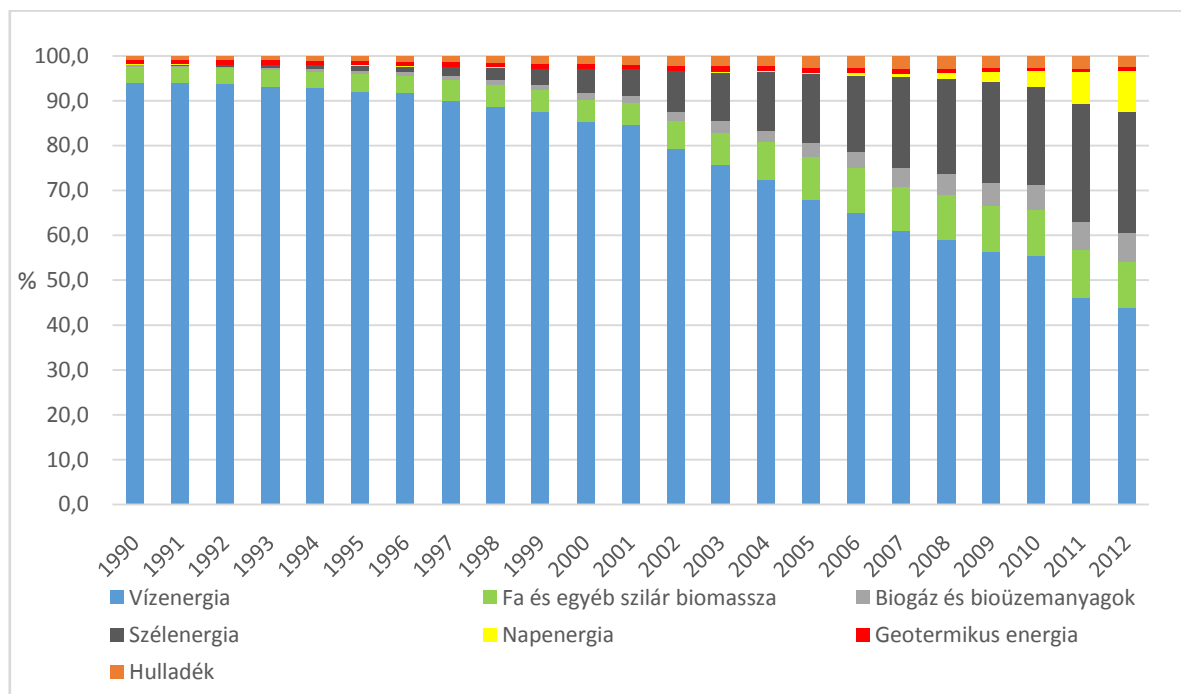
7. ábra Megújulókból való energiatermelés az EU-ban 1990-2012 között
forrás: eurostat, EREC 2008, szerkesztette Szalontai L

A globális trendeknek megfelelően a biomassa és vízenergia „hagyományosan” a legnagyobb arányban hasznosított alternatív energiaforrás volt az EU-ban a 90-es évek közepéig a megújuló-mixben, ám a korábban vázolt innovációs, technológiai, energiapolitikai változások az 1990-es évek közepétől érzékelhetően fejtették ki hatásukat, miáltal a szélenergiát, napenergiát és a bioüzemanyagokat hasznosító berendezések rohamos elterjedését hozták magukkal. Miközben a fa és egyéb szilárd biomasszából kinyert energiamennyiség megduplázódott, addig a részesedése a megújulók között a korábbi 56 %-ról 2012-re 46 %-ra csökkent. A vízenergiából megtermelt energiamennyiség 28 %-os bővülése ellenére is 17 %-ra zsugorodott a korábbi 36 %-os részesedése a többi megújuló energiaforrás nagyobb arányú hasznosításának köszönhetően. A szél-, és napenergia valamint a bioüzemanyagok részaránya jelentősen megnövekedett, a beruházást ösztönző támogatási rendszerek megjelenésének köszönhetően (EREC 2008, Bloomberg 2014). Ezen 3 energiahordozó érte el a legnagyobb bővülést, így a napenergia 5 %-kal, a szélenergia 10 %-

kal és a bioüzemanyagok pedig 13 %-kal veszik ki a részüket a megújuló energiaforrás hasznosításból.

2.3.2. Elektromos áram termelés megújulókból

Az elektromos áram termelésben az 1990-es évek első feléig a vízenergia dominanciája megkérdőjelezhetetlen volt, de ahogy a technikai-technológiai fejlődés egyre jobb hatásfokkal működő elektromos áram termelésére alkalmas eszközöket teremtett meg és a kereslet hatására kialakuló versenynek köszönhetően egyre alacsonyabb áron lehetett beruházni egy-egy berendezésre, rohamos fejlődést produkált néhány energiaforrás hasznosítása. A 8. ábrán láthatjuk a megújulókból előállított elektromos áram arányszámait energiaforrás szerint bontva.

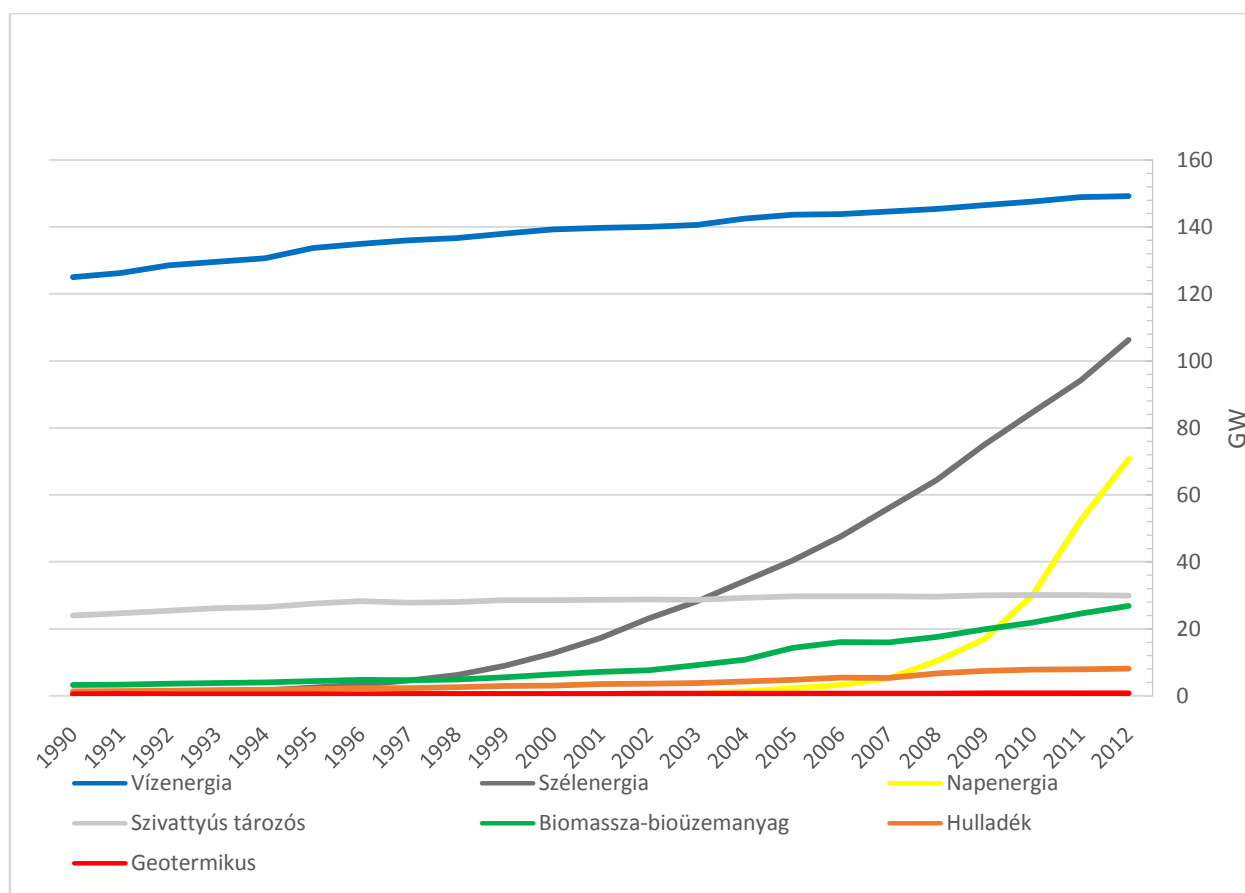


8. ábra Különböző megújuló energiaforrások részaránya a megújulókból előállított elektromos áram mennyiségéből az Európai Unióban 1990-2012 között
forrás: Eurostat és BP Statistical Yearbook 2014, szerkesztette Szalontai L

Míg az elektromos áram termeléséből 1990-ben még 94 %-kal részesedő vízenergia aránya 44 %-ra esett vissza, addig a megtermelt elektromos áram mennyisége 16 %-os bővülést mutat a vizsgált időszakra vonatkozóan. 2000-től a szélerenergia vette át a 2. legnagyobb mértékben részesedő energiaforrás szerepét, megelőzve a biomassa hasznosítást és 2012-re 27%-os részesedést ért el, míg a fa- és egyéb szilárd biomassa hasznosítása 2005 óta 10 % körül stagnál. 2000-ig a napenergiát, mint elektromos áramot előállító megújuló energiaforrást szinte alig lehetett mérni (mindösszesen megtermelve 118 GWh-t). A XXI. században viszont, a napenergia területén történő piaci robbanást jól szemlélteti, hogy az elte

12 év alatt a 10 % körüli részarányával a 3. legjelentősebb elektromos áramot termelő megújuló energiahordozóvá lépett elő (biomassza hasznosítással fej-fej mellett). Míg a biogáz- és üzemanyagok alkalmazása 6,5 %-ra növekedett az időszak végére (Eurostat, BP Statistical Yearbook 2014).

A beépített teljesítményekre vonatkozólag is robbanásszerű bővülés tapasztalható az EU-ban. Részletesebben megnézve a különböző megújuló energiaforrásokra vonatkozó adatokat a 9. ábrán láthatjuk, hogy a vízenergia, mint legnagyobb arányú termelő energiaforrás rendelkezik a legnagyobb beépített teljesítménnyel, míg a 2. és 3. helyet a szél és a napenergia vette át 2012-re. Eme két energiaforráshoz köthető a legintenzívebb installált összteljesítmény növekedés, mely a jövőben is prognosztizálható (IEA 2014, GSR 2014, EREC 2008). A többi energiaforrás közül még kiemelendő a biomassza-bioüzemanyag kapacitásbővülése, azonban ennek növekedése is jóval elmarad a szoláris energia és szélenergia mögött.



9. ábra A beépített teljesítmény változása a megújuló energiaforrások között az Európai Unióban 1990-2012 között

forrás: eurostat, BP Statistical Yearbook 2014, szerkesztette Szalontai L

Összefoglalva: az Európai Unió megújuló energiaforrások hasznosítására vonatkozó adatsorainak elemzése, valamint az energiapolitika terén tanúsított példaértékű szabályozásainak köszönhetően kijelenthető, hogy a XXI. század során az EU-s energiatermelésben, energia-mixben a legnagyobb bővülés a megújuló energiaforrások területén várható, azon belül is a trendek alapján a szél- és a napenergia, valamint a biomassza-bioüzemanyagok szektorában. A töretlen bővüléshez és a 2020-ra kitűzött célok eléréséhez viszont további változásokra van szükség. Megoldást kell találni a tagállamok energiaátvételi – energiaszabályozási problémáira, a késleltetett infrastrukturális befektetésekre és a támogatási rendszerek pozitív irányba való változtatására.

2.4. Magyarországi energiapolitika

Az 1989-90-es években, a hazánkban lejátszódó politikai-gazdasági folyamatoknak/átalakulásoknak köszönhetően a nemzet energiapiaca-energiapolitikája is megváltozott. A gazdaság legtöbb szegmensében létrejött a szabadverseny, a liberalizáció, mely lehetővé tette a különböző új technológiák, külföldi pénzek investálását egy-egy szektorba. A gazdasági átalakulás egyik következménye, hogy az energiaigényes, energiapazarló technológiákat alkalmazó ágazatok (pl.: kohászat) elvesztették súlyukat, sőt szinte el is tűntek. A fosszilis energiahordozók által okozott környezetterhelés csökkent (köszönhetően az új, kevésbé környezetszennyező technológiák alkalmazásának és nem mellékesen az új környezetvédelmi szabályoknak). Mindezek ellenére nemzetünk energiahordozó és energia importfüggősége tovább növekedett, amit az energiahatékonyság irányába tett lépések nem kellő mértékben tudták csökkenteni. Ezzel egyidejűleg drámai mértékben növekedett a kőolaj ára a nemzetközi energiapiacon, ami magával vonta a földgáz árának növekedését is: véget ért az „olcsó” energia korszaka (Stróbl 1998, Giber 2005b).

2004-es EU-s csatlakozásunkat követően, vállaltuk, hogy az EU-s irányelveket, szabályozási kereteket követve/betartva törekszünk a többi tagállammal együtt a közös energiapolitika kialakítására és a nemzeti energiapolitikát annak célkitűzéseire igazítva próbáljuk az energiaszektort, az energetikai szabályozási feltételeket itthon megreformálni, átalakítani (Szalontai 2012a).

2.4.1. Az új energiapolitika igénye

Magyarország kiszolgáltatott helyzetben van, energiatünettség magas, gazdasági mozgástere kicsi. Ezzel az energetikai berendezkedéssel, valamint természeti adottsággal az ország felkészületlenül áll a következő évtizedek energiapolitikai kihívásai előtt.

A rendszerváltás óta eltelt 22-23 év alatt Magyarország energiafüggősége tovább növekedett. Persze köszönhető ez annak a ténynek is, hogy hazánk a szénhidrogénekben nem túl gazdag országok közé tartozik (a hazai kitermelés kőolaj-szükségletünk ötödét, földgázfogyasztás hatodát fedezi), míg kőszén készleteket tekintve csupán a jelentős mennyiségű lignit az, ami szerves részét képezi hazánk energiagazdaságának (hő- és elektromos áram előállítás) (Gergely 2010, Stróbl 1998).

Az villamos-energiafüggőség csökkentése és a folyamatos energiaellátás biztosítása érdekében 2014. januárjában aláírták a paksi atomerőmű bővítéséről szóló nyilatkozatot, melyben Oroszország kormánya vállalja két új atomerőműi blokk felépítését és üzembe helyezését. A jelenlegi közel 2000 MW beépített teljesítmény 1200 MW-tal bővül, így arányosan az ország villamosenergia-igényének kielégítésében a korábbi megközelítőleg 50 %-ról 66-68%-ra növekedhet, amíg párhuzamosan üzemelnek majd a régi és az új blokkok. Az első új blokk előreláthatólag 2023-ban kezdi meg a termelést. Számos érv, ellenérv hangzott el a tervezett beruházás kapcsán, azonban ettől függetlenül készülni kell arra, hogy az elektromosáram termelés a nukleáris energián nyugszik, melyet kiszámítható megújuló energiaforrást hasznosító és egyéb rendszerek beüzemelésével tökéletesen ki lehet egészíteni (Farkas 2012).

A környezet-, természetvédelmi és klímapolitikai követelmények további szigorodása kihat az energetika működési kereteire, hiszen alapvetően meghatározza a megújuló energiaforrások hasznosítását, támogatását, beruházásait. A következő évtizedekben a környezet megóvása, a szennyezés csökkentése megkerülhetetlen kényszerré válik. Az energetikával kapcsolatos döntéseket annak tudatában kell meghozni, hogy a környezet- és természetvédelmi és klímapolitikai előírások szigorodni fognak, mint ahogy megfigyelhető volt ez 2004 óta is (NCsT 2010, NFM 2012).

Hazánk teljes jogú tagja az Európai Uniónak, így a közösség energiastratégiája alapvető jelentőségű Magyarország energiapolitikájának kialakításakor. Az EU irányelvei, és egyéb jogszabályi előírásai szerint a liberalizált nemzeti piacokból fokozatosan létrejön egy szabad versenyen alapuló, az egész Unióra kiterjedő integrált energiapiac. Ezen a piacon - a magyar gazdaság szempontjából eredményesen - részt venni akkor tudunk, ha mind nemzeti, mind regionális szinten hatékony versenypiaci működéssel készülünk. Ez nagymértékben meghatározza a magyar energiapolitika célkitűzéseit és eszközeit.

A jelenlegi magyar energiapolitika a 40/2008. (IV. 17.) OGY határozat alapján került kijelölésre és a 2007-2020 közötti energiatermelésre/fogyasztásra fókuszál a folyamatos energiaellátás biztosítása, versenyképesség és fenntarthatóság 3-as keretén belül. Magyar

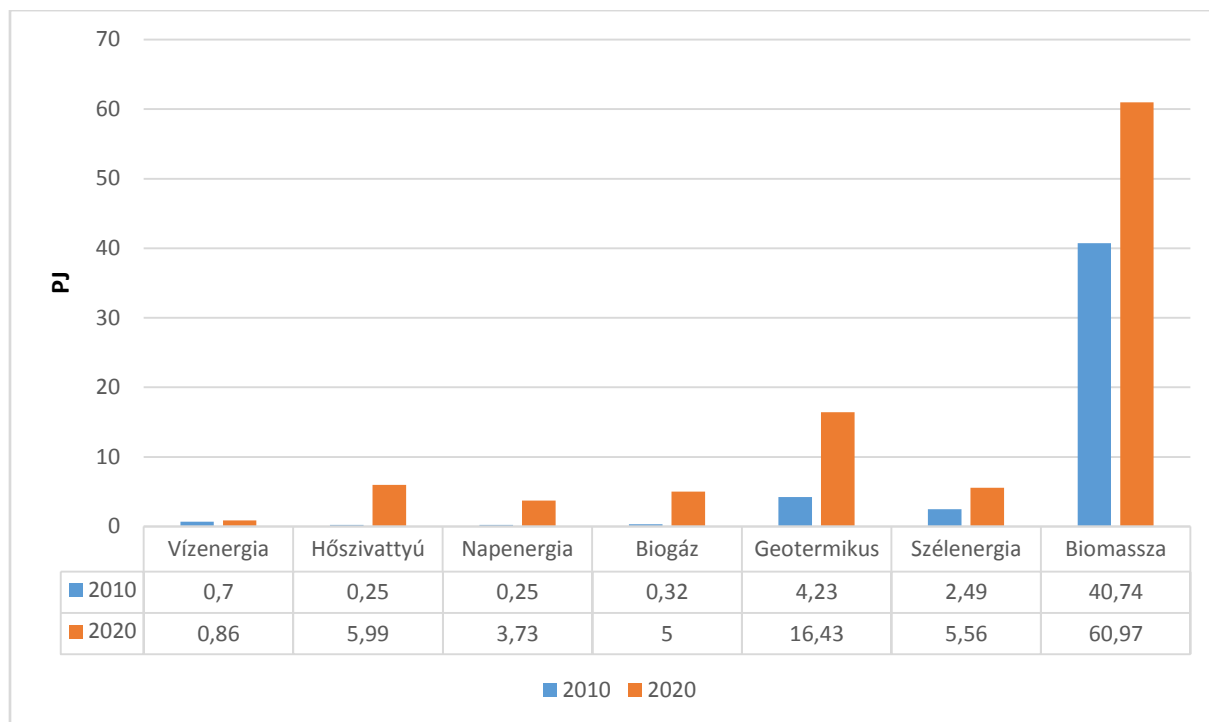
érdek, hogy a folyamatos és biztonságos energiaellátást, a környezetés természetvédelmi követelményeket, a megújuló energiaforrások hasznosítására és az energiahatékonyság javítására vonatkozó célokat a társadalmi hasznosság és a hatékonyság követelményét szem előtt tartva a legkisebb költséggel valósítsuk meg. Miközben a nemzeti preferenciák figyelembevételével megteremtjük és erősítjük szuverenitásunkat, ezalatt megtaláljuk a közös hangot az Európai Unió energiapolitikai kezdeményezéseivel is. Magyarország érdekében áll, hogy az energetika területén erősödjön az Európai Unió integrációja. Ez magában foglalja egy európai közösségi energiapolitika kialakítását, és ennek közösségi jogi és egyéb eszközökkel való végrehajtását. A magyar érdekeket az integráció folyamatában az Európai Unió által elfogadott elvek és eszközök figyelembevételével lehet érvényesíteni. Az Unió elveket érvényesítő szabályok megalkotása, vagy módosítása során ezért ebben a munkában Magyarország megfelelő szintű és színvonalú közreműködése szükséges minden fórumon, különös tekintettel a tanácsi formációk munkájában való részvételre, az Európai Bizottsággal, valamint az Európai Parlamenttel, illetve a magyar EP képviselőkkel való együttműködésre (Jánosi 2008., NCsT 2010).

Számos stratégia illetve akcióterv készült abból a célból, hogy a 2020-ig tartó időszakra lehetséges forgatókönyveket alkossanak, illetve kijelöljék a Magyarország területének, természeti és társadalmi valamint infrastrukturális viszonyainak leginkább megfelelő irányvonalakat. Ilyen terv, stratégia a Gazdasági és Közlekedésügyi Minisztérium által 2007-ben kiadott „Magyarország megújuló energiaforrás-felhasználás növelésének stratégiája”, majd ezt követte 2008-ban a „Stratégia a magyarországi megújuló energiaforrások felhasználásának növelésére 2008-2020” című dokumentum, mely nem sokban tér el az egy évvel korábban kiadott dokumentumtól (NFM 2012).

Az európai uniós energiapolitikai elemzésnél megemlítsre került a megújuló energiaforrásokhoz kötődő 2009/28/EK irányelv, melynél a „20-20-20”-as stratégia meghirdetésével Magyarország 2020-ra a teljes energiafelhasználáson belül a megújuló energia részarányának 13%-ra történő növelését tűzte ki célul.

A nemzeti energiapolitika két fontos meghatározó dokumentuma lett (mely megszabja a következő évtizedre a szükséges irányvonalat), a „Magyarország Nemzeti Energhatékonsági Terve” (2010), és a Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terve 2010-2020 (NCsT) (2012), melyek a korábbiakban is említett EU-s RED irányelv szerint jelölik ki az energiasztratégia útvonalát, sőt a 13 %-os kötelezettségvállalást túlszárnyalva 2020-ra a 14,65 %-os megújuló részarányt célozzák meg a végső energiafelhasználáson belül. A 10. ábra a cselekvési tervben vállalt megújulók szerinti célértékeket mutatja be (NFM 2012, NCsT 2010).

Fontos része az NCsT-nek a „Tájékoztatásra vonatkozó rendelkezések” alfejezet, mely a 2009/28/EK irányelv 14. cikkének 1.,2. és 4. bekezdése alapján tartalmazza a tájékoztatásra vonatkozó új intézkedésterveket is, melyek közvetlen és közvetett módon is hozzájárulnak a zöldgazdaság fejlődéséhez a megújuló részarány növelésével párhuzamosan elérve a dokumentumban vállalt megújuló részarányt.



10. ábra Magyarországon hasznosított megújuló energiameennyiség és a tervezett célértékek 2010-2020

forrás: NCsT 2012, szerkesztette Szalontai L

3 kiépítendő útvonalat jelöl meg a cselekvési terv arra vonatkozólag, hogy hogyan segíthető a társadalmi, döntéshozói zöld szemléletformálás, hogyan ösztönözhető a megújulók alkalmazása, hogyan láthatóak el a beruházók naprakész információkkal a berendezések, rendszerek nettó hasznáról, költségéről, energiahatékonyságáról (Giber 2005, NCsT 2010, NFM 2012):

- I. *Energetikai szaktanácsadói hálózat kiépítése*
- II. *Szakmai adatbázison alapuló online platform*
- III. *Szemléletformáló és tudatosító kampányok levezetése*

Ezen dokumentumokra és a 20-20-20 programra alapozva 2012-ben adta ki a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium a „Nemzeti Energiastratégia 2030” című kiadványát, mely, mint a címéből is látható 2020-on túlmutatva 2030-ig próbál útmutatást adni egy gazdaságilag és környezetileg fenntartható, versenyképes energiastratégia megvalósításához. Az atomenergiára vonatkozólag számoltak az új erőmű blokkok építésével, a régiók pótlása végett, míg a zöld energia részarányának növelése

megkérdőjelezhetetlen volt a szakértők számára. A fentiekben említett 3 cselekvési tervstratégiára alapozva 2013-ban jelent meg különböző társadalmi csoportok, gazdasági-politikai-társadalmi szereplők számára „Az Energia- és klímatudatossági Szemléletformálási Cselekvési Terv”, mely a pazarló energiafogyasztás visszaszorítását célozza meg a fogyasztók energiatudatosságának növelésével (NCsT 2010, EKSZCsT 2013).

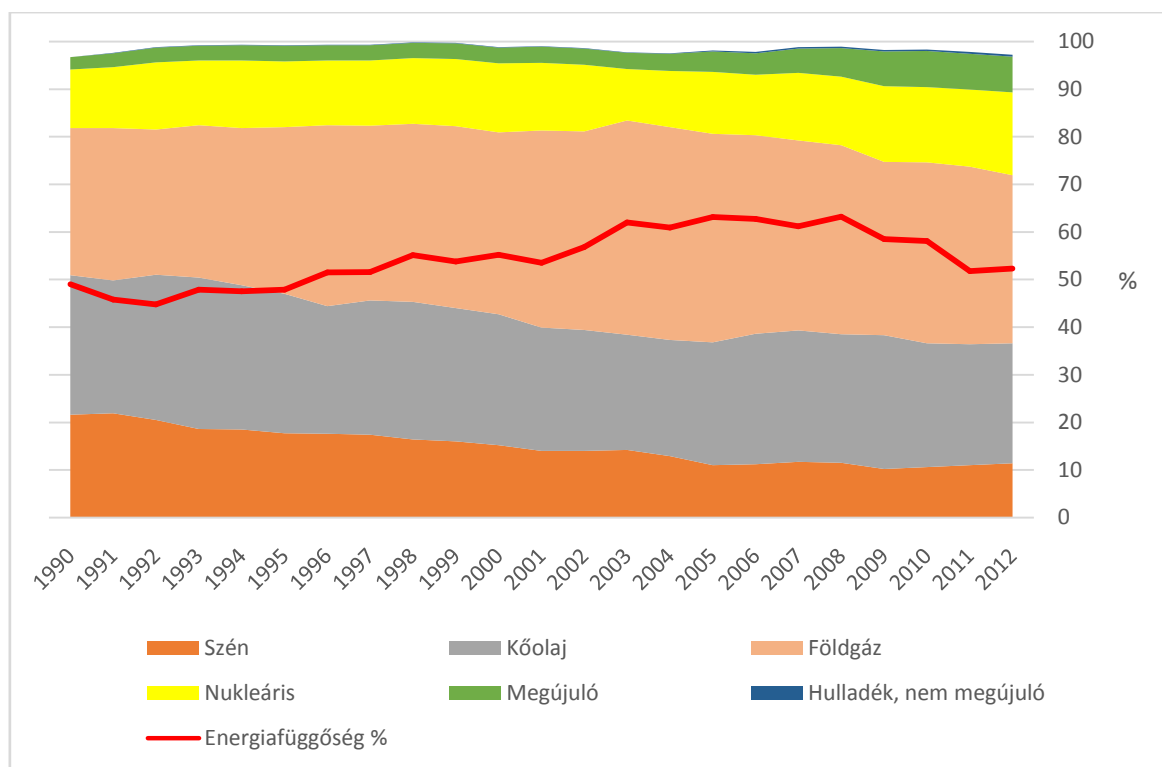
A magyarországi meghatározó energetikai intézkedésekből, törvényekből, irányelvekből és stratégiákból jól kitűnik, hogy hazánknak, mint az Európai Unió tagjának, kötelező elemeket kell beleépítenie a nemzeti energiastratégiájába. Ezek a kötelező elemek kiemelten a megújuló energiaforrások részarányának növelésére, energiahatékonyságra illetve a környezetbarát technológiák alkalmazására vonatkoznak és ezek hatására a szabad energiapiacra megjelenő befektetőket az EU és hazánk által is támogatott technológiák installálására ösztönzik. Noha a fosszilis és a nukleáris alapú energiatermelés dominanciájában nem várható számottevő változás a közeljövőben, azonban a világ és EU-s trendeket követve a megújulóakra alapozott energiatermelés részarányának fokozatos emelkedésével kell számolnunk (az EU-s irányelveknek/RED célértékeknek illetve a megújulókat hasznosító berendezések bekerülési költségének csökkenése miatt (Sebestyén 2013)).

2.4.3. Megújuló energiaforrások hasznosítása, helyzete Magyarországon

A XXI. századra kialakult globális energiapolitikai felfogásnak, irányvonalaknak következtében minden nemzetnek, így Magyarországnak is egy fenntartható energetikai jövőképre van szüksége. A különböző Cselekvési Tervek/EU-s irányelvek megszületésével az energiatakarékosság, energiahatékonyság, a megújuló energiaforrások fokozottabb igénybevétele és az ország területén megtalálható erőforrások még nagyobb hatékonyságú felhasználása/kiaknázása lett a cél, csökkentve ezáltal az importfüggőséget, a környezetre gyakorolt káros hatásokat, növelve az energiahatékonyságot (NFM 2012).

Magyarország energia-mixét a fosszilis energiaforrásokra illetve a nukleáris energiára alapozott energiatermelés jellemzi, melyet kiegészítenek a vegyes tüzelésű erőművek (biomassza-fosszilis tüzelés), valamint a megújuló energiaforrások. A 11. ábra szemlélteti a XX. század második felétől alakuló, változó energiaforrások szerinti primerenergiatermelését valamint az energia importfüggőséget (Giber 2005b, Hubai 2008). Az ábrán megmutatkozik, hogy mivel Magyarország importból kényszerül megoldani a szénhidrogén tüzelésű erőműveinek ellátását, így az importfüggősége az országnak a XXI. században is 50 % fölött van (2012-ben 52,3 %). A megújulók térnyerésével, az energiahatékonyság

növelésével azonban 2010-től csökkenés következett be az energiafüggőség adatsorában, melyet tovább csökkenthet a 2023-ban beüzemelésre kerülő paksi atomerőmű új blokkjának termelése, amely noha tovább növeli az energiatermeléshez szükséges fűtőelemek beszerzésével országunk közvetett energiafüggőségét, mindemellett növeli a villamosenergiaellátás biztonságát is (Jánosi 2008, Farkas 2014).

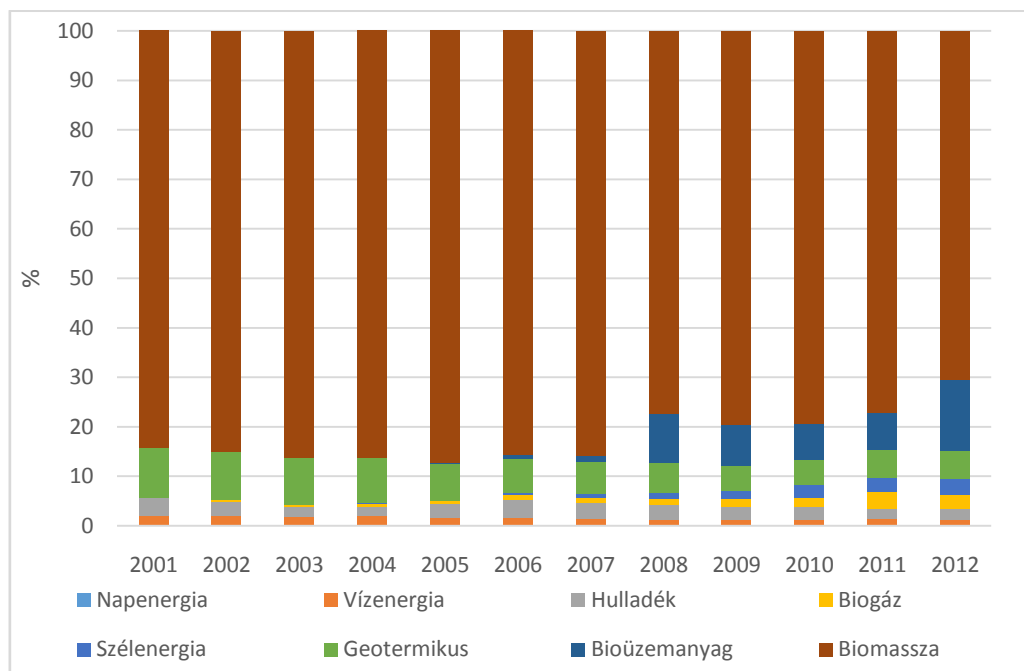


11. ábra Primer energiatermelés és energiafüggőség alakulása Magyarországon 1990-2012
forrás: eurostat, NCsT, KSH, szerkesztette Szalontai L

2012-re a megújulók részaránya tovább növekedett és megközelítőleg 8 %-os részesedéssel bír az végső energiafogyasztás mérlegében, míg a széntüzelésű erőművek aránya 11 %-ra zsugorodott, valamint a kőolaj és földgáz szerepe is ugyan csökkent némiképp viszont a 25, ill. 35 %-os részesedés így is markáns a hazai energia-mix tekintetében. Az atomenergia szerepe a primer-energiatermelésben 17 %-os részesedésre tett szert 2012-ig.

A megújulókat részletesebben vizsgálva megállapítható, hogy a zöldenergia terén hazánkban is a 2000-es évektől tapasztalható fellendülés, mely a 2004-es EU csatlakozásunk valamint az olcsóbbá váló technológiák elterjedésének tulajdoníthatóan (12. ábra). Az adatsort elemezve megállapítható, hogy a megújuló energiaforrások közül a biomassza részesedik a legnagyobb arányban az energiatermelésből, melynek magyarázata, hogy a biomassza elégetése tradicionális energiatermelési módszer volt Magyarországon is. A XXI. századra a szimpla elégetéses technológia kiegészült a biogáz, bioüzemanyagok előállításával, valamint a széntüzelésű erőművek, vegyes tüzelésű erőművé alakításával. Ennek köszönhetően a

biomasszához köthető részarány (összevontan a biogáz, bioüzemanyagokkal, hulladék elégetésével) megközelítőleg 90 %-ot tesz ki az alternatív energiaforrásokból (Gyulai 2007, Büki 2007, Tóth et al. 2012).



12. ábra Megújuló energiaforrások arányainak változása Magyarországon 2001 -2012 között

forrás: (Eurostat, KSH), szerkesztette Szalontai L

Az elmúlt évtizedben a szélenergia közel 4 %-os részesedést vívott ki magának a megújulókon belül. Köszönhető volt ez annak, hogy a 2000-es évektől az ország nyugati (szelesebb) területén, a Dévényi-kapun betörő szél energiájára alapozva elkezdtek nagyobb szélerőmű parkokat telepíteni. Azonban itt is megjelentek a szabályozási, a hálózatra táplálási problémák, melynek köszönhetően az elmúlt években nem adtak ki több engedélyt szélerőmű telepítésre (Sebestyén 2013, NCsT 2010).

A hazánkban megtalálható és rendelkezésre álló megújuló energiaforrások közül 2012-ig a napenergia képviselte a legkisebb részesedést, noha elméletben és gyakorlatban hasznosítható potenciálja szerint nem erre a pozícióra lenne hivatott, ugyanis a Magyarországtól kedvezőtlenebb természetföldrajzi, besugárzási viszonyokkal rendelkező Ausztria és Németország ennek ellenére a legnagyobb beépített tetőfelület mennyiséggel bír az EU-n belül (Gööz 2005, Giber 2005b, EREC 2008, Szalontai 2012, NCsT 2010, JRC). Az elmaradás oka tehát nem a természetföldrajzi adottságtól és nem is az alkalmazható technológia költségességétől függ, hanem a támogatási rendszer és az átvételi ár körül kialakult bizonytalanságra (KÁT-METÁR), a beruházók (lakosság, ipar) információhiányára

és a telepítéshez szükséges anyagi források hiányára vezethető vissza (Hubai 2008, Sebestyén 2013).

A vízenergia tekintetében köztudott, hogy Magyarország medence jellegéből kifolyólag alacsony hasznosítható vízenergia potenciállal bír. A már korábban megépült nagyobb tiszai erőművek, valamint a kisebb, Rábán, Hernádon található erőművek felújításával és üzemeltetésével hasznosítjuk a víz energiáját. A törpe- és mikrovíz erőműveknek nem várható, ugyanis a Bős-Nagymarosi vízlépcső kiépítése körül kirobbant politikai-társadalmi-környezetvédelmi viták maradandó nyomot hagytak a társadalomban, így kevésbé vonzó ezen energiaforrás hasznosítása (Gööz 2005, Hubai 2008).

A geotermikus energia hasznosítása nem ismeretlen Magyarország számára. A balneológián kívül a mezőgazdaság volt a legnagyobb földhő hasznosító, mely szektor már a XX. század második felében is alkalmazta a geotermikus energiát üvegházak, szárítók hőigényének kielégítésére. Magyarországon a kivételes adottságú helyektől eltekintve elsősorban hő kinyerésre tudunk használni hőszivattyúk által. Nagyobb állami támogatással, kifejezetten hőszivattyúk telepítését támogató rendszer továbbfejlesztésére lenne szükség, hogy nagyobb arányú földhő hasznosítást lehessen tapasztalni (NCsT 2010). Kiemelt jelentőséggel bírnak a nagy, városi távhőellátás rásegítésére, kiváltására megvalósított geotermikus projektek, mint például a 2013-ban a Pannergy Nyrt és a Miskolci Hőszolgáltató gondozásában kivitelezett geotermikus hőszállító rendszer, amelynek segítségével Miskolc két távhő körzet hőigényének 65-70 %-át tudják fedezni. További ígéretes beruházások zajlanak több nagyvárosban is (Győr, Szeged, Hódmezővásárhely) (www.pannergy.com).

Összefoglalva Magyarország megújuló energiaforrás hasznosítását elmondható, hogy a XXI. században a biomasza vezető szerepét megtartja, azonban a nemzetközi trendeknek megfelelően a szél-, nap- és geotermikus energia hasznosítható potenciáljában rejlő lehetőségek további bővülést rejtnek magukban (Giber 2005b, Tóth et al. 2012, Tóth 2013). Kedvez ezen megújuló energiaforrások hasznosításának az, hogy a 2012-ben kiadott Magyarország NCsT-ben foglaltak a kis- és közepes méretű erőművek, energiatermelő rendszerek telepítését, kiépítését részesíti előnyben, ugyanis ezen, lokális jelentőséggel bíró rendszerek jobban igazíthatóak a helyi természeti-társadalmi adottságokhoz, jobban hozzájárulnak a helyi gazdaság/zöld gazdaság fejlődéséhez is. Kiemelik továbbá, hogy 2020-ig vízenergiában 16-17 MW, szélenergia területén összesen 750 MW-nyi beépített villamos-energia teljesítménnyel kalkulál, míg a napenergiával, geotermikus energiával kapcsolatosan azonban megjegyzi a dokumentum, hogy a hasznosítható potenciál hatalmas, melyet gyakorlatorientált kutatás-fejlesztési munkák sikeres lefolytatását követően versenyképes rendszerek telepítését hozhatja

magával (NCsT 2010). Érdeemes tehát hazánk területén, települési környezetben is megvizsgálni az egyes megújuló energiaforrások hasznosítható potenciálját, kiemelt tekintettel a napenergiára, mely a legnagyobb potenciálú, a lakosság számára a legkönnyebben hasznosítható alternatív energiaforrás.

3. A napenergia hasznosítási lehetőségei energiatermelésre

Földünkön az atmoszféra, a szárazföld és az óceánok évente átlagosan 3,85 YJ (kvadrillió J, 10^{24} J) Napból származó energiát nyelnek el. Ezen energiamennyiség messze meghaladja az emberiség éves energiaszükségletét. A napenergia szerepet játszik meteorológiai, biológiai, geomorfológiai folyamatokban, valamint a társadalmak számára is fontos energiaforrást képez az ősidők óta (Németh 2004). Ennek az energiamennyiségnek köszönhetően a napenergia tulajdonképpen forrása majdnem minden megújuló energiának (és a fossziliziseknek is), továbbá ez az energia az alapja a víz körforgásának ezáltal a vízenergiának, a hullám energiának, az atmoszféra hőmérsékletét befolyásolja így a szélenergia kialakulására is hatással van. A növények (biomassza) életében a fotoszintézis folyamatában hárul fontos szerep a Nap energiájára, közvetett módon pedig az állatok és az emberiség számára válik nélkülözhetetlen energiaforrássá a Nap (III/b melléklet).

3.1. A napenergia fizikája

Ahhoz, hogy az ember számára különböző technológiával hasznosítható napenergia mennyiségét ki tudjuk számítani meg kell ismernünk a Napból származó napsugarat, amely a napenergiát „szállítja”.

A Nap centrális mag részében lejátszódó magfúziós folyamatok (hidrogén alakul át héliummá) során keletkező energiát nevezzük napenergiának, mely különböző átalakulások során a Nap felszínéről kibocsátott elektromágneses sugárzással (napsugarakkal) érkezik a Földre (Gábris et al. 1988). A Nap széles spektrumú hőt és fényt nyújtó energiaforrás. A földfelszínre érő elektromágneses sugárzás döntően hullámtermészetű, hullámhosszával (λ) és intenzitásával jellemezzük. A Napból érkező elektromágneses sugárzás hullámhossz tartománya 10^{-9} – 10^9 μm között található, melynek 7 % az ultraibolya és röntgen tartományban (300-400 nm), körülbelül 46 % a látható (400-760 nm), megmaradó 47 % a közeli infravörös és az infravörös (760-1400 nm és a fölötti) hullámhosszak tartományába esik. A látható és közeli ultraibolya része a sugárzásnak a nagy energiátartalmánál fogva fotokémiai, az infravörös sáv hőforrásként történő felhasználásra alkalmazható (Péczy 1998, Hunyár et al. 2001).

A közepes Nap-Föld távolság esetén a légkör külső határán a sugárzásra merőleges egységnyi keresztmetszeten időegység alatt áthaladt energiamennyiség meghatározására bevezették a napállandót, azaz szoláris konstanst, melynek értéke 1361 W/m^2 . A földfelszínre érő besugárzás energiája jelentősen csökken, míg eléri a litoszférát. Az atmoszféráról és felszínről a sugárzás energiájának körülbelül 30 %-a visszaverődik, míg további 19-20 % nyelődik el az atmoszférában megtalálható légköri elemeken. A sugárzás megközelítőleg 50 %-a nyelődik csak el a földfelszínen, tengereken, óceánokon (Gábris et al. 1988), így átlagosan megközelítőleg már csak $600\text{-}925 \text{ W/m}^2$ lesz ez az érték függően a napsugárzás beesési szögétől és a légköri besugárzást módosító tényezőktől (Kiehl et al. 1997, Bührke et al 2007).

Napenergiából való energiatermelés szempontjából egy adott földrajzi helyen a beeső sugárzás potenciált globálisan két paraméterrel jellemezhetünk:

1. Globálsugárzás

A Nap sugárzási teljesítményének mérésére használatos fizikai jellemző, mely alatt egy 1 m^2 nagyságú felületre időegység alatt érkező összes sugárzási energia mennyiségét értjük. Mértékegysége J/s.m^2 , W/m^2 (Gábris et al 1988).

A globálsugárzás (bejövő rövidhullámú sugárzás) a vízszintes síkra a felső féltérből érkező összes rövidhullámú sugárzás. A felszínen a $0,286$ és $4 \text{ }\mu\text{m}$ hullámhosszúságú sugárzást jelenti. A direkt és a diffúz sugárzások összege. A direkt sugárzás alatt a napsugarak közvetlen felszínre jutásából származó energiát értjük, míg a diffúz, azaz szórt sugárzásnak pedig minden egyéb sugárzást, mely légköri tényezőkön, tereptárgyakon szóródva érik el a felszínre (Gábris et al 1988, Péczely 1979).

2. Napfénytartam – napsütéses órák száma

A felületre érkező direkt sugárzás időtartama, azaz a napsütéses órák száma a napkelte és napnyugta közt megegyező idővel, melyet a borultság, a domborzatból és egyéb tereptárgyakból fakadó árnyékolás mértéke befolyásol.

Elmondható tehát, hogy a napenergia hasznosítás lehetőségeit akár elektromos áram, akár hőenergia termelés céljára az adott koordinátára, felületre vonatkozó besugárzás mennyisége határozza meg. A hasznosítható napenergia potenciál megállapításához, ebből fakadóan a napelemes, napkollektoros rendszerek tervezéséhez elengedhetetlen a helyi globálsugárzás, napfénytartam adatainak pontos ismerete (Szalontai 2014a).

Napsugárzás a légkörben

Míg napelemes, napkollektoros energiatermelés szempontjából a légköri besugárzást módosító tényezők csoportjába a napsugarak útjának hossza a légkörön keresztül, a sugárzásátbocsátó képesség (légköri szennyező anyagok, vízgőztartalom), valamint a borultság mértéke tartozik. Gyakorlatban a legpontosabban a Beer-Bouguer-Lambert-összefüggéssel adhatjuk meg, mely magába foglalja a Rayleigh-szórást, aeroszol-szórást, abszorpciós optikai mélységet, az optikai légtömeget, valamint a napmagasságot (Nagy 2009). Beer-Bouguer-Lambert összefüggés:

$$I_{\lambda} = I_{\lambda\infty} e^{-m(\sigma_{SR} + \sigma_{SA} + \sigma_A)}$$

ahol I_{λ} : spektrális intenzitás a felszínen

$I_{\lambda\infty}$: spektrális intenzitás a légkör külső határán

m: optikai légtömeg $\sim 1/\sin h$

σ_{SR} : Rayleigh-szórás optikai mélysége

σ_{SA} : az aeroszol-szórás optikai mélysége

σ_A : abszorpciós optikai mélység

A légkörben található különböző felhőtípusok tovább gyengíthetik a besugárzás intenzitását fajtától, fizikai jellemzőktől függően, így összességében elmondható, hogy ezen tényezők térben és időben jelentősen változnak, számításuk – parametrizációjuk mérésekkel, közelítéssel, különböző módszerekkel lehetséges, átlagértékük megadása hosszú idősoros sugárzásmérések adatsoraira alapozva lehetséges (Péczy 1987, Nagy 2009).

Besugárzás a Föld felszínén

Az előzőekben bemutatott légköri besugárzást módosító tényezőkön kívül még számos más kozmikus és földrajzi tényező is befolyásolja a Föld felszínére érkező és hasznosítható sugárzás mennyiségét, azonban csillagászati ismereteinknek köszönhetően a sugárzás mennyisége matematikai számításokkal könnyen megadható (egy légkör nélküli Föld feltételezése esetén). A felszínre érkező sugárzás mennyiségét befolyásoló tényező a Nap-Föld egymáshoz viszonyított helyzete, a napsugarak beesési szöge, az atmoszféra külső rétegére érkező sugárzás mennyisége, a tengerszint feletti magasság és a domborzat.

A Nap égi helyzete és a Föld koordinátái közötti trigonometriai összefüggések meghatározásához olyan Nap-Föld modellt vesznek alapul, ahol a Föld van a középpontban

(mintha a Nap keringene a Föld körül). Mivel a földfelszínre jutó sugárzásmennyiség elsősorban a Nap és a Föld egymáshoz viszonyított geometriai helyzetétől, a napsugarak beesési szögétől és a napsütéses órák számától függ, ezért ezek meghatározásához az alábbi földi és napgeometriai paraméterek szükségesek (Péczy 1979, Barótfi 2000, Németh 2004, Bartók-Csákberényi 2006, Nagy 2009, Molnár 2015)(a napgeometriai fogalmakhoz tartozó magyarázó ábrákat az IV. melléklet tartalmazza):

- Földrajzi szélesség (φ): Adott földrajzi hely Egyenlítőtől való „szögtávolsága”, értéke $-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ lehet, mely az északi félgömb esetén pozitív értéket vesz fel.
- Deklináció (δ): a Napnak az égi egyenlítőtől mért szögtávolsága. Köszönhetően annak, hogy az égi egyenlítő nem esik a Föld keringési síkjába (Ekliptika), mivel a Föld forgástengelye nem merőleges az Ekliptikára. Értéke $-23,5^\circ \leq \delta \leq 23,5^\circ$ között változik.

$$\delta = 23,45 \sin \{360/365 (D + 284)\}$$

ahol: D – az év napjának sorszáma (1–365) a Julián naptár szerint (január 1-től december 31-ig, szökőévben február 29-e ugyanolyan sorszámot kap, mint február 28-a).

- Óraszög (ω): a Nap 24 óra alatt megtett útját írja le a Föld körül, azaz a Nap szögtávolságakeletre vagy nyugatra a lokális délkörtől, a Föld tengely körüli forgásának köszönhetően. Az óraszög definíciója szerint déli 12 órakor 0° , és óránként 15° -ot változik ($360^\circ/24$ h). Értéke délelőtt negatív, délután pozitív. A napkelte óraszöge (ω_s), feltételezve, hogy napkeltekor a zenitszög $q_z = 90^\circ$, az alábbi módon számítható:

$$\cos \omega_s = -\sin \varphi \sin \delta / \cos \varphi \cos \delta, \text{ vagy } \omega_s = \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta),$$

$$\text{vagy } \omega_s = 15 \cdot (H - 12),$$

ahol H – a vizsgált óra

φ – a földrajzi szélesség

δ – a Deklanáció

- Zenitszög (θ_z): a függőleges és a Naphoz húzott egyenes által bezárt szög. Adott időben a megfigyelőnek a Földön meghatározható a pozíciója. Az álláspontba állított

függőleges (horizont normálisa) éggömbbel való dőféspontját nevezzük a megfigyelő zenitjének. A zenitszög (θ_z) az a szög, amely a lokális zenit, valamint a Nap és a megfigyelő által meghatározott egyenes egymással bezár. Ez a szög 0° és 90° között változhat.

- Napmagasság szöge (α_s): a Napnak a horizont feletti magassága, azaz a vízszintes és a Naphoz húzott egyenes által bezárt szög. Folyamatosan változik, értéke 0° és 90° között van.

$$\sin \alpha = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega$$

ahol: φ -a földrajzi szélesség

δ - deklanációs szög

ω - óraszög

Az előző összefüggésből meghatározható a nappalok hossza (N_d) a napkeltétől napnyugtáig tartó időszakot jelölő mérő szám. Ezt a két időpontot a napmagasság szöge/beesési szögből lehet meghatározni, napkeltekor/napnyugtakor ugyanis ez az érték 0° (Németh 2004, Barótfi 2009).

$\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega = 0$, amiből $\cos \omega = -(\sin \varphi \cdot \sin \delta) / (\cos \varphi \cdot \cos \delta) = -\tan \varphi \cdot \tan \delta$; mivel az ω a délvonalra szimmetrikus (ugyanannyi idő telik el napkeltétől delelésig, mint deleléstől napnyugtáig) ezért a napkelte időpontja

$\omega_{nk} = 180^\circ - \omega$, a napnyugta időpontja $\omega_{ny} = 180 + \omega$. Mivel a N_d (nappal hossza) a napnyugta és napkelte közt eltelt időszakra vonatkozik így $N_d = \omega_2 - \omega_1$, ebből következően $N_d = 2\omega$ lesz (szögfok egységben). Ezen szögfok értékeket időre való átváltásnál figyelembe kell venni, hogy $360^\circ = 24$ óra.

- Nap azimutszöge (γ_s): a napsugarak, valamint a földi É-D irány által bezárt szög, az északi féltekén keleten át (óramutató járásával megegyező irányba) mérve $0-360^\circ$.

$$\cos \gamma_s = (\sin \varphi \cdot \sin \alpha - \sin \delta) / \cos \varphi \cdot \cos \alpha$$

ahol: φ – földrajzi szélesség

α – napmagasság

δ – deklanációs szög

Az előzőekben bemutatott, jellemzett napgeometriai paraméterek kiszámításával, valamint a napállandó ismeretében meg lehet határozni adott koordinátára a vízszintes felületére eső energiaintenzitását (I) napi illetve akár éves összegét (légköri sugárzást módosító tényezők figyelembevételével is akár)(Barótfi 2000, Bartók – Csákberényi-Nagy 2006.)

$$I = I_0 q^{Tz} \sin h$$

ahol: I_0 – napállandó

q – a tiszta légkör átbecsátási együtthatója

T – a Linké – féle homályossági tényező

h - a napmagasság

A sugárzást elnyelő felület dőlésszöge, iránya azonban jelentősen befolyásolja a napsugárzás felfogó felületre érkező, hasznosítható energiamennyiséget. Amennyiben a Nap helyzetét nem egy vízszintes felülethez viszonyítjuk, hanem egy β hajlásszögű lejtőhöz, amelynek normálisát a horizont síkjára vetítve, a vetület a déli iránnyal azimut szöget zár be, akkor a lejtő normálisát és a Nap iránya közötti θ_z szöget (a Nap beesési szögét) az alábbi képlettel határozzuk meg (Barótfi 2000, Nagy 2009):

$$\cos \theta_z = \cos h_i \cdot \sin h + \sin h_i \cdot \cos h \cdot \cos(\omega - a_i)$$

ahol: h_i – a lejtő dőlésszöge

a_i – a lejtő azimutszöge

ω – az óraszög

Tetszőleges dőlésszögű felületre eső sugárzási intenzitását az alábbi módon kaphatjuk meg (Bartók-Csákberényi-Nagy 2006, Nagy 2009):

$$I_L = I [\cos \beta \sin h + \sin \beta \cos h \cos(\alpha_N - \alpha_L)]$$

ahol: I – merőleges síkra beeső sugárzás intenzitása

β – a lejtő hajlásszöge

h - napmagasság

α_N – lejtő normálisának azimutja

α_L - a Nap azimutja

A fentebbi képletek segítségével a horizontális koordináta-rendszerben a Nap mindenkorai pozícióját leíró polárszögeket ki tudjuk számolni, mely egy adott irányú és

dőlésszögű felületre eső hasznosítható napenergia mennyiségének, a nappalok hosszának kiszámításához szükségesek (Barótfi 2000, Nagy 2009). A domborzati tényezők, légköri tényezők paraméterével figyelembevett felszínre elméletileg érkező sugárzás mennyiségét meghatározhatóvá válik a ténylegesen felszínre érkező besugárzás mennyisége, melyet mért adatokkal tudunk validálni.

3.2. A napenergia hasznosítása

A földfelszín átlagosan $600-925 \text{ W/m}^2$ besugárzás éri, amely bőven elegendő arra, hogy az emberiség történelme során az adott korok rendelkezésre álló technológiai szintjén változó hatásfokkal, de hasznosítsa a napenergiát. A napenergiából közvetlenül hő- és villamos energiát tudunk előállítani. A műszaki berendezések alapján fototermikus és fotovillamos rendszereket különböztetünk meg. Továbbá a fototermikus rendszer *aktív* és *passzív* hasznosítási módra bontható szét (Bobok et al 2005, Ferenczi 2007, EREC 2008).

A *passzív napenergia hasznosítás* elsősorban építészeti megoldásokon alapul. A közvetlen sugárzás hasznosítása, az épület hőhasznosításának optimalizálása különböző épületgépészeti, építészeti kivitelezéssel. A passzív hasznosítási módszerek energiamegtakarítás területén, valamint a légtér temperálásánál érzékeltetik hatásukat. A legkiemelkedőbbek ezek közül az alkalmazási lehetőségek közül (Bobok et al 2005, EREC 2008):

Épületek tájolása: a legnagyobb fűtési igényű szobákat, azokat a tereket, melyekben a legtöbbet tartózkodik az ember az északi féltekén a legérdemesebb D, DK irányba tájolni, valamint ezen helyiségeket „szigetelni” a többi épületrésszel.

Megfelelő méretű, színű, áteresztőképességű, beépítési síkú *nyílászárók* alkalmazása.

Falak vastagsága, anyaga, azaz az *épület tömege*, mely meghatározza az épület hőtároló kapacitását, továbbá a hőszigetelés is növekszik a megfelelő fal paraméter megválasztásával.

Üveges *naptér* alkalmazása lakótér előtereként. Az üveg felület beengedi a napfényt továbbá szigetelőként is működik az épület számára.

Továbbá alkalmazhatóak még épület mellett, alatt kialakított hőtárolók, különböző légtechnikai eszközök, automatizált szellőztető rendszerek is, melyek a napenergiát hasznosítják közvetlen, illetve közvetett módon.

A *napenergia aktív hasznosításáról* akkor beszélünk, amikor kifejezetten az erre a célra kialakított eszközzel aknázzuk ki a beérkező sugárzást, alakítjuk azt át és vagy közvetlenül, vagy pedig tárolás után használjuk fel az így nyert másodlagos energiahordozót. Az energiaátalakítás a már említett fotovillamos és fototermikus rendszerekkel történhet. Mindkét rendszernél az átalakított energia mennyisége jelentősen függ az alkalmazott technológiától (hatásfokától, működési elv), valamint a direkt és szórt sugárzás mennyiségétől, összességében a globálsugárzástól, mely az átalakító berendezés felületét éri. A napkollektorokkal hőt, míg a napelemekkel elektromos áramot tudunk előállítani a felszínre érkező sugárzásból. Az aktív hasznosítási móddal a, épületfűtés; b, használati melegvíz előállítása; c, technológiai melegvíz előállítása; d, medencevíz-fűtés; e, villamos energia előállítása lehetséges (Hunyár et al. 2001, Ferenczi 2007).

3.2.1. Termikus alkalmazás

A napenergia hasznos hővé való átalakítása régóta ismert az emberiség számára. A passzívépítészeti alkalmazásokon kívül az aktív fototermikus megoldások is folyamatosan fejlődtek az évszázadok során. *Napkollektornak* nevezzük az olyan épületgépészeti berendezést, amely a napenergiából valamilyen közvetítő közeg (levegő-gáz, folyadék) segítségével közvetlenül állít elő fűtésre, vízmelegítésre hasznosítható hőenergiát (Nagy 2009, Bobok et al 2005).

A napkollektoros rendszerek két csoportba sorolhatóak: egykörös és kétkörös. Az egykörös rendszernél a tároló nem tartalmaz hőcserélőt, így a használati melegvíz kering benne, ennek a hátránya, hogy a rendszer csak fagymentes időszakokban használható. A kétkörös rendszer esetében a hőátadó közeg zárt rendszerben kering és egy hőcserélő segítségével adja át a hőjét a tárolóban lévő víznek (Giber 2005).

A napkollektorok felépítése minden típusnál megegyezik. A napkollektorok elől üvegezettek, míg hátul hőszigeteltek. A felső, üveges résznek nagy fény áteresztőképességgel kell rendelkeznie, valamint a külső mechanikai igénybevétellel szemben ellenállónak kell lennie. Az üvegezett rész alatt található az elnyelő lemez (abszorber), ami a napkollektorok legfontosabb része. Az abszorber a napsugárzást elnyeli és hővé alakítja át, majd ezt a hőt közvetíti az alulról hozzárögzített csővezetékben keringő hőszállító közegnek (Hunyár et al 2001, Bobok et al. 2005).

A napkollektoros rendszerek felépítésének elve ugyan nem, viszont működésének hatásfoka jelentősen változott, mióta a XIX. századtól kezdődően az USA-ban terjedni kezdett a napkollektorok használata használati melegvíz előállítás céljából. Azonban e rendszerek az

egyszerű műszaki megoldások következtében (ablaküveg mögé helyezett fekete tartály, szigetelés nélkül) igen alacsony hatásfokkal és bizonytalanul szolgáltatott a meleg vizet. 1891-ben bejegyeztették az első szabadalmat napkollektorral kapcsolatosan és a XIX. század végétől folyamatossá vált a napkollektoros rendszerek fejlesztése, hatásfok növelése. A napkollektorok terjedése fokozatosan emelkedett az 1940-es évekig, mígnem az „olcsó energia” korszakának, azaz a fosszilis energiahordozók alacsony árának köszönhetően jöttek létre a konvencionális forrásokon alapuló energiahálózatok, melyek háttérbe szorították a napenergián alapuló hőtermelést. A 2. fejezetben bemutatott energiapolitikai változások azonban újra előtérbe helyezték a megújulókat használatát, ezzel együtt a napkollektor alapú hőenergia előállítását. Így az 1970-es években bekövetkezett olajválságok hatásai között a napkollektoros technológia rohamos fejlesztése is megtalálható. XXI. század elejére számos különböző típusú napkollektort fejlesztettek ki, melyek háztartásokban is alkalmazhatóak. Ezek két nagy csoportra oszthatóak: 1. sík kollektorok, 2. koncentrátorok. A sík kollektorok a beeső sugárzás energiáját alakítják át hőenergiává, míg a koncentrátorok a napfényt valamilyen optikai eszközzel (tükrök) koncentrálnak a közvetítő közeget tartalmazó csővezetékre, melynek következtében magasabb hőmérséklet elérése képesek. Hatásfokukat tekintve nagy szórás jellemző (1-80 %) a különböző típusokra, valamint a különböző hőmérsékleti értékekhez tartozó hatásfok romlás is befolyásolja adott pillanatra vonatkoztatott a rendszer hatásfokát. Egy megtervezett, jó minőségű rendszer derűs idő esetén átlagosan 60 %-os hatásfokkal alakítja át a beérkező sugárzási energiát hőenergiává (Giber 2005., Bobok et al. 2005, Nagy 2009).

A termikus hatás kiaknázásával elektromos áram előállítása is lehetséges a napenergiából. A koncentrált napsugarakat egy gyújtópontra vetítve, a közvetítő közeget gőzzé alakítva turbina meghajtásra képes berendezések is megszülettek (naptorony, napvályú) így kiváló adottságú helyeken (pl.: Ausztrália, USA, Spanyolország) már ilyen módon is hasznosítják a napenergiát. Pontos besugárzási adatok ismeretében tehát könnyen tervezhetővé válnak a különböző célra használni kívánt lakossági illetve ipari méretű napkollektoros rendszerek (GSR 2014).

A fejlesztések és a technológia széleskörű elterjedésének köszönhetően versenyképessé vált az egységnyi energiamennyiség megtermelése napenergiából a földgázzal és elektromos árammal való összevetésben (1. táblázat), így a napkollektoros beruházások megtérülési ideje jelentősen lerövidült (EREC 2008, ESTTP 2008, IEA 2014a).

1. táblázat Különböző energiaforrásokból megtermelt egységnyi energiamennyiség árának alakulása 2008-2030 között (€ cent/kWh)

Energiaforrás	Közép-Európa	Dél-Európa	Közép-Európa	Dél-Európa
	2008	2008	2030	2030
napenergia	7-16	5-12	3-6	2-4
földgáz	8,5-29		17-58	
elektromos áram	7-33		14-66	

forrás: ESTTP 2008, szerkesztette Szalontai L

Jól látható, hogy az előrejelzések szerint tovább csökken az ára a napkollektor által megtermelt egységnyi energiamennyiségnek, míg a földgáz árának emelkedése várható a készletek fogyásából fakadóan, így az megjelenik a megtermelt egységnyi energiamennyiség árában is, valamint az elektromos áram esetében is áremelkedéssel számolnak a nemzetközi szakértők (EREC 2008).

A fototermikus rendszerek technológiai és piaci fejlődésének köszönhetően a XXI. századra magas hatásfokú, gyorsan megtérülő napenergiát hőenergiává átalakító berendezések szerezhetőek be. A használati melegvíz előállításával mellett mára már lehetővé vált lakó illetve ipari épületekben a légtér fűtése-hűtése, távfűtési rendszerek rásegítése, ipari hő előállítása, szárítási folyamatok lefolytatása és úszómedencék fűtése. A napkollektoros technológia alkalmazásának szinte csak előnyeiről beszélhetünk, hiszen a korábbi magas bekerülési árak, illetve olcsó energiahordozók árának jelentős mérséklődése volt az utolsó akadálya a hasznos hő előállításának a napenergiából. Említésre méltó előnyök többek között (Nagy 2009, EREC 2008, IEA 2014):

- Csökkenti az energiahordozó import mértékét;
- Növeli az energiaellátás diverzitását;
- Alacsony bekerülési költségű CO₂ emisszió megtakarítás, légszennyezettség csökkentés;
- Zöldgazdaság fejlődéséhez hozzájárul (munkahelyek teremtése helyben);
- a beruházás megtérülése után csökkenő energiaköltségek.

Összefoglalva elmondható, hogy a napenergián alapuló hőenergia termelés gazdaságilag is megtérülő technológiai háttere mind lakossági - háztartási, mind nagyobb épületek (középületek) - ipari szintjén is megoldott (EREC 2010). A különböző gazdasági közösségek, államok energiapolitikája eddig kevés figyelmet fordított a napenergia alapú fűtő-hűtő rendszerek támogatására, mely kihatással van a beruházások számára is. Figyelembe véve azt

a tényt, hogy a végső energiafogyasztáson belül megközelítőleg 50 %-ot tesz ki a hőenergia előállítás az EU-ban és globális átlagban (IEA 2014b) is, kijelenthető, hogy a napenergián alapuló fűtés-hűtés szektor nagy fejlődés előtt áll, illetve a III. évezred első évtizedében tapasztalható töretlen fejlődés, megújulókon belüli részarány növekedés továbbra is fenn fog állni.

3.2.2. Fotovillamos alkalmazás

A napenergia aktív hasznosításának másik módja, mikor a besugárzás energiájából közvetlenül elektromos áramot állítunk elő különböző típusú fotovillamos/fotovoltaikus eszközök segítségével. Az ilyen eszközöket napelemeknek hívjuk. Az előállított egyenáram, mint másodlagos energiahordozó már könnyen transzformálható, inverter segítségével váltóárammá alakítható, szállítható, illetve bizonyos keretek közt különböző formákban tárolható is (Bobok et al 2005, Srlujic 2014).

3.2.2.1. Napelem felépítése, működési elve

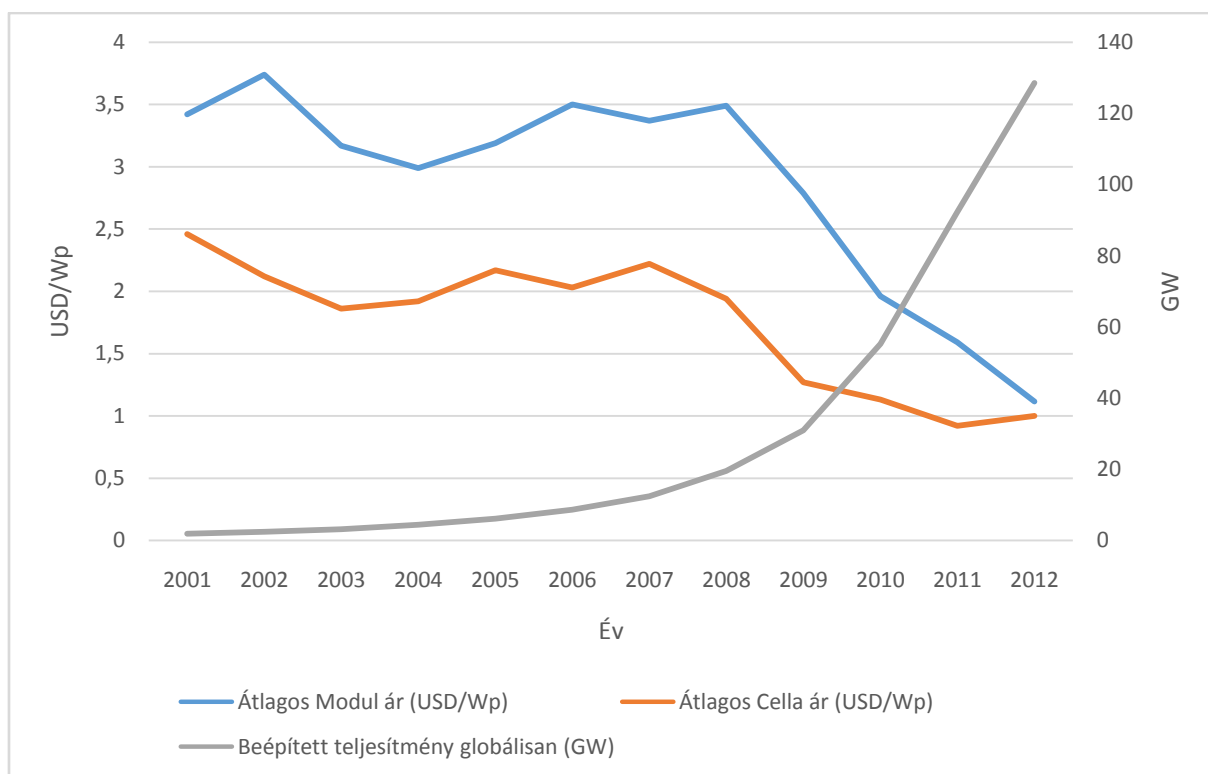
A napelemes rendszerek alapja a napelem, mely a napenergia átalakítását végzi. A napelem cellák félvezető anyagokból épülnek fel, melyek leggyakrabban használatos alapanyaga a földkéreg 2. leggyakoribb eleme a szilícium. Kémiai tulajdonságainak köszönhetően (4 szabad elektronnal bír a külső elektronszámban) a szilíciumatomokat adalékolják, „szennyezik” olyan más elemekkel, melyeknek 3 ill. 5 darab szabad elektronjuk van, így kialakítva két olyan réteget, melyeknél elektron többlet illetve elektronhiány jelentkezik. Az elektronhiánnyal rendelkező réteget „p”, míg az elektrontöbblettel bírót pedig „n” típusú félvezető rétegnek hívják. E két félvezető anyag egy átmeneti réteggel van elválasztva egymástól illetve érintkezőiket egy ellenálláson/fogyasztón kapcsoljuk át biztosítva ezáltal az elektronok szabad vándorlását, mely tulajdonképpen az elektromos áramot jelenti (Mizsei 2003, Bobok et al 2005).

Mindaddig, ameddig a megfelelő energiával/hullámhosszúsággal bíró fény a fotovillamos elemre esik, addig a fotonok egy része, melyek kellőképpen nagy energiával bírnak, az energiájuk átadásával a félvezetőben található elektronokat gerjesztik, így azok szabadabbá válnak és megindul a vándorlásuk, elektromos áram termelődik. Ezt nevezik fotovillamos effektusnak, melyen minden napelem működése alapszik. Az így megtermelt elektromos áram nagyságát a keletkezett szabad töltéshordozók száma, míg a feszültségét a napelem alapanyaga határozza meg (IEA 2014a, Büki 2004).

3.2.2.2. Napelemek története

A napelemes és napkollektoroshasznosítási módszerek feltalálásának, elterjedésének története között párhuzamot lehet vonni. A fotovoltaiikus jelenséget először Edmund Becquerel jegyezte fel 1839-ben, mikor elektrolit oldatokkal és különböző fémekkel kísérletezett és fény hatására áramtermelést figyelt meg. 1873-ban Willoughby Smith figyelte meg elsőként a szelén áramvezetését fény hatására. Eme felfedezés hatására W.G. Adams és R.E. Day tudósok szilárd szelénben figyeltek meg fotoelektromos jelenséget és megalkották az első szelén alapú napelem cellát. Innentől veszi kezdetét a napelem cellák fejlődése, mely hasonlóan a napkollektoros rendszerekhez az 1920-30-as években megtorpant, köszönhetően a teret hódító kőolaj, földgáz alapú energiarendszerek kialakulásának. Az 1950-es évektől beinduló amerikai és orosz űrprogramok új lökést adtak a 30-as években megrekedt napelem kutatásoknak, ugyanis az űrhajók energiaigényét napelemek alkalmazásával kívánták kielégíteni(Perlin 2008, Bobok et al. 2005). Az 1970-es évektől pedig elkezdődik a lakossági célra is hasznosítható napelemek fejlesztése, hatásfok növelése, mely folyamat mind a mai napig tart.

A félvezető alapanyaga szerint megkülönböztetünk kristályos-, vékonyréteg-, amorf-, multikapcsolatos többrétegű- és egyéb fejlesztés, tesztelés alatt álló (organikus, inorganikus, quantum dots, stb.) napelem cellát (EREC 2010, Horánszky 2005, NSPRI 1998, Li 2011, Bobok et al. 2005, Salasovich, J. - Mosey, G. 2012). A különböző napelem típusok hatásfokának változását, fejlődését V. melléklet mutatja be (NREL 2015). 2015-re a laboratóriumi körülmények között valaha mért legnagyobb hatásfok 44,5 % volt, míg a kereskedelmi forgalomban kapható napelemes rendszerek hatásfoka a kívánt típustól függően 5-23 %. Az eltelt 40 év alatt hatalmas fejlődésen ment keresztül a napelemes technológia, melynek köszönhetően az egységnyi felülettel megtermelhető elektromos áram mennyisége nőtt, míg a piac kiszélesedésének, az állami finanszírozási keretek megteremtésének és a napelemek tömegtermelésének köszönhetően a PV rendszerek megtérülési ideje jelentősen lecsökkent (Yebo Li 2011, Salasovich, J. - Mosey, G. 2012, IEA 2014)(13. ábra).



13. ábra A legelterjedtebb PV cella és modulok átlagárai és a globálisan beépített PV teljesítmény alakulása 1990-2012 között

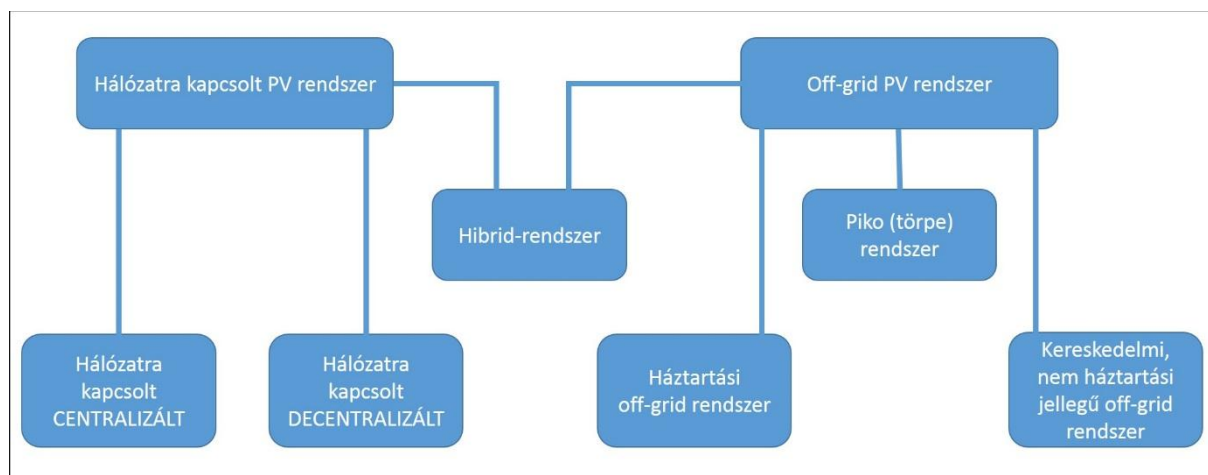
forrás: solarbuzz.com, Economics of Photoelectricity 2013, Earth Policy Institute szerkesztette Szalontai L

3.2.2.4. Napelemes rendszerek

A gazdasági-technológiai fejlődésnek köszönhetően a XXI. században a kialakult/épített nagy villamosenergia-rendszereken alapulva, a technikai lehetőségek kiszélesedésével előtérbe került az úgynevezett kisegységek megvalósításának, a decentralizált és az elosztott energiatermelésnek és ellátásnak agondolata (Büki 2004, Borzsák et al 2008, Árpási et al. 2006). Az említett kisegységek különböző méretű PV-s, napelemes rendszerek kialakítását tették lehetővé (14. ábra), melyeket röviden szeretnék ismertetni.

A napelemes rendszerek alapját a napelem modul (több napelem cella együttese) képezi, mely az elektromos áramot előállítja, azonban ez önmagában még nem elég, hogy a generált villamos energiát hasznosítsuk. Kivételet képeznek ez alól a napelemmel működő alacsony energiaigényű fogyasztási cikkek, mint például órák, számológépek, stb.. A PV modulok (használjunk bármilyen típust is) egyenáramot állítanak elő a napenergiából. Egy úgynevezett inverter segítségével alakíthatjuk ezt az egyenáramot váltóárammá, hogy a

megtermelt elektromos áramot a hálózatra betáplálni, vagy a háztartási fogyasztóinkkal hasznosítani tudjuk.



14. ábra A PV rendszerek és főbb alkalmazási módok

forrás: EREC 2008, IEA 2014a és Büki 2004 alapján készítette Szalontai L

A napelemek hasznosítás/alkalmazásának helyétől/módjától függően két különböző napelemes rendszert különböztethetünk meg (EREC 2008, IEA 2014a, Slijivac 2014):

- *Hálózatra kapcsolt (grid-connected) rendszerek* A megfelelő villamos infrastruktúrával rendelkező fejlett országokban a legegyszerűbb módja a napenergiából előállított elektromos áram „tárolásának, hasznosításának”, annak egy centralizált elektromos hálózatra való rátáplálása;
- *Szigetüzemű (off-grid) rendszerek* Távól a kiépített villamos energia hálózattól, megoldást jelent az elektromos áram igény kielégítésére egy jól megtervezett szigetüzemű napelemes rendszer. Ezen típusú rendszernél a megtermelt villamos energiát valamilyen tároló közegben raktározzák el (akkumulátor, víz esési energiája, stb.) és igény esetén hasznosítják azt.

Ehhez a kétféle napelemes rendszerhez a XXI. században 6 féle elsődleges alkalmazást különíthetünk el a kis, néhány W-os piko (törpe) rendszerektől egészen a nagy kiterjedésű PV erőművekig, melyek több száz MW-nyi beépített teljesítménnyel is rendelkezhetnek. Ezek az alkalmazási módok a következők (Borzsák et al 2008., Slijivac 2014, EREC 2008):

Piko(törpe)-, Háztartási off-grid-, Nem háztartási jellegű off-grid-, Hibrid-, Hálózatra kapcsolt decentralizált- és a Hálózatra kapcsolt centralizált PV rendszer

Az alkalmazott napelemes energiatermelési mód ki/megválasztása függ az alkalmazás helyétől (napenergia mennyisége), az infrastruktúra (elektromos hálózat) kiépítettségétől, valamint a fedezni kívánt energiaigénytől.

3.2.3. Trendek a napelemes rendszerek alkalmazásában

A globális és európai szintű megújuló energiaforrás hasznosítás vizsgálatoknál az 2. fejezetben megállapításra került, hogy a 2000-es évek közepétől a napenergia vált napjainkra a legnagyobb ütemben bővülő megújuló energiaforrás szektorává megelőzve a XXI. századi növekedési ütemben, addig egyeduralkodónak számító széleenergiát. Köszönhető mindez az elérhető, megbízható és megfizethető technológiai fejlesztéseknek, támogatási/ösztönző rendszereknek és a környezettudatosság növekedésének (kiváltképp az OECD államaiban). Nemzetközi energetikai kutatóintézetek, szervezetek melyek a megújuló energiaforrásokkal is foglalkoznak, a napenergia további dominanciáját jelzik előre az elkövetkezendő évtizedekre is (IEA 2014a, EPIA 2014).

Az VI/a, VI/b melléklet szemlélteti, hogy az elmúlt közel másfél évtized folyamán hogyan változott meg a különböző módon telepített PV rendszerek aránya az IEA (Nemzetközi Energia Ügynökség) tagországaira vonatkoztatva.

A mellékletekből jól kitűnik, hogy az off-grid rendszerek a 2000-es évek elejétől kezdődően fokozatosan háttérbe szorultak és 2013-ban már majdnem minden PV rendszer telepítés hálózatra kapcsolva valósult meg, melyben több tényező is szerepet játszott. Ez egyik legfontosabb, hogy a PV rendszerek telepítési költségei drasztikusan estek, így a szigetüzemű telepítések mellett a hálózatra kapcsolt lakossági, ipari telepítések jelentős lendületet vettek azokban az országokban ahol megfelelő támogatási rendszert is kidolgoztak és elfogadtak (Németország, USA, Japán, Olaszország, stb.). Másik fontos tényező az elektromos hálózathoz való hozzáférés arányának növekedése globális szinten, főként a jelentős infrastrukturális fejlődésen átmenő ázsiai és afrikai fejlődő országokban. A villamoshálózat minél jobb kiépülése egyre több lehetőséget biztosít a hálózatra kapcsolt PV rendszerek megvalósulásának, egyúttal arányaiban kevesebb szigetüzemű PV rendszer telepítését is eredményezi (EPIA 2014).

A hálózatra kapcsolt centralizált és decentralizált PV rendszerek piaci részesedésének alakulását vizsgálva megállapítható a fokozatos eltolódás a centralizált PV rendszerek irányába, mely azt eredményezte, hogy 2013-ra a hálózatra kapcsolt PV rendszerek 58 %-a volt centralizált típusú. Ennek az arányváltozásnak 2 kiváltó tényezője egyfelől a nagyobb teljesítményű centralizált földi telepítésű erőművek támogatottságának növekedése világ

szinten, másfelől pedig a kínai, ausztrál és egyesült államokbeli nagy naperóművek megépülése is jelentősen hozzájárult a decentralizált termelési mód arányának csökkenéséhez (IEA 2014, EPIA 2014).

A decentralizált energiaellátás lényege, hogy a helyi igényeket kiszolgáló, főként helyben található és hasznosítható energiahordozókra épülő sokpólusú, egyenként kis kapacitással bíró, ám kumuláltan nagy teljesítményű megújuló energiát hasznosító-szállító-elosztó-fogyasztó rendszerek jöjjenek létre (Lukács 2010). Az így létrejövő intelligens energiaellátó rendszerek az energiabiztonság fenntartásában a hagyományos erőművekhez hasonlíthatóak.

A versenyképes decentralizált energiaellátás fő jellemzője tehát, hogy az energia előállítása a fogyasztás helyén, illetve közvetlen közelében történik és a villamos- és/vagy hőenergia termelés függetlenül a technológiai teljesítménytől, jellegétől a felhasználás helyéhez közel valósul meg (Veisse 2004). Gazdaságilag és ökonómiailag fenntartható decentralizált energiatermelés fogalmát jobban leírja az a meghatározás, hogy a decentralizált energiatermelést abban különbözik a centralizálttól, hogy a helyi közösség által felügyelten, általuk és nem helyettük üzemeltetett rendszeren keresztül történik az energiaellátás (Kiss 2009, Tóth 2013).

3.2.5. Napelemes technológiából származó előnyök

A villamos energiatermelésen kívül számos előnnyel jár a PV rendszerek üzemeltetése. Az alábbiakban említeném meg a PV modulok alkalmazásának előnyeit, pozitív hatásait.

A napenergia, mint energiahordozó, korlátlan mennyiségben áll az emberiség rendelkezésére. Noha a napenergia szakaszosan hasznosítható a Föld tengely körüli forgásából fakadóan ám ez a megfelelő PV rendszer alkalmazásával kiküszöbölhető, az energiaellátás biztosítása megoldható.

A PV cellák *alapanyaga a szilícium*, a Föld 2. leggyakoribb eleme. Szinte ez is kimeríthetetlen a napelem ipar részéről, valamint az elhasználdott PV cellák összetevőinek (üveg, szilícium, alumínium, stb.) újrahasznosításának problémája is megoldódott a XXI. századra.

Az energia átalakító modulok üzemelés közben nem bocsátanak ki semmilyen hangot, szennyező anyagokat és üvegházhatású gázokat, így nem szennyezik a környezetünket. *Karbon pozitív*nak is nevezik a napelemeket, mivel több CO₂-t takarítanak meg, mint ami az

előállításukhoz szükséges volt, ezáltal jelentősen hozzájárulnak a klímaváltozás elleni küzdelemhez (Salasovich - Mosey 2012).

A technológiai fejlesztések eredményeinek köszönhetően a *PV rendszerek alkalmazása biztonságossá és megbízhatóvá* vált a XX. század végére. A XXI. század elején a kereskedelmi forgalomban megtalálható PV cellák élettartama a 30-35 évet is elérheti, melyre a gyártók általánosan 25 év garanciát és a cella hatásfok romlása mellett is 80 %-os csúcsteljesítményt vállalnak. Ezen tényezők megbízhatóbbá teszik a fotovoltaiikus technológiát a beruházók számára és hosszú távon is fenntartható energiatermelést tesznek lehetővé (IEA 2014).

A PV cella *energiamegtérülési ideje jelentősen lerövidült* a XXI. századra és folyamatosan csökken. Az energiamegtérülési idő azt fejezi ki, hogy mennyi időre van szüksége a PV cellának arra, hogy az előállításához szükségeltetett energiát megtermelje. 2014-2015-ben ez az érték 1,5 – 3 év között volt, mialatt egy PV cella 6-18-szor több energiát állít elő, mint amit a gyártása során felhasználtak a létrehozásához (EREC 2008, IEA 2014).

A PV rendszerek *telepítése egyszerű, könnyű*, valamint a telepítés után nem igényelnek folyamatos karbantartást, szerelést mindaddig, míg valamely rendszerelem el nem romlik.

A napelemek alkalmazásának *társadalmi-gazdasági előnyei* is vannak. Ilyen előnyök közé sorolható a „zöld” munkahelyteremtés, az energiafüggőség csökkentése, háztartások-önkormányzatok villamos energiára vonatkozó kiadásainak csökkentése, valamint a vidékfejlesztésre gyakorolt pozitív hatások (EREC 2008, IEA 2014a, Mills 2014, Szalontai 2014b).

A fejezetben bemutatott aktív hasznosítási módok jellemzése alapján elmondható, hogy a XX. század végére kifejlesztett napkollektoros és napelemes berendezések versenyképes energiatermelő technológiává váltak a többi energiát előállító alkalmazással szemben, mely több tényező együttes hatásából adódik (EREC 2008, IEA 2014b, Mills 2014, Aspinall et al 2014)

Ezek a tényezők az alábbiak:

- mindkét hasznosítási mód esetében az egységnyi energia előállításának bekerülési költsége elérte a más megújulóól illetve fosszilis energiahordozóból előállított energia bekerülési költségét;
- a napelemes, napkollektoros rendszerek alkalmazási lehetőségei a legkülönbözőbb infrastrukturális adottságú épületekre optimalizálhatóak az energiaszükséglet lehető legnagyobb mértékben történő kiváltására;

- a fosszilis energiaárak további növekedését prognosztizálják a kitermelhető és ismert készletek kimerülésének függvényében;
- kiemelten a fejlett társadalmak lakosságának zöld tudatosság növekedésének köszönhetően megnőtt a kereslet a háztartásokban is alkalmazható megújuló energiaforrásokat hasznosító berendezések iránt, melyek közül a napenergiát hasznosító berendezések a legkönnyebben elérhetőek, telepíthetőek a különböző biomassza alapú energiatermelő rendszerek mellett.

A megtermelt energia mennyisége alapvetően 2 tényezőtől függ:

- a berendezés felületére érkező besugárzás mennyiségétől;
- az alkalmazott napelemes technológia/rendszer hatásfokának mértékétől (a napsugárzást elnyelő felületen hőmérséklet emelkedés következik be, mely hatására a napelemek gyakorlati hatásfoka romlik, így a megtermelt energia mennyisége is csökken).

Noha a napelemes rendszereknél csökken a hatásfok a hőmérséklet emelkedésből fakadóan, azonban az ennek következtében alacsonyabb hatásfokkal üzemelő berendezések is elérték a 10 év alatti megtérülési időt. A technológiai trendeket megvizsgálva megállapítható, hogy folyamatos elvi hatásfok emelkedés tapasztalható és várhatóan az újabb és újabb fejlesztéseknek köszönhetően a megtérülési idő is fokozatosan csökken, ezáltal válik még versenyképesebbé a napelemes/kollektoros napenergia hasznosítás a kis energiasűrűség ellenére is. Ezen tényekből fakadóan tehát elmondható, hogy a napenergiát hasznosító berendezések a XXI. századra elérték azt a technológiai szintet, hogy már csak az adott felületen hasznosítható/felfogható besugárzás energiamennyiségének meghatározása vált kiemelkedő feladattá (IEA 2014a, IEA 2014b).

A globális, de hazánk európai uniós tagságból fakadóan az európai céloknak, előírásoknak megfelelően tehát, a korábban említett napkollektoros, valamint a PV rendszerek telepítésénél/tervezésénél is elengedhetlenné válik az épített környezet, objektumok vizsgálata, illetve az élelmiszer termelésre nem alkalmas földterületek leválogatása, majd ezen területekből a nagy hasznosítható napenergia potenciállal rendelkező felületek kijelölése a napenergiából megtermelhető hő- illetve villamos energia mennyiségének maximalizálása érdekében. A megfelelő módszerekkel létrehozott besugárzás mennyiségeket tartalmazó adatbázis az információszolgáltatás mellett segítséget nyújthat a rendszer megtérülési idejének meghatározásához, a megtakarított ÜHG mennyiség számítására is, valamint a települések, térségek döntéshozóinak nagyszabású, napenergiára fókuszáló beruházásokhoz teremt kiváló alapot.

3.3. Lehetőségek a hasznosítható napenergia mennyiségének meghatározása

Az előző fejezetekben bemutatásra került, hogy a napkollektoros és napelemes technológiák versenyképessé váltak a többi megújuló alapú energiatermelő rendszerekhez viszonyítva is, ebből fakadóan a piacon megjelenő és elérhető termékek megfelelő hatásfokkal, élettartammal bírnak ahhoz, hogy megérje telepíteni őket akár saját energiaszükséglet fedezésére, akár hálózatra termelés céljából is. Kiemelt fontosságúvá vált tehát, hogy a beruházásokban érdekelt keresleti és kínálati oldal *megfelelő minőségű és mennyiségű információval*, adattal rendelkezzen, amelyek ösztönzőleg hatnak a fototermikus illetve fotovoltikus rendszerekbe való investálásra (NCsT 2010., IEA 2014a., Aspinall et. al 2014).

A napelemes, napkollektoros rendszerek jellemzésénél megemlítsre került, hogy a kereskedelmi forgalomban mindenki számára elérhető, biztosan üzemeltethető eszközök legfőbb telepítési tényezője, a besugárzás mértéke a tervezett hasznosítás helyén. A pontos besugárzási adat ismeretében tervezhetővé válik a napenergiát hasznosító rendszer.

A tervezett telepítés (meghatározott koordináta) helyének besugárzási energiáját kétféle módszerrel lehet számszerűsíteni, meghatározni:

- Mérés: Pyranométeresés, műholdas méréssel;
- Számítás: Geoinformatikai módszerek segítségével, automatizált számításokkal.

A mérésekből és a számítások útján kapott pontos besugárzási értékek megfelelő alapot nyújthatnak a napenergiával üzemelő rendszerek igényekre szabott tervezéséhez.

3.3.1 Globálsugárzás mérése

3.3.1.1. Pyranométeressugárzás mérés

Az első, konvencionálisan és széleskörűen alkalmazott módszer, mikor egy úgynevezett PYRANOMÉTER segítségével mérjük a Napból érkező sugárzást (az égbolt és a Nap együttes sugárzása), ahol mind a diffúz, mind a direkt sugárzás energiamennyisége számszerűsíthetővé válik. A műszert fedő üvegbúra, a műszertest és az érzékelő lemez között a napsugárzás hatására hőmérséklet különbség alakul ki és a termoelektromos elv alapján a vezetőréteget képező érzékelő lemezben elektron áramlás indul meg, mely a sugárzás intenzitásával változik. Amint az elektron áramlás mértéke ismert az érzékelő lemezben a besugárzás intenzitása is meghatározhatóvá válik (Juhász et al. 2009., Volascsek 2013).

A pyranométeres mérés a lehető legpontosabb adatot szolgáltatja a mérőeszköz tulajdonosának. Egy hely egész éves besugárzási energiájának mérése ezzel a módszerrel

azonban legalább egy éven keresztül kell, hogy tartson, további mérésekkel kiegészítve, hogy a folyamatosan változó besugárzást befolyásoló légköri tényezők (aeroszol, vízgőz, szennyeződések, stb.) kiugró hatásait is figyelembe véve megalapozott, átlagos besugárzási értékkel tudjunk jellemezni egy meghatározott helyet.

Az ilyen típusú méréseket elsősorban a kutatóintézetek, nemzeti meteorológiai szolgálatok és a meteorológiai jelenségek vizsgálata iránt elkötelezett civilek/egyesületek végeznék, valamint teszik elérhetővé ingyenesen, illetve költségtérítés ellenében.

Az 1900-as évek eleje óta zajlanak folyamatos globálsugárzás mérések a Földön. A Földre kiterjedően (kb. 2000 állomás) két nagy kutatóintézet a Sugárzási Világ Adatközpont (World Radiation Data Center – WRDC) és a Globális Világ Energiamérleg (Global EnergyBalanceArchive – GEBA) nemzetközi adatbázisa a mérvadó és ad megfelelő alapot a hiteles globál sugárzás adatsoroknak, melyek nagy területek, régiók átlagos globálsugárzási jellemzőit teszik vizsgálhatóvá (Bartók 2013). Magyarországon az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) rendelkezik a legkiterjedtebb (40 állomás) hazai besugárzási adatsorral, mely az 1950-es évek közepétől tartalmaz napi, havi és éves szintű adatokat (Bartók 2013.. Pátkainé 2014.).

3.3.1.2. Műholdas globálsugárzás mérés

Az 1950-es évektől kibontakozó űrverseny a távérzékelésben is máig ható fejlődést generált. Különböző sugárzási spektrum mérésére képes radiométerekkel felszerelt műholdak jó tér- és időbeli felbontású adatbázist képesek előállítani az atmoszférát elhagyó sugárzási értékekről. Erősségük az ilyen módon előállított adatbázisoknak, hogy jó spektrális felbontásúak a felszíni mérésekkel szemben, valamint hatalmas területre vonatkozó adat mérhető rövid idő alatt. Gyengesége viszont, hogy csak a Földről visszaverődő sugárzás bizonyos részét képes érzékelni, miközben a légköri tényezőket különböző algoritmusokkal határozzák meg a mérés ideje alatt. A kutatók részére az 1970-es évektől kezdődően áll rendelkezésre különböző minőségű, mennyiségű sugárzási adat, melyeket műholdak segítségével mértek. A legnagyobb intézetek, programok, melyek sugárzási adatbázissal rendelkeznek a Nemzetközi Műholdas Felhő Klimatológiai Projekt (International SatteliteCloudClimatology Project, ISCCP), a METEOSAT Alkalmazott Műholdas Klímamonitoring Programja (The SatteliteApplicationFacilityon Climate Monitoring, CMSAF) (Bartók 2013, Seres 2013).

A megfelelően beállított sugárzást módosító tényezőkkel megtámogatott műholdas mérések klímaváltozási kutatások, kiugró regionális értékek vizsgálatára, valamint nagy

területek átlagos sugárzási mennyiségének (változásának) meghatározására alkalmasak (Mika 2011, Bartók 2013, Seres 2013).

3.3.1.3. Geoinformatikai módszerekkel való besugárzás számítás

Az egyre nagyobb teljesítményű számítógépek, szoftverek és rendelkezésre álló hiteles, mért adatsorok, digitális adatbázisok megteremtették a besugárzás modellezésének lehetőségét direkt, diffúz és globálsugárzás mennyiség pontos meghatározására akár koordinátára vonatkoztatott előzetes, hitelesített mérési adat hiányában is.

A legjobban, legpontosabban és leggyorsabban dolgozó modellek Földrajzi Információs Rendszerbe (GIS) vannak integrálva, mely a térbeli és leíró információk kezeléséhez teljes keretet biztosít, valamint lehetővé teszi a besugárzási térképek és adatok más térképretegekkel való együtt használatát, vizsgálatát (Hengl et al 2007).

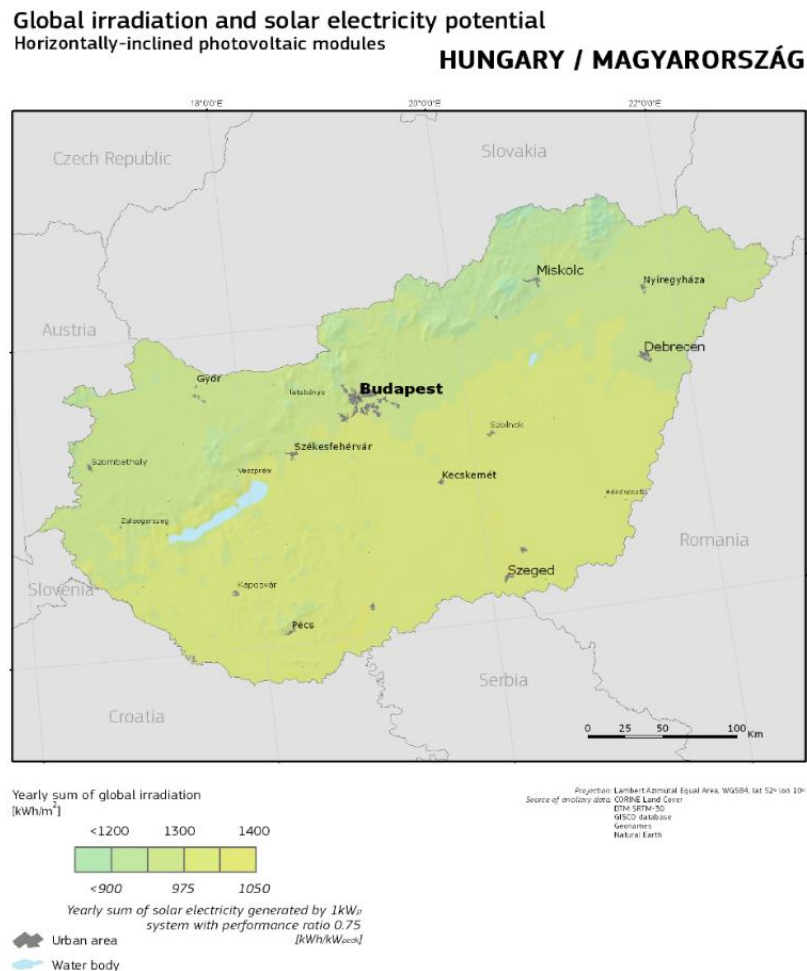
A besugárzási modelleknek két alaptípusát különböztetjük meg (Fu et al 2000):

- pontra vonatkoztatott;
- területre vonatkoztatott.

A *pontra vonatkoztatott* modellezésnél a felszín kitétsége illetve a pontról látható égbolt paramétereiből számítják a besugárzást. A lokális, adott pontra ható módosító tényezőket kezdetben empirikus úton vették számításba (Buffo et al. 1972, Kondratyev 1969), majd vizuális becslésekkel próbálták meg korrigálni az eredményeket (Swift 1976). Pontosabb számításokat eredményezett az ég felé néző, félgömb alakú, „halszem” optikával készített fényképezési mód terjedése (Rich et al 1994). A *pont specifikus besugárzás modellezés* megbízható pontosságú besugárzási adatot képes szolgáltatni, azonban nagyobb, több térbeli pontra kiterjedő vizsgálatot a számítás hatékonysága érdekében célszerű a *területre vonatkoztatott besugárzás modellezést* végrehajtani. Az 1980-as évek elejétől megjelenő GIS adatbázisok megteremtették a lehetőségét annak, hogy a Föld felszínét ne mint síkfelület, hanem, mint heterogén – változatos domborzattal bíró térbeli felület jelenjen meg a modellezés során. Ezáltal lehetővé vált, hogy a felszín változatosságából fakadó árnyékolás, változatos kitétség egyaránt vizsgálható a digitális domborzatmodellekre (Digital Elevation Model – DEM) alapozva. Ezek a terület alapú besugárzási modellek már biztosítják a további részletesebb területi-, környezeti-, természeti-, gazdasági folyamatok-hatások vizsgálatának lehetőségét (Kumar et al 1997, Hengl et al 2007, Seres 2013, Németh 2004).

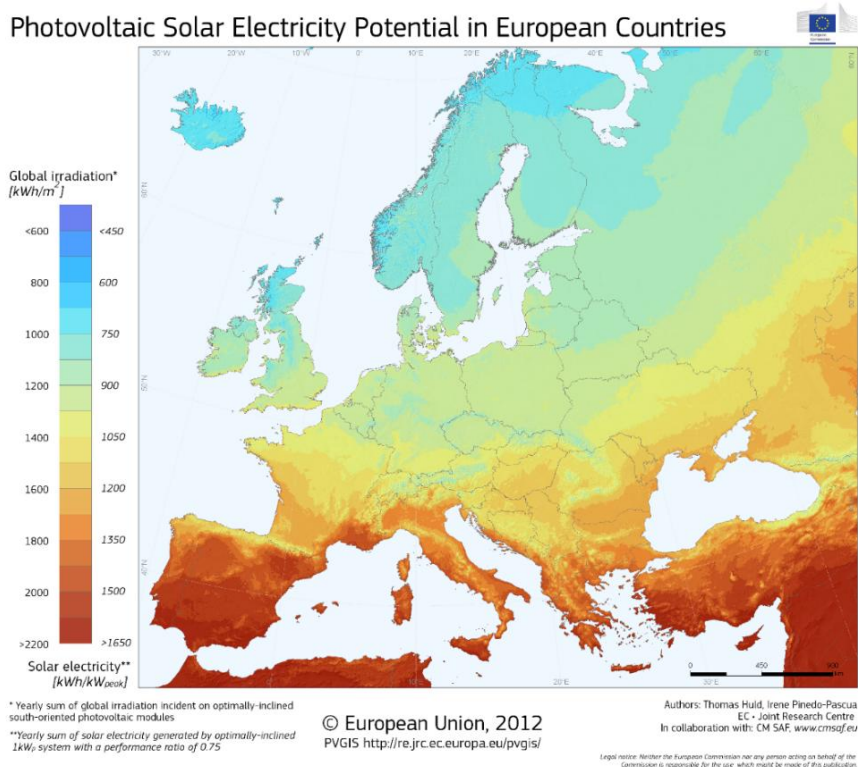
3.3.1.3.1. DEM alapú besugárzás modellezés

Az előzőekben bemutatott, egy pontra vonatkoztatott méréseket (pyranométeres) egy DEM-re legegyszerűbben interpolációval és extrapolációval, mérés mennyiségtől függően különböző nagyságú területekre lehet kiterjeszteni. Így keletkezhetnek megyei, regionális, országos, kontinensekre és Földre vonatkozó besugárzási térképek, melyek az általános globális besugárzás jellemzésekhöz tökéletesek, azonban PV rendszerek üzemeltetéséhez történő hasznosíthatóságuk igen szűkösek. Ugyanis a valós besugárzás mértéke jelentősen változhat kis távolságokon belül is a topográfiai heterogenitásából és a vizsgálni kívánt objektum, koordináta környezetének változatosságából fakadóan (Bella et al. 2006, Németh 2004) (15. ábra).



15. ábra A felszínre érkező besugárzás mennyisége és elektromos potenciálja horizontálisan beállított fotovoltaikus modulok esetén, 1kW_p teljesítményű modulra, 0,75-ös sugárzási hasznosítási tényezőre vonatkoztatva
forrás: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/hungary>

Számos DEM alapú regionális, kontinensekre kiterjedő besugárzási és elektromos potenciált is megjelenítő adatbázis, térkép, valamint konkrét koordinátára különböző paraméterek megadásával besugárzást számító kalkulátor került és kerül fel webes tárhelyekre és válnak elérhetővé a napenergia iránt érdeklődők számára. Ilyen adatbázisok - a teljesség igénye nélkül - például: European Centre for Medium Range Weather Forecast adatbázisai, térképei, a NASA Surface Meteorology and Solar Energy (1983-1993) adatbázisai, a NASA támogatásával működtetett Atmospheric Science Data Center (ASDC) adatbázisai, kalkulátorai; kiemelten a Surface Meteorology and solarenergy adatsorai. Az Európai Unió által működtetett Közös Kutatóközpont (Joint Research Centre – JRC) a SOLAREC akció keretében 2012-ben megalkotta a Photovoltaic Geographical Information System-et (PVGIS – <http://www.re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>) (16. ábra).



16. ábra Fotovoltaikus potenciál az európai országokban (PVGIS)

forrás: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/europe>

Ez az online, ingyenesen elérhető adatbázis egész Európára (országokénti bontásban is), valamint Afrikára és Dél-Nyugat Ázsiára kiterjedően szolgáltat a nemzeti meteorológiai intézetek által mért adatok és a műholdas adatok harmonizálásával, kiterjesztésével és geoinformatikai módszerekkel való feldolgozásával létrehozott besugárzás és elektromos potenciált megjelenítő térképeket. A kalkulált értékeknek a hivatalos, valós mérési eredményekkel történő validálása során bebizonyosodott, hogy a térkép által hordozott

információk nagy pontossággal közelítik meg a tényleges, mért adatokat, melynek köszönhetően a PVGIS alapul szolgál az EU tagállamaira számított napenergiából nyerhető elektromos potenciál becsléseknek, számításoknak (Németh 2004, Sári et al. 2005., 2007., Huld et al 2012. Hofierka et al 2009).

Az ilyen térképen, adatbázisokban, kalkulátorokban megjelenített értékek számítása során a jelentős lokális módosító tényezők figyelembevételének kihagyása miatt az adatbázisokban, térképeken szereplő (energiatermelési és besugárzási) adatok csak irányadóak lehetnek a napenergiát hasznosítani tervezők számára (Hofierka et al 2009).

*Szükségessé vált tehát olyan térinformatikai módszerek kifejlesztése, melyek a vizsgált területre vonatkozólag nem csak regionális átlagos értéket számítanak a tervezett telepítési területre, hanem olyan adatokat képesek előállítani, ahol a modellezés során figyelembe veszik a **lokális** topográfiai, domborzati és atmoszferikus tényezőkön kívül az építészeti illetve természet, környezet (fák, növények) besugárzást módosító hatásait is* (Nguyen et al 2012, Szalontai 2014a, b).

Az általam is használt térinformatikai termékcsaládhoz, az ESRI (Environmental Systems Research Institute) cég gondozásában megjelentetett ARC/INFO GIS szoftverhez 1993-ban készült el a digitális domborzat modellekre futtatható SolarFlux modellező algoritmus, amely már alkalmazta a besugárzás mennyiségének számításánál a beépített Hillshade funkciót is, ami a domborzat árnyékot meghatározó és ezáltal a direkt sugárzást befolyásoló szerepét tudja számszerűsíteni, ezzel pontosítva a számítások végeredményét (Fu et al 1999).

A pontosabb adatbázisokhoz alkalmazkodva a 2004-ben kiadott ArcGIS 9-es verziójában megjelent a SolarAnalyst – SolarRadiation modul, amely a Hillshade (árnyékvetés, a domborzatmodell minden pixeljének magassági értékét figyelembeveszi a direkt sugárzás irányának számítása közben) funkción kívül megteremtette a lehetőségét a felhasználónak egyéb helyspecifikus bemenő/saját paraméter megadását a besugárzási számítások még pontosabbá tételére. A SolarAnalyst egy alkalmazásban ötvözi a pontra vonatkoztatott és a terület alapú modellezések erősségeit. A vizsgált 3 dimenziós felületmodell minden egyes pontjára generál egy látható égbolt-, valamint naptérképet (napdiagram), ezáltal biztosítva a pontos besugárzás mennyiségének meghatározását Wh/m²-ben megadva (Fu et al 1999.). Az égbolt és a naptérképek metszetéből ismertté válik azzon pontok halmaza amely a látható égboltfelülete/égbolt pixeleket tartalmazza, ahonnan a direktnapsugárzás érkezik. Ez a „virtuális” égbolt adatbázis kiegészítésre kerül a felszín/adott pontok földrajzi szélességének, magasságának, kitettségeknek, környezet

árnyékvetés nagyságának, napi – és szezonális napsugár beesési szögek változásának és légköri tényezők sugárzást gyengítő (borultság, nedvességtartalom, légkör homályossági tényező, a légkör sugárzástgyengítési együttható) hatásainak számított illetve mért adataival (Fu et al 2000), melyből a szórt sugárzás pontos értékét lehet meghatározni. A direkt és a diffúz sugárzás mennyiségeinek összege pedig az adott felületre érkező összes besugárzás mennyiségét adja meg (Fu et al 1999, 2000, Seres 2013). A Solar Radiation által futtatott besugárzásra vonatkozó számítások az alábbiak:

Globálsugárzás: Direkt sugárzás és a diffúz sugárzás összege

$$\text{Global}_{\text{tot}} = \text{Dir}_{\text{tot}} + \text{Diff}_{\text{tot}}$$

Direkt sugárzás: Adott hely/pixelre érkező összes direkt sugárzás a pixelből látható összes naptérkép (nap látszólagos járása) szektorából

$$(1) \text{Dir}_{\text{tot}} = \sum \text{Dir}_{\theta, \alpha}$$

A zenitszög, valamint az azimut szögből az alábbi módon számolja ki a direkt sugárzást a naptérkép szektorainak középpontjából ($\text{Dir}_{\theta, \alpha}$):

$$(2) \text{Dir}_{\theta, \alpha} = S_{\text{const}} * \beta^{m(\theta)} * \text{SunDur}_{\theta, \alpha} * \text{SunGap}_{\theta, \alpha} * \cos(\text{AngIn}_{\theta, \alpha})$$

ahol: S_{const} : napállandó, értéke 1367 W/m^2 ,

β : az atmoszféra transzmisszivitása (összes hullámhosszra átlagolva) a felszínig tartó legrövidebb útra számítva (zenit irányba)

$m(\theta)$: relatív optikai úthossz, a zenit úthosszához arányosítva (3. számításban kifejtve)

$\text{SunDur}_{\theta, \alpha}$: az égbolt szektorainak futási ideje (legtöbb szektor esetében megegyezik a kalkulációs napi időköz beállítás (pl. nap, hónap) és az óra időköz beállítás (0,5, 1, 12...) szorzatával. A horizonthoz közeli szektorok esetén a futási idő szférikus geometriából számítható)

$\text{SunGap}_{\theta, \alpha}$: a naptérkép felbontása

$\text{AngIn}_{\theta, \alpha}$: a napsugár beesési szöge az égbolt szektorának súlypontja és a felület normál tengelye között

A relatív optikai hossz, $m(\theta)$, a zenit szöge és a tengerszintfeletti magasság által van meghatározva.

$$(3) m(\theta) = \text{EXP} \frac{(-0.000118 * \text{Elev} - 1.638 * 10^{-9} * \text{Elev}^2)}{\cos^2(\theta)}$$

ahol: θ : A zenit szöge

Elev: a tengerszintfeletti magasság (méterben megadva)

A felszín irányának a beérkező sugárzás mennyiségére gyakorolt hatását a beesési szög cosinusaként veszi figyelembe a program. A beesési szöget ($AngIn_{\theta,\alpha}$) az elnyelő felület és a hozzátartozó súlyozott ég szektor között a zenit és az azimut szögek segítségével az alábbi módon számítja ki a program:

$$(4) AngIn_{\theta,\alpha} = \cos(\theta) * \cos(G_z) + \sin(\theta) * \sin(G_z) * \cos(\alpha - G_a)$$

ahol: G_z : A felszín zenit szöge

G_a : A felszín azimut szöge

Diffúz sugárzás: A program az idő intervallum értékét figyelembe véve és azt korrigálva az időköz beosztásokkal, valamint a beesési szöget felhasználva/kiszámítva minden égbolt szektor középpontjára kiszámítja a diffúz sugárzás mértékét az alábbi módon:

$$(5) Dif_{\theta,\alpha} = R_{glb} * P_{dif} * Dur * SkyGap_{\theta,\alpha} * Weight_{\theta,\alpha} * \cos(AngIn_{\theta,\alpha})$$

ahol: R_{glb} : Normál globálsugárzás (6. számításban kifejtve)

P_{dif} : A szórt sugárzás aránya. Manuálisan is állítható – hely specifikusan

Dur : Az időköz, amelyre a vizsgálat vonatkozik

$SkyGap_{\theta,\alpha}$: Az adott pixelből látható égbolt aránya

$Weight_{\theta,\alpha}$: Adott égbolt szektorokban számított diffúz sugárzás aránya az összes szektorhoz viszonyítva (7. és 8. számításban kifejtve)

$AngIn_{\theta,\alpha}$: a napsugár beesési szöge az égbolt szektor középpontja és a felszín között

A napsugár beesési szögének korrekciója nélkül, összesítve az érkező direkt sugárzást minden szektorból (beleértve a takarásban levőeket is) megkapjuk a normál globálsugárzás (R_{glb}) a direkt sugárzás arányával korrigálunk (direkt sugárzás aránya = $1 - P_{dif}$)

$$(6) R_{glb} = \frac{(S_{const} \sum(\beta^m(\theta)))}{1 - P_{dif}}$$

Az „egyforma” égbolt választás esetén a diffúz modell $Weight_{\theta,\alpha}$ értéke az alábbiak szerint kalkulálódik:

$$(7) Weight_{\theta,\alpha} = \frac{(\cos\theta_2 - \cos\theta_1)}{Div_{azi}}$$

ahol: θ_1 és θ_2 : az égbolt szektorainak határoló zenit szögei

Div_{azi} : az égbolt azimut felosztás száma (manuálisan állítható paraméter)

A szabvány felhős égbolt modell esetén a $Weight_{\theta,\alpha}$ értékét az alábbiak szerint számolja ki a program:

$$(8) \text{Weight}_{\theta,\alpha} = \frac{2\cos\theta_2 + \cos 2\theta_2 - 2\cos\theta_1 - \cos 2\theta_1}{4 * Div_{azi}}$$

Egy adott felületre eső diffúz sugárzás mennyiségét (Dif_{tot}) a minden egyes égbolt szektorból számított diffúz sugárzás (Dif) összege adja:

$$(9) Dif_{tot} = SUMDif_{\theta,\alpha}$$

A modellezések eredményeinek igazolására/validálására a helyi méréseken és a legközelebbi hivatalos mérőállomás adatain kívül az egyre bővülő szabad hozzáférésű, nyílt, webes adatbázisokra is támaszkodhatunk. Ezek az adatbázisok, mint például a német SMA vállalat Sunny Portal (www.sunnyportal.com) webes adatbázisa, lehetővé teszik, hogy az Európai Unióban jelenlévő lakos/vállalat/önkormányzat megoszthassa az általa üzemeltetett PV rendszerének termelési, károsanyag kibocsátási és anyagi megtakarítás, sugárzás intenzitás változás adatait, mérési eredményeit.

Jól szemlélteti VII. melléklet a Sárospataki- és Sátoraljaújhelyi-járások területére a Solar Radiation modul segítségével számított és generált besugárzás térképek jellemzőit (globál-, direkt-, diffúz sugárzás), ahol egy 10 méteres felbontású DEM-re a programba előre beállított (alapértelmezett) paraméterekkel folytattam le a modellezést (a légkör sugárzásgyengítési együttható értéke 0,5 τ volt – ami általános, tiszta égboltnak felel meg; Bartók B. et al. 2011, Szalontai 2012b).

A modellezés eredményeként kapott maximális teljes besugárzás érték a legjobb adottságokkal rendelkező felületeken, éves szinten 1310 kWh/m², míg a legrosszabb besugárzási körülményekkel bíró területen 2,441 kWh/m². A korábban említett JRC PVGIS adatbázisában szereplő, ugyanerre a vizsgálati területre vonatkozó besugárzási adatokat tekintve megállapítható, hogy a PVGIS a Sárospataki-, és Sátoraljaújhelyi járás területére optimális szögben álló felület esetén 1300-1400 kWh/m²-es értéket, míg vízszintesen álló felületre kevesebb, mint 1300 kWh/m² a beérkező besugárzás mennyisége. A SunnyPortal, online PV adatbázisban megtalálható az egyik sátoraljaújhelyi áruház (TESCO) falára, függőleges irányba elhelyezett 24 db egyenként 200 W-os Kyocera modulokból álló rendszerre vonatkozó adat is. Az oldalon közölt adatokból kiderül, hogy a több, mint 8 éve üzemelő rendszer 880-900 kWh/m²/év elektromos kapacitással üzemel. A működő rendszer által szolgáltatott adatok is alátámasztják a XXI. századra kifejlesztett térinformatikai módszereken alapuló besugárzás számítások, modellezések eredményei - szükséges minőségű input adatok megléte esetén – napenergiát hasznosító berendezések tervezéséhez kiváló alapot szolgáltathatnak, továbbá a mezőgazdaságtól kezdődően, az erdészeten, meteorológián

keresztül számos területen hasznosítanak, alkalmaznak tudományos illetve gazdasági kutatás/előrejelzés/tervezés céljából (Fu – Rich 1999., Lang 1998.).

A kutatásaim során használt ESRI – ArcGIS 8.x, 9.x, 10.x térinformatikai szoftverek nagy előnye a számos sugárzást befolyásoló paraméter beállításának lehetősége. Azonban (esetlegesen felmerülő) hátrányként a megfelelő minőségű és mennyiségű adatsorhoz való korlátozott hozzáférést lehet megemlíteni, melyek rendelkezésre állás esetén biztosítják a szoftver által kalkulált globálsugárzás számítás lehető legnagyobb pontosságát. *A széleskörű output lehetőség* (direkt, diffúz, globálsugárzás, direkt sugárzás időtartama, naptérképek, égtérképek, árnyékvetés vizsgálat), *beállítható atmoszférikus tényezők, könnyű kezelhetőség DEM alapon, továbbá a gyors és pontos számítás lehetőséget biztosít a minél pontosabb, lokális viszonyokra jellemző besugárzás modellezés lefolytatásához.* A szoftver által használt algoritmusok, kalkulált besugárzási eredmények megbízhatóságát a program széleskörű és eredményes nemzetközi alkalmazása is alátámasztja (Solar Map - MIT, Solar Insolation Model - University of Kent, Water Balance Model - University of Ohio). Megjegyzendő továbbá, hogy míg a domborzati adottságokat és csillagászati, geometriai tényezőket nagy pontossággal figyelembe tudja venni a számításoknál addig a szórási és áteresztőképesség tényezőire érzékenyen reagál, amennyiben nem megfelelően állítjuk be a parametrizálás során (Bartók 2012).

3.3.1.3.2. DSM Alapú besugárzás modellezés

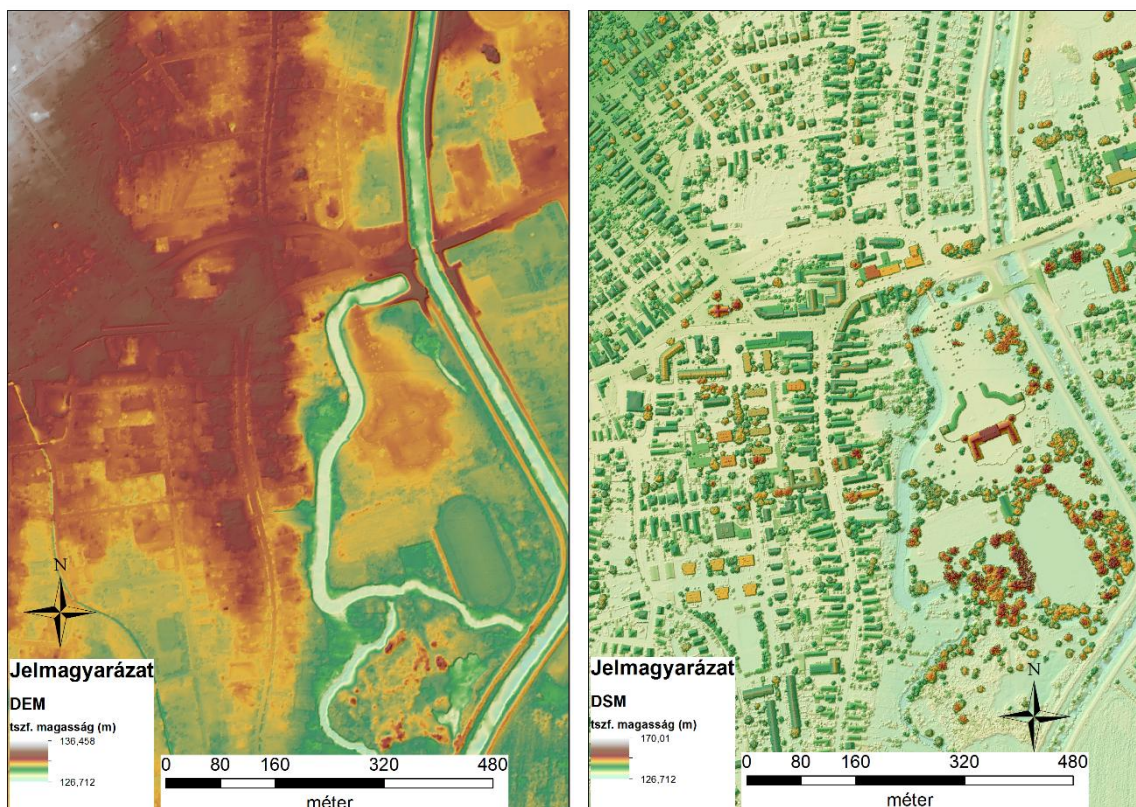
A részletes 3D-s adatok, adatbázisok utáni igény az 1990-es évektől folyamatosan növekszik. A különböző távérzékelési eljárások (ortofotó, sztereofotó, műholdas távérzékelés, lézeres mérés) megjelenésével és fejlesztésével egyre nagyobb, jobb felbontású (akár cm-es pontosságú) 3D-s domborzat illetve felszínmodelleket lehet előállítani és elemezni. Egy olyan digitális domborzatmodell/DEM, mely tartalmazza az összes felszíni tereptárgyat (környezeti, épített) digitális felszínmodellnek nevezzük (Digital Surface Model - DSM) (Widner 1997, Brovelli et al. 2002, Wilson et al. 2000). A DSM a földfeletti környezet, épített létesítmények, objektumok vízszintes és magassági helyzetét, kiterjedését, alakját is ábrázolja (17. ábra). Az épületek, objektumok 3 dimenziós ábrázolásával digitális településmodelleket készíthetünk, melyek alkalmassá válnak különböző természeti és társadalmi, gazdasági folyamatok lokális elemzéséhez, valamint elemzések, adatsorok összekapcsolásához, térképi megjelenítéséhez (Fu – Rich 1999, Wilson et al 2000).

A digitális felszín modellek (DSM) létrehozásához viszont szükségünk van a felszínen található objektumokmagassági adatainak pontos ismeretére is, melyekhez a következő 3 különböző (magasság)mérési eljárás alkalmazásával juthatunk hozzá:

1. Terepi mérés: A legalapvetőbb mérési módszer a GPS-es mérés, valamint különböző tachimetriai eszközök használata által elvégzett mérés. Hátránya viszont az időigényesség, mivel minden egyes tetőfelület magasságát egyesével kell a terepi mérés során felmérni (Mélykúti 2007).

2. Fotogrammetria / Matching – illesztési technika: amennyiben a légifényképek digitális formában állnak rendelkezésre, lehetőségünk van arra, hogy a szomszédos képeken automatikusan felkerestessük az összetartozó képpontokat. Sikeres beazonosítás után a képpontok képkoordinátái ismertté válnak, ezután ismert külső tájékozási adatok segítségével térbeli előmetszéssel számíthatók a terepi pontok térbeli koordinátái. A mérés pontossága függ a légifényképek felbontásától (Mélykúti 2007).

3. LaserScanning / LiDAR: Egy LiDAR (LightDetection And Ranging) pontfelhő előállítására a lézeres letapogatás, a lézer fény segítségével történő távolságmérésen alapszik. A mérést egy repülőgépre szerelt lézeres távolságmérővel végzik. A távolságmérés során szükséges adat a műszer térbeli helyének ismerete és a kibocsátott lézer sugáriránya, így kiszámítható a magassága annak a pontnak, melyről a lézersugár visszaverődött. A mérés által előállított pontfelhő, azután „letisztítható” az általunk érdekelt pontok halmazára, jelen esetben a tetőfelületek/épületek által visszavert pontok halmazára (Mélykúti 2007). Nagy előnye, hogy ezzel az eljárással másodpercenként több ezer pont mérésére is lehetőség nyílik és a kapott magassági értékek nagy pontosságúak (Gehrke et al 2010). A 4-5 pont/m² pontsűrűségű pontfelhő már tökéletes alapot szolgáltat egy megbízható minőségű, elemzésre alkalmas felület modell előállításához (Steinhage 2010).



17. ábra a DEM (bal) és DSM (jobb) által szolgáltatott információk közti különbség szemléltetése ugyanazon mintaterületre (Edelény) (szerkesztette Szalontai L)

A magasságmérések elvégzésére fókuszáló nemzetközi kutatások során a pontosság és a számítás hatékonyságának megőrzése érdekében a fotogrammetriai és a lézeres távolságmérést alkalmazzák a magasabb bekerülési költségek ellenére is (Dokonal et al. 2000, Kada – McKinley 2009., Kassner et al 2008., Riecken – Seifert 2012., Zhou et al 2004., Cheng et al 2011., Kocaman et al 2006., Agugiaro et al 2012., Rau et al 2004). Ennek a két eljárásnak köszönhetően megfelelő részletességű DSM-ek, épület-, város- és egyben tetőfelület modellek állíthatóak elő későbbi térinformatikai vizsgálatok lefolytatásához.

A térbeli modellezés fontos jellemzője még a *részletesség szintje* (Level of Detail, LOD). Városmodellek, épületmodellek esetén az európai viszonylatban a következő szinteket különböztetik meg (Detrekői 2010, Schneeberger – Brooker 2009):

- LOD 0: regionális modell, 2,5D terepmodell, ortofotó textúrával,
- LOD 1: város/épület modell, 3D épülettömböt ábrázoló modell alaprajzból kiindulva
- LOD 2: város/épület modell, 3D-s egyszerűsített textúrával ábrázolt falakat és tetőt tartalmazó épületmodell
- LOD 3: város/épület modell, 3D-s építészeti részletesen ábrázolt modell
- LOD 4: belső tér modell/interior modell, mely az épület külső és belső 3D modellje textúrával

Egy adott (tető)felületen hasznosítható napenergia számításához a létrehozott DSM-nél LOD 2-es részletességi szintet kell elérni, mivel ennél a részletességnél már a tetőszerkezet formája, kitettsége és dőlésének mértéke is megfigyelhető/számszerűsíthető (Kada – McKinley 2009). A LOD 2-es DSM-re ezután (DEM alapúhoz hasonlóan) futtathatóak a térinformatikai besugárzás modellező szoftverek, modulok a kutatási célokhoz különböző mértékben beállított sugárzás módosító tényezők hozzárendelése mellett.

A fentebb bemutatott besugárzás mérési (pyranométeres, műholdas) és számítási eljárások, módszerek (DEM, DSM alapú), a vizsgálat céljától, vizsgálati terület méretétől függően alkalmazhatóak megfelelő hatékonysággal (Brovelli et al 2002, Cheng et al 2011, Jakubiec et al. 2012).

A megfelelő számítások alapjául szolgáló algoritmusok, azok futtatására létrehozott térinformatikai szoftverek, a GIS környezet lehetővé tették, hogy a valós besugárzási adatokhoz közelítő, pontos koordináta szerinti besugárzás mennyiségét meg tudjuk határozni. A mérésekkel ellentétben, ebben az esetben gyorsan, nagy adatmennyiséget generálunk széles, általunk meghatározott időintervallumra (Wilson et al. 2000, Giglierano 2010, Graunthof et al. 2012) .

A DEM alapú besugárzás számítások elsősorban regionális besugárzás elemzésekhez-jellemzésekhez, valamint lokális szinten külterületi, beépítetlen területek vizsgálata esetén alkalmazhatóak különböző napenergiához kapcsolódó modellezések lefuttatásához. Ezzel szemben a DSM alapú modellezések a legalkalmasabbak a lokális szintű besugárzás számításokhoz. Az így létrehozható település-, (tető)felület modellek különböző szempontú kategorizálás, elemzések útján kataszterekbe rendezhetőek és vizsgálat céljától függően juthatunk hasznos, pontos információkhoz például egy-egy épület, városrész, település tetőfelületeinek hasznos napenergiával kapcsolatos jellemzőihez (Dokonal et al 2000, Suri et al. 2005, Dokonal et al 2008).

A napenergiához köthető beruházások bekerülési és megtérülési idejének csökkenésével, a napelemes, kollektoros rendszerek hozzáféréseinek és hasznosítási lehetőségeinek növekedésével/kiszélesedésével kiemelt jelentőségűvé vált a legnagyobb napenergia hasznosításban érdekelt csoport, a lakosság, közvetlen lakókörnyezetének/ saját tulajdonú ingatlanainak tetőfelületére érkező hasznosítható napenergia potenciáljának pontos kiszámítására. Megfelelő GIS környezetbe helyezve pedig beruházás ösztönzésre alkalmas web-alapú információszolgáltatás valósítható meg a létrehozott adatbázisokból, mely közvetett módon hozzájárul a megújuló energiához köthető ún. zöld gazdaság termelésének bővüléséhez.

4. Települési hasznosítható napenergia potenciál meghatározása

A megújuló energiaforrások, köztük a napenergia, hasznosításánál (is) törekedni kell arra, hogy az energiatermelés/átalakítás a fogyasztás helyéhez lehető legközelebb valósuljon meg, minimalizálva ezzel az energiaszállításból, energiátárolásból adódó veszteségeket. A napenergiát hasznosító, megbízható technológiák, a besugárzás elemzéshez, potenciálbecsléshez szükséges GIS környezet és módszerek kifejlődésével részletesen is vizsgálhatóvá váltak a *települések*, az *épített környezet*, mint a koncentrált lakossági energiafogyasztás helyszínei. Az 1990-es évektől kezdődően mind az Egyesült Államokban, mind az Európai Unió országaiban megkezdődtek a térinformatikai alapú, települési szintű napenergia potenciálszámítások, modellezések (többek között, a teljesség igénye nélkül) Sojer (1991), Wittmann – Bajons (1997), Winter (1994), Duffie – Luther (1991), Sandner (1993), Riecken (2012), Kassner et al. (2008), Redweik et al. (2011), Hofierka – Kanuk (2008), Izquierdo et al. (2007), Leitelt (2010), Wiginton et al. (2010), Gadsden et al (2003) munkájának is köszönhetően.

A hazai kutatások, felmérések a 2000-es évek közepétől kezdtek el a napenergia szempontjából hasznosítható tetőfelület mennyiségének/minőségének és a besugárzás nagyságának meghatározására fókuszálni. A hiányosan rendelkezésre álló és/vagy nagyon drágán hozzáférhető térinformatikai alapadatok (LiDAR és sztereofotó) elsősorban a Központi Statisztikai Hivatal, Földhivatalok adatain alapuló és saját mérésekkel, empirikus alapú becslésekkel kiegészített számítások irányába indította el a tetőfelületeken hasznosítható besugárzás mennyiségét meghatározni kívánó kutatókat. Kiemelendő közülük Lukács (2010), Kassai-Szoó (2014), akik főként a KSH adataira támaszkodva, valamint személyes megfigyelés és mintavételezés alapján becsülték meg a vizsgált térség/terület tetőfelületeinek nagyságát és az azokon hasznosítható napenergia mennyiségét. A térinformatikai alapokon nyugvó, tetőfelületekre vonatkozó napenergia potenciálszámítások első úttörőjének nevezhető hazánkban az Esztergomi Környezetkultúra Egyesület vezetésével az ISTER-GRANUM EURORÉGIÓ területén létrejött és lefolytatott „Megújuló Energia – Megújuló Határvidék” című program, melynek egyik fő eleme a megújuló energiaforrás potenciál felmérést tűzte ki célul (Borzsák et al. 2008). Az ott alkalmazott módszer alapját légifelvétel (0,5m felbontású) elemzése képezte, melynél a háztetőket tájolásuk és tetőforma (lapos ill. ferde) alapján kategorizálták és állapították meg róluk, hogy alkalmasak-e napenergia hasznosítására. A kutatás fő eredménye, hogy térinformatikai alapú számításokkal meghatározták 15 településen a kitétségi és dőlésszög alapján hasznosítható tetőfelületek

nagyságát. A másik hasonló témájú, kiemelkedő kutatás a Debreceni Egyetem vezetésével 2013-2014 között megvalósított a „Fenntartható energetika megújuló energiaforrások optimalizált integrálásával (DENzero)” című TÁMOP projekt volt. Egy 10 pont/m² pontsűrűségű LiDAR felvételt használtak, kiegészítve hiperspektrális felvételekkel, légifelvételekkel különböző városmodell klimatológiai és energetikai vizsgálatokhoz is. Kiemelten fókuszáltak az épülettípológiára (háztetők alakjának pontos meghatározása), az alacsony- és közepesen beépített területek klimatológiai sajátosságaira, illetve a városi hőszigetek vizsgálatára (DENzero 2014).

Az általam részletesen elemzett különböző amerikai és európai, 3 dimenziós város- és épületmodellek tetőfelületei besugárzási viszonyainak vizsgálatához köthető térinformatikai számítások módszertanainak összehasonlítása (M.I.T. – Mapdwell Solar System www.mapdwell.com, ViennaGIS – Solarpotenzialkataster, <http://www.wien.gv.at/flaechenwidmung>, SUN AREA – Németország városai <http://www.sun-area.net>, POLIS Project – IEE/08/603/SI2.529237 www.polis-solar.eu/, stb.) után meghatároztam a legfőbb lépéseket, melyek a legpontosabb kalkuláció alapját képezhetik a modellezéshez szükséges adatbázisok rendelkezésre állása esetén (18. ábra).



18. ábra Szolárkataszter létrehozásának főbb lépései (szerkesztette Szalontai L)

A következőekben a fenti folyamatára lépéseit követve mutatom be az első magyar szolárkataszter alapjainak előállítását, valamint későbbi ismertetem hasznosítási lehetőségeit.

4.1. Szolárkataszter létrehozásának folyamata egy magyarországi mintaterületen

4.1.1. Szükséges adatbázisok rendelkezésre állása, adatbeszerzés

A szolárkataszterek kiindulási alapját képező megfelelő minőségű/felbontású digitális felszínmodelleket (DSM) csak megfelelő minőségű adatbázisból lehet létrehozni. A XXI.

század elején a LiDAR pontfelhő és a sztereofotók feldolgozásával tudunk besugárzás modellezésre alkalmas paraméterekkel rendelkező DSM-et generálni.

Elengedhetetlen tehát a vizsgálni kívánt területre vonatkozó LiDAR-os mérésnek vagy pedig sztereofotó képpárok adathalmazának beszerzése, melyek egy-egy szolárkataszter előállításának legköltségesebb részét teszik ki. Az Egyesült Államokban és Nyugat-Európa országaiban (Németország, Ausztria, Nagy-Britannia) létrehozott (különböző típusú, minőségű) szolárkatasztereknél a fejlesztők, kutatók az összefoglalt módszertanok során hangsúlyozzák, hogy a fentebb említett alapadatokat az adott települések önkormányzatainál, hivatalainál rendelkezésükre bocsátották (Höfle et al 2009). Hazai viszonylatban elmondható, hogy szinte egyetlen település sem rendelkezik saját tulajdonú LiDAR vagy sztereofotó sorozattal, így máshonnan szükséges beszerezni a kívánt adatokat. Ilyen forrás lehet egy, a mérésre szakosodott kutatóintézet, cég megbízása a lézeres távolságmérés/ortofotók elkészítésére, vagy a Földművelésügyi Minisztériumhoz tartozó Földmérési és Távérzékelési Intézet szolgáltatásainak igénybevétele (www.fomi.hu).

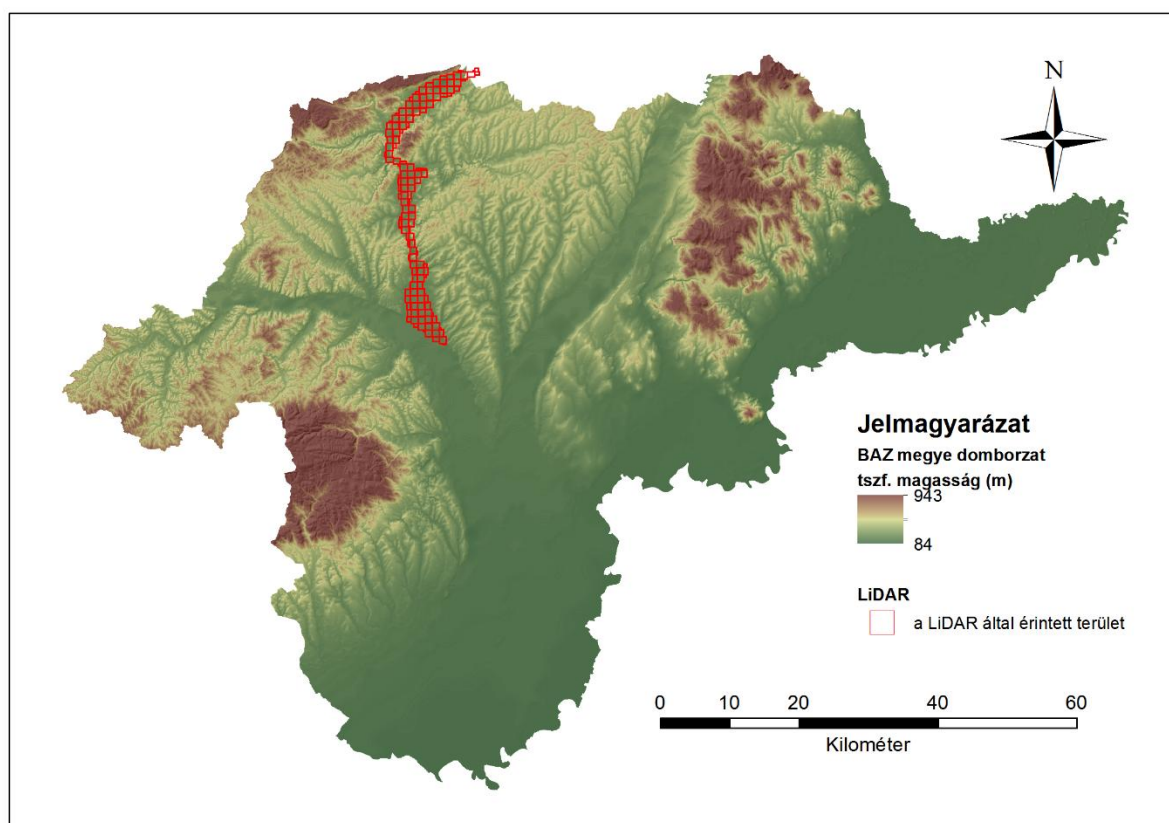
A házak, objektumok lehatárolásához szükségünk van olyan pontos térképekre, térképi adatbázisokra, melyek tartalmazzák ezen információkat (legyen az papír alapon, illetve digitális formában) (Höfle et al 2009, Izquierdio et al 2008). A szükséges adatokat különböző katasztereken, település-területrendezési terveken megtalálhatjuk, viszont a legkomplexebb és legkönnyebben elérhető adathordozók az állami ingatlan-nyilvántartási térképek. Az állami ingatlan-nyilvántartási térképi adatbázis és a tulajdoni lapi adatbázis együttesét egységes ingatlan-nyilvántartási adatbázisnak hívjuk, melynek mindkét részét a földhivatalok vezetik naprakészen. Az állami földmérési térképi adatbázis az állami ingatlan-nyilvántartási alaptérképi adatbázis kötelező alapja. Az állami földmérési alaptérképi adatbázist a papíralapú ingatlan-nyilvántartási térképek digitalizálásával, illetve új felmérések által közvetlenül állították elő és folyamatosan (3 havonta) frissítik a Nemzeti Kataszteri Program Nonprofit Kft. irányításával (www.fomi.hu, www.nkp-kft.hu). A vizsgálni kívánt terület nagyságától és a bekért adatok minőségétől függően viszont csak jelentős térítési díj ellenében lehet korlátozott időtartamig felhasználni a kapott adatbázisokat.

A hiteles, pontszerű (mérőállomásokra vonatkoztatott) meteorológiai adatsorokat az OMSZ országos mérőhálózata által rögzített mérések biztosítják. Ezen adatbázisokhoz mind kutatási, mind más jellegű használatra meghatározott feltételek mellett ingyenesen, illetve részletességtől függően különböző díjszabás ellenében lehet hozzáférni.

4.1.2. Szükséges adatbázisok beszerzése a kutatási területre

a, Távérzékelési adatok (LiDAR mérés, ortofotók)

A 2012-ben indult „Árvízi modellezés és a mentést támogató logisztikai rendszer kiépítése - FLOODLOG” című, HUSK/1001/2.1.2/0009 számú nemzetközi projekt keretén belül a Miskolci Egyetem, Földrajz-Geoinformatikai Intézete (mint főpályázó) megrendelte az Észak-Magyarországon található Bódva-folyó völgyét/árterét lefedő LiDAR felmérést és légifotózást (19.ábra).



19. ábra A LiDAR méréssel lefedett terület (szerkesztette Szalontai L)

Ezen LiDAR felmérés szolgáltatja az alapját a létrehozható, nagy felbontású DSM-nek, mellyel az első magyar szolárkatasztert lehet megalapozni. A Károly Róbert Főiskola, Távérzékelési és Vidékfejlesztési Kutatóintézet által, repülőgéppel végzett lézeres szkennelésre 2013 tavaszán került sor. Az előállított adathalmaz főbb jellemzőit a2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat A Bódva-völgyére elvégzett LiDAR mérés főbb jellemzői

Repülési sorok száma	9 repülési sáv
Repülési hossz	218 km vonalhossz
Repülési magasság	1490 m
LAS változat száma	1.2
Összes pont száma	618000000 pont
Pontsűrűség	5 pont/m ²
Légifotók száma	546 db (RGB és CIR)
Légifotók felbontása	15 cm

szerkesztette Szalontai L

A LiDAR mérés pontsűrűsége 5 pont/m², tehát a korábban említett 4 pont/m²-es pontsűrűség kritériumának megfelel ahhoz, hogy a besugárzás számításához szükséges LOD 2-es részletességi szintű épületmodelleket/felszínmodellt hozhassunk létre. A pontok osztályozásával pedig meghatározhatóakká és elkülöníthetővé válnak a felszíni objektumok és a növényzet (Tomor 2013). A nagy felbontású ortofotók pedig a később végrehajtandó ellenőrzési, korrekciós szakaszban bírnak majd nagy jelentőséggel.

b, Meteorológiai adatok

A Bódva-völgyében elhelyezkedő települések közül Edelény városában található egy OMSZ által üzemeltetett meteorológiai mérőállomás, mely rendelkezik besugárzás méréshez szükséges piranométerrel is. A kutatási célú adatkérés lehetőségével élve az 52309. számú, ÉSZ 48°17'13" KH 20°44'31" koordinátákon található „Edelény Szennyvíztisztító Telep” megnevezésű mérőállomás által 2008-2012 időszakban mért napi globálsugárzás adatsorát kértem ki. Kiegészítésre került ezen adatsor két Miskolci Egyetemen végzett földrajz alapszakos hallgató, Varga Zsófia szakdolgozatához felhasznált 2013. szeptember 1. és 2014. augusztus 31. közt, ugyanezen mérőállomás által rögzített órás szintű globálsugárzás méréseinek összesített napi besugárzás mennyiség táblázatával (Varga 2015), valamint Bokros György András szakdolgozatában a miskolci OMSZ-es mérőállomás 2009-2013 közt mért és feldolgozott napi szintű globálsugárzás értékeivel (Bokros 2014). Fontos megjegyezni, hogy míg az OMSZ globálsugárzás mérései J/cm²/időszak mértékegységgel vannak megadva, addig a Solar Radiation számításai Wh/m²-ben adják meg az adott felületre érkező besugárzás mennyiségét. Közös nevezőnek a Wh/m², valamint a kWh/m²-t használok a későbbiekben a könnyebb értelmezhetőség és hasznosíthatóság érdekében. A J/cm² és a

Wh/m² közti átváltás mértéke 2,77-es szorzóval oldható meg a fizikai mértékegységek közötti összefüggésekből következően.

c, Ingatlan-nyilvántartási térképek, kataszterek

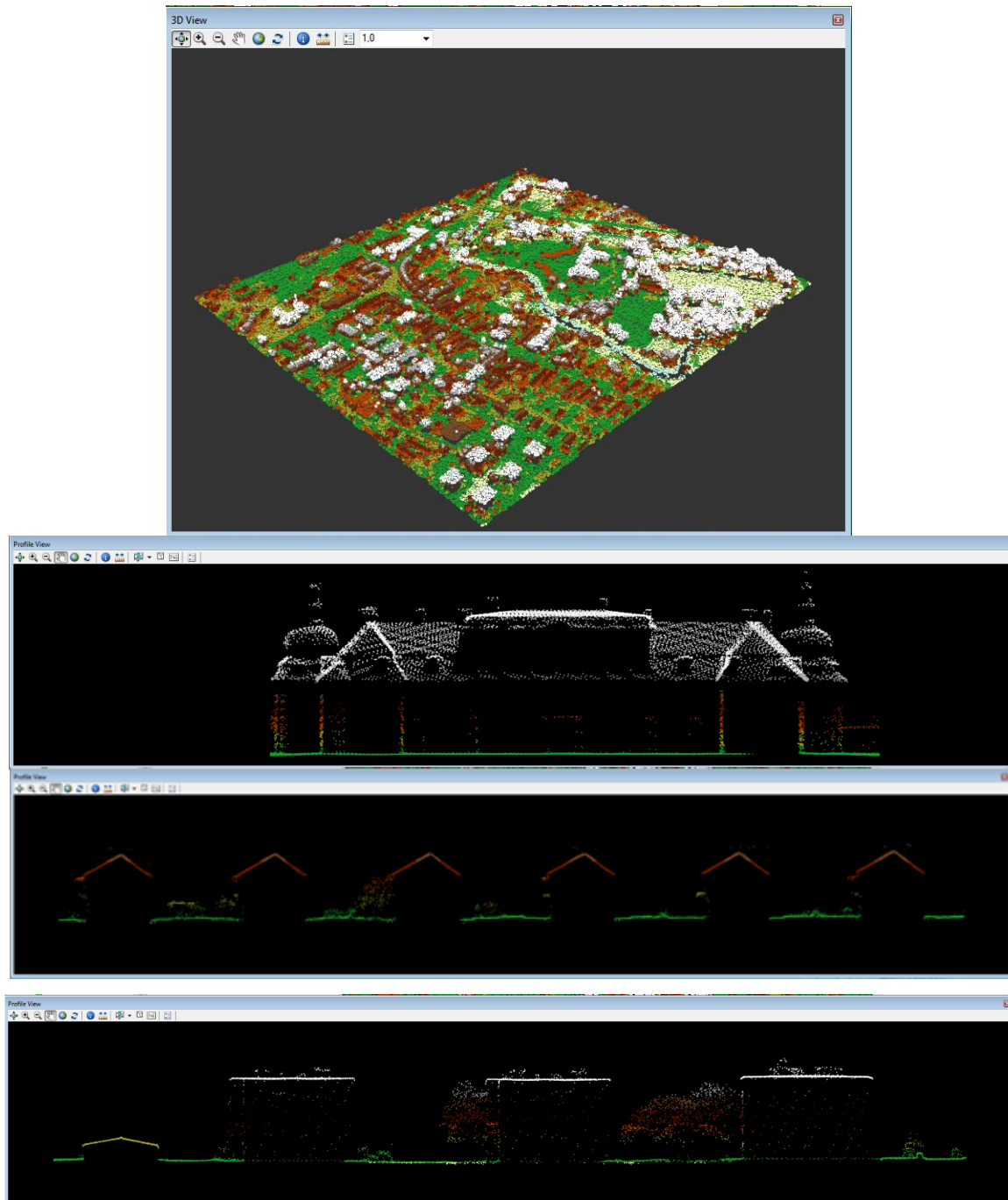
A Bódva-völgyében, a LiDAR méréssel érintett 12 településre a lehető legfrissebb ingatlan-nyilvántartási térképcsomag beszerzése nagy összegű (több millió Forint) beruházással járt volna, így a települések vezetőit, polgármestereit illetve jegyzőit, körjegyzőit felkeresve a legutolsó/legfrissebb elérhető Terület-, Településfejlesztési Terveket szereztem be, melyek 2004-2007 közti ingatlan-nyilvántartási térképek alapján készültek. Ezen papíralapú és digitális formátumban (.dwg kiterjesztésű fájlok) begyűjtött adatbázisok digitalizálásával, illetve az ArcGIS 10. által is kezelni képes formátummá való átkonvertálásával már megfelelő minőségű és a vizsgálatomhoz jól használható kataszteri térképeket állítottam elő.

4.1.3. Szolárkataszter térinformatikai előállításának lépései

4.1.3.1. LiDAR pontfelhő feldolgozása – domborzat és felszín (tetőfelület) modellek előállítása

A 618 millió térbeli pontot tartalmazó pontfelhő a lézeres távolságmérés különböző, speciális tulajdonságainak köszönhetően (1 pontról 32 osztályos mérés) csak egy „tisztításnak” nevezett eljárás után válik alkalmassá arra, hogy megfelelő minőségű, a szolárkataszternek megfelelő felszínmodellt tudjunk belőlük generálni térinformatikai szoftverek segítségével (20. ábra).

Első lépésként a pontokat tartalmazó LAS kiterjesztésű file-okat az ArcGIS 10.2 szoftver „Create LAS dataset” funkciójával közös adatbázisba rendeztem, ezáltal kezelhetővé, tisztításra alkalmassá téve azokat a szolárkataszter létrehozásához szükséges felületmodellek előállítására. Ezt követően a szükséges pontok leszűrése, rétegekké alakítása a „Make LAS dataset layer” eszköz alkalmazásával történt a pontfelhő osztályozási skálája (class) és a mérésre szolgáló lézernyalábok visszaverődésének (return) alapján (Kersting et al 2005). A kutatási területre vonatkozó pontfelhő 32 osztályt különböztet meg a lézernyaláb visszaverődésének mértékéből számítva, melyek közül 10 osztály tartalmaz pontokat. Ez a 10 osztály a következő: 1. Ismeretlen eredetű pont, 2. Felszín, 3. Alacsony vegetáció, 4. Közepes vegetáció, 5. Nagy vegetáció, 6. Épület/objektum, 7. Zaj, 8. Modell kulcs, 9. Víztest, 10. Átfedés.



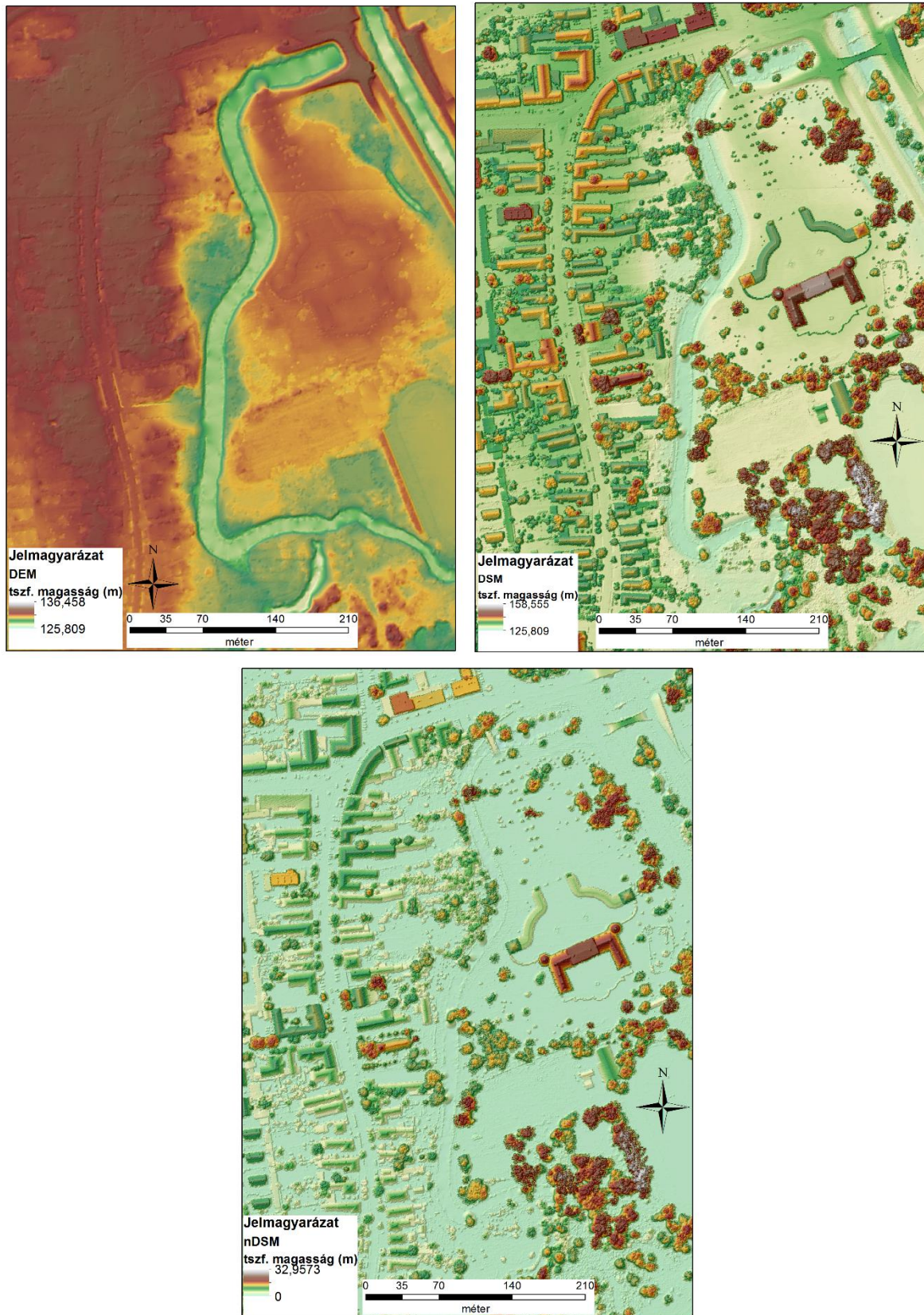
20. ábra A LiDAR pontfelhő 3D-s, valamint keresztmetszeti képei (sátortetős, illetve lapos tetős épületekre)
(szerkesztette Szalontai L)

A nemzetközi szakirodalmi kutatások eredményeire, a rendelkezésre álló osztályokra és visszaverődés értékekre alapozva az alábbi rétegeket hoztam létre, melyekből a „LAS layer to raster” eszközzel különböző rasztereket és felületmodelleket generáltam:

- Digitális domborzatmodell (DEM): felhasználásra került összes visszaverődésből származtatott mérési eredmény, kivétel az „ismeretlen eredetű”, a „zaj” és a „víztest” osztályába tartozó pontok;
- Digitálisfelszín modell (DSM): leválogatásra került a „felszín” osztályába tartozó, első visszaverődésből származó pontok halmaza;
- Intenzitásmodell: leválogatásra kerültek minden pontról, az összes osztályhoz tartozó első visszaverődés mértékét megjelenítő adatok;
- Épületmodell: az épületekről visszaverődő összes érték;
- Vegetációmodell: az „alacsony-, közepes-, magas/nagy vegetáció” osztályába sorolt pontokról visszaverődő összes érték.

A szolárkataszter szempontjából a DEM, DSM és épület modellek létrehozása az elsődleges, melyekre a későbbiekben a besugárzás számítását el tudjuk végezni. Az előállított felületmodellek 25 cm-es pixelmérettel készültek, biztosítva ezáltal a kellő részletességet a megfelelő minőségű globálsugárzás számításokhoz.

Az ArcGIS 10.2 szoftverében megtalálható „Algebra” eszközzel létrehoztam a DEM és a DSM által közölt/hordozott/megjelenített információk (3. fejezet) különbségéből adódó felületmodellt az ún. normalizált digitális felszínmodellt (normalised Digital Surface Modell, nDSM). Az nDSM-ről leolvasható minden tereptárgy felszínétől számított viszonylagos magassága, mely segítségével az épületek, objektumok, növényzet tényleges térbeli magasságát tudjuk meghatározni (21.ábra).



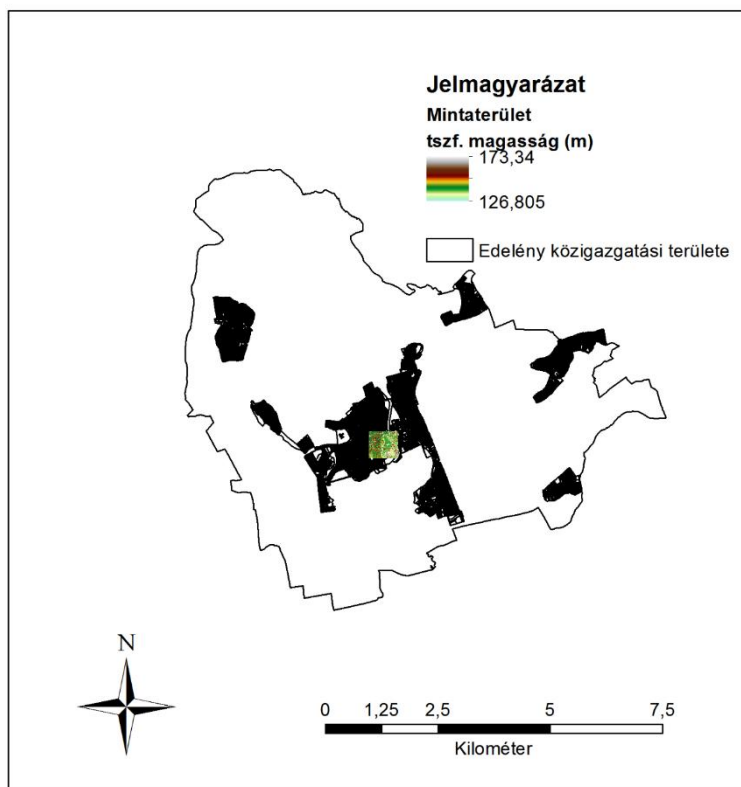
21. ábra A DEM (fent), nDSM (bal alul) és DSM (jobb alul) modelljei ugyanazon területre (szerkesztette Szalontai L)

4.1.3.2. Az ArcGIS 10.2. Solar Radiation moduljának alkalmazása a digitális felszínmodellre

Mintaterület kijelölése

A megfelelő lézeres mérési pontok/eredmények leválogatásával és azok feldolgozásával egy 25 cm-es felbontású DSM-et állítottam elő a LiDAR méréssel érintett területre. Ezen a felületen megfelelően kirajzolódnak a felszint borító tereptárgyak (a pontos 3 dimenziós ábrázolásból fakadóan), így azok a felszínre érkező besugárzást módosító hatásait (szórás, elnyelés) is figyelembe tudjuk venni.

A térinformatikai számítások, modellezések, melyeket egy szolárkataszter létrehozásához kell alkalmazni jelentős számítástechnikai kapacitásokat igényelnek, illetve időigényesek. A modellezés alapjainak lerakásához, a besugárzási számítások elvégzéséhez ezért a kutatási terület (Bódva-völgy) egy kisebb részletét jelöltem ki mintaterületnek. A mintaterületet úgy határoltam le, hogy kellőképpen városias környezet képét mutassa, érte ezalatt, hogy az épületek (sűrűbben beépített, különböző magasságú objektumok), tetőfelületek (sátortetős, lapostetős), növényzet (alacsony - magas fák az épületek közvetlen közelében) heterogenitása biztosítva legyen. Így esett a választás Edelény városának a Bódvától Nyugatra eső városmagjára (22. ábra), egy 376424 m²-es területre.



22. ábra A lehatárolt mintaterület elhelyezkedése Edelény közigazgatási határán belül (szerkesztette Szalontai L)

A mintaterületre érkező besugárzás modellezése

Az ArcGIS 10.2-ben is megtalálható Area Solar Radiation eszközzel tudunk különböző felszínekre, felület modellekre besugárzás számításokat végezni. A 3. fejezetben megemlítésre került, hogy a Solar Radiation modulban a modellezés lefuttatása előtt számtalan, a besugárzás mennyiségét, a kalkuláció pontosságát meghatározó éghajlati, csillagászati paramétert be lehet állítani a kutatás céljától függően (DEM-re vagy DSM-re szeretnénk számítani), illetve ha vannak a területre vonatkozó mért, hiteles meteorológiai adatok, akkor az azokból kinyert paraméterekkel is modellezhetjük a globálsugárzást. A következőkben bemutatom, mely paraméterek beállítása, kalibrálása elengedhetetlenül szükséges a lokális besugárzási viszonyok pontos modellezéséhez.

Meteorológiai paraméterek

A Solar Radiation eszközben két, a besugárzás mennyiségére ható légköri paraméter megadására van lehetőségünk, egyik a légkör szórási tényezője („diffuse proportion”), másik az átteresztőképessége („transmissivity”).

A *diffuse proportion* – *szórási tényező* paraméter a diffúz sugárzás fluxusának arányát határozza meg. 0 és 1 közötti értékkel lehet jellemezni a helyre vonatkozó meteorológiai adatokhoz illeszkedően. A programban az alapbeállítás 0.3, mely egy átlagos tiszta égboltnak felel meg a világban és a modulhoz tartozó szórási tényező skálán.

A *transmittivity* - *átlátszóság/átteresztőképesség* paraméter az atmoszférán átjutott/felszínre lejutott besugárzás hányadát jellemzi (átlagolva az összes hullámhosszra). Az érték itt is 0 és 1 között lehet, ahol a 0 az átteresztés teljes hiányát, míg az 1-es érték a teljes átteresztést jelenti. Az alapbeállítás itt 0.5, mely egy átlagos tiszta égboltnak felel meg a modulba épített átteresztőképesség skáláján.

Kalkulációs paraméterek

Mivel jelen esetben egy részletes, 25 cm-es felbontású felszínmodellre futtatom le a besugárzás számítást, így fontos a minél megfelelőbb térbeli számítási paraméterek beállítása is, amelyet a besugárzás modellezés közben figyelembe kell, hogy vegyen a szoftver.

Az Egységes Országos Vetületbe (EOV) georeferált DSM a Solar Radiation modulba betöltve automatikusan átállítja a raszterhez illeszkedő szélesség kört (latitude), így az

alapbeállításban szereplő 45° módosult a mintaterület átlagolt szélességi körére ($48,29^\circ$). Ez a Nap látszólagos égi pályájának (napmagasság) és a beérkező napsugárzás beesési szögének pontos kiszámításához szükséges.

A „calculation directions” értékkel a láthatóság, -árnyékoltság kalkulációja során figyelembe vett azimut irányok számát határozhatjuk meg. A megadható érték itt a 8 és többszörösei (16, 24, 32, stb.) lehetnek. A 32-es alapbeállítás egy összetett domborzati besugárzás modellezéshez javasolt, míg esetemben a komplex felszín modellre nagyobb értéket kell beállítani a minél pontosabb eredmény eléréséhez (a környező épületek, fák árnyékvetésének hatása jelentős épített környezetben). Az általam megadott 128 darab kalkulációs irány már megfelelő egy városias/urbánus környezet vizsgálatához ((Fu – Rich 1999).

„Sky size” paraméterrel az égbolt felbontását lehet beállítani, amely meghatározza az égbolt felbontását, a besugárzás számításnál hány cellára osztjuk fel a „digitális” égboltot, ahonnan a napsugárzás érkezik. A beállítható szám itt a cellák számát jelöli, amely alapesetben 200×200 . Minél nagyobb értékkel/felbontással jellemezzük az égboltot annál részletesebb és valóságosabb értéket kaphatunk. Számításom során 1200×1200 -as felbontást alkalmaztam, mellyel jelentősen növeltem a besugárzási értékek kalkulációjának minőségét (3. fejezetben kifejtett számítási módszerek alapján)(Fu – Rich 1999).

Idő paraméterek

A Solar Radiation alkalmazásánál lehetőség nyílik a besugárzás számításának időbeli jellemzőinek beállítására is. Választhatunk éves (havi bontású), speciális napokra vonatkoztatott, valamint napi (általunk meghatározott időszakot lefedő) besugárzás mennyiség számítását.

A mintaterületre lefolytatott modellezésnél a 2013.09.01-től 2014.08.31-ig tartó időszakot jelöltem meg havi besugárzás összegek (globál, direkt, diffúz sugárzás mennyiség számítás) modellezésére, 5 napos (day interval) égbolt és nap térkép frissítése/újraszámítása mellett. Az 5 napos naptérkép elegendőnek bizonyul a Nap látszólagos járásából fakadó besugárzás különbségek érzékelésére, kimutatására (Fu – Rich 1999, Dyer 2013). Lefuttattam több, éves szintű (havi bontású) globálsugárzás modellezést is, mellyel a havi besugárzási összegeket (OMSZ mérés, Solar Radiation által számított) hasonlíthatjuk össze különböző beállítású (a későbbiekben meghatározott) paraméterezés mellett.

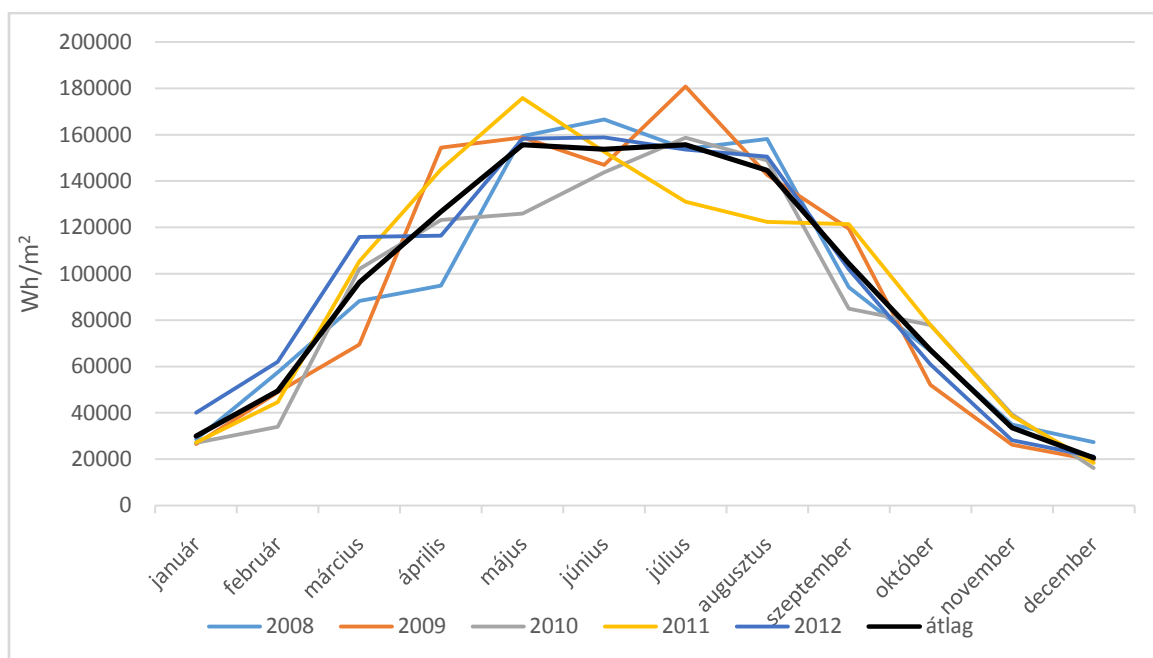
A területre alkalmazható meteorológiai paraméterek meghatározása

A helyi besugárzási viszonyokat befolyásoló éghajlati paraméterek (áteresztőképesség és szórási tényező) meghatározását az OMSZ által kiadott Magyarország Éghajlati Atlaszaiban (1960, 2010) megtalálható, a Bódva-völgyére vonatkozó, méréseken alapuló értékek összegyűjtésével kezdtem. Az atlasz 65-70 % közötti borultságot jelöl meg a kutatási területre, míg az évi napsütéses órák számát 1750-1800 óra/év-es értékkel jellemzi, továbbá a Bódva-völgy területére érkező globálsugárzást 4300-4400 MJ/m²-nek adja meg éves szinten, ami 1194-1222 kWh/m²-nek felel meg. Ezen besugárzási értékek a magyarországi mérőállomások által mért globálsugárzási adatok interpolációjával kerültek meghatározásra, ezért csak általános tájékoztatásra alkalmasak az elméleti beérkező napenergia potenciálról, amelyet a tetőfelületek kitétsége és lejtése, a domborzat, tereptárgyak jelentősen módosítanak egy települési környezet besugárzás jellemzésénél.

További globálsugárzásra (vízszintes, ill. legjobb dőlésszög esetén) illetve direkt/diffúz sugárzás arányára vonatkozó adatsorokat, adatbázisokat szolgáltat a JRC PVGIS adatbázisa (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>), és a CARPATCLIM adatbázisa (carpatclim.eu.org), mely a Kárpát-medencében rendelkezésre álló meteorológiai mérőállomások mérésein (akár 50 éves) alapuló homogenizált, interpolált eredményeket jelenít meg. A Föld légkörének külső határára, illetve a felszínre érkező összes, illetve lehetséges besugárzás mennyiségére vonatkozó hiteles, számított adatokat a Solar Radiation Data (www.soda-is.com) adatbázisából nyertem.

Transzmisszivitási tényező meghatározása

Kutatásom során kikértem az (ingyenesen hozzáférhető, kutatási célokra a lehető leghosszabb időtartamra vonatkozó) OMSZ edelényi mérőállomása által 2008-2012 közt, vízszintes felületen rögzített, napi globálsugárzás mennyiséget tartalmazó adatsorait, melyeket havi bontású mennyiségi adatsorokká alakítottam át (23. ábra). A vizsgált öt éves időszakban az edelényi mérőállomáson az évi átlagos globálsugárzás mennyiség 1137,31 kWh/m². A mért adatok átlaga és az előbb említett interpolált, országos léptékű térképeken megjelenített értékek között felfedezhető egy nem túl jelentős (60-90 kWh-nyi) beérkező energiamennyiség különbség.



23. ábra Az edelényi mérőállomás által rögzített napi globálisugrász adatok összehasonlítása 2008-2012 közti időszakra vonatkozóan
forrás: OMSZ, szerkesztette Szalontai L

A mérőállomás által rögzített eredmények 5 éves havi átlagértékeinek, valamint a csillagászatilag meghatározható elméleti, az adott koordinátára érkező besugárzás átlagos havi mennyiségének hányadosaként meghatározható a transzmisszivitás azaz az átteresztőképesség mértéke, melyet havi bontásban az 3. táblázat tartalmaz.

3. táblázat Transzmisszivitás értékének meghatározása a légkör külső határára illetve a felszínre érkező besugárzás adatokból

	OMSZ 5 éves átlag (kJ/m ²)	Légkör külső határára számított (kJ/m ²)	Transzmisszivitás
január	107441,8	319736,1	0,34
február	177648,4	454222,7	0,39
március	346269,8	747752,5	0,46
április	456269,6	976945,7	0,47
május	560285,6	1205914	0,46
június	553343	1249207	0,44
július	560139,6	1242588	0,45
augusztus	520246,6	1074513	0,48
szeptember	375755,8	806698,6	0,47
október	241381,8	573825,4	0,42
november	120432,4	354202,4	0,34
december	73770,6	273578,7	0,27

forrás: SoDa, OMSZ, szerkesztette Szalontai L

A mérések alapján meghatározott áteresztőképesség tényezőt a későbbiek során a havi szintű besugárzás számításnál alkalmazom majd, mint az egyik fontos beállítható légköri paraméter.

Szórási tényező – a direkt/diffúz sugárzás arányának meghatározása

A direkt/diffúz sugárzás arányát a paraméter komplexitásából fakadóan nem lehet ilyen egyszerű adatokon alapuló számításokkal meghatározni. Ezen paraméter minél pontosabb terület specifikus megállapítására egyrészt a JRC PVGIS adatbázisában az edelényi mérőállomás koordinátájára vonatkozó adatokat, valamint egy Budapesten található mérőállomás 1961-2010 közt rögzített diffúz és globálsugárzás havi összegeinek arányára vonatkozó adatsor eredményeit használtam fel (4. táblázat).

4. táblázat Szórási tényezők Budapesten illetve Edelény koordinátájára

	Interpolált JRC D/G (Edelény koordináta)	30 éves mért Budapest D/G
január	0,71	0,73
február	0,65	0,67
március	0,54	0,63
április	0,46	0,58
május	0,47	0,56
június	0,46	0,51
július	0,45	0,52
augusztus	0,4	0,53
szeptember	0,5	0,54
október	0,54	0,56
november	0,64	0,68
december	0,75	0,75

forrás: JRC – PVGIS adatbázis, Nagy 2009, szerkesztette Szalontai L

A meteorológiai paraméterek alternatív meghatározására alkalmaztam James Dyernek, az Egyesült Államokbeli Ohio-i Egyetem kutatója által megalkotott diffúz sugárzás és transzmisszivitási tényezők parametrizálására szolgáló eljárását is. A parametrizálási folyamat lényege, hogy a pont alapú globálsugárzás mérési eredmények (esetemben az OMSZ – edelényi állomás 5 éves havi bontású) összevetésre kerülnek az ugyanazon koordinátára vonatkoztatott pont alapú havi besugárzás modellezéssel, még pedig úgy, hogy a térinformatikai kalkuláció során a Solar Radiationban beállítható összes lehetséges meteorológiai paraméter variációt végigfuttatjuk (Dyer 2009, Dyer 2015). Ezt követően a modellezés eredményeül kapott értékeket egy erre megfelelő excel táblázatba helyezzük és a megfelelő függvények alkalmazásával a mért eredményekhez legközelebbi számított értéket adó paramétereket könnyedén le tudjuk válogatni (5. táblázat, VIII. melléklet).

5. táblázat A Dyer-féle parametrizálás nyers eredménye

(D\G – szórási tényező; T – áteresztőképesség; T0 – T11 – a hónapok jele (január-december);

értékek Wh/m²/hónap-ban szerepelnek)

(Wh/m2)	OMSZ adat -->	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Latitude	Longitude	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
48,17	20,44	29847,33	49350,73	96193,75	126751,69	155647,34	153718,69	155606,78	144524,51	104384,96	67055,86	33456,12	20493,47
D/G	T	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
0,2	0,3	2782,04	8097,03	24956,55	47352,77	71001,68	77143,03	75389,45	56556,12	31398,42	12006,56	3594,16	1678,68
0,2	0,4	6422,37	15358,93	40727,54	71457,55	103826,10	111651,35	109685,35	84233,68	49830,09	21652,83	7886,94	4240,43
0,2	0,5	12413,72	25439,05	59884,96	98818,43	140270,93	149696,37	147624,44	115354,32	71677,91	34458,84	14645,31	8804,49
0,2	0,6	21468,14	38710,00	82478,04	129358,12	180309,88	191323,41	189200,55	149855,16	96932,72	50709,28	24496,70	16170,60
0,2	0,7	34446,61	55643,79	108685,96	163154,56	224093,29	236782,02	234592,35	187842,19	125728,05	70792,49	38196,68	27345,32
0,3	0,3	3288,54	9333,41	28070,23	52317,42	77707,62	84234,80	82402,82	62250,63	35093,44	13737,58	4222,53	2004,94
0,3	0,4	7618,03	17771,28	45974,00	79179,61	113875,17	122167,90	120138,22	92956,36	55881,58	24869,63	9299,14	5079,98
0,3	0,5	14785,47	29558,86	67867,01	109850,68	154213,88	164170,90	162067,33	127666,59	80682,12	39746,52	17340,35	10586,51
0,3	0,6	25699,08	45200,36	93896,21	144333,49	198783,96	210376,68	208271,08	166402,38	109578,24	58779,17	29153,58	19533,25
0,3	0,7	41502,61	65365,45	124408,12	182852,82	247893,27	261195,75	259083,88	209425,12	142866,76	82551,21	45755,51	33230,86
0,4	0,3	3963,87	10981,92	32221,81	58936,95	86648,89	93690,50	91753,97	69843,30	40020,13	16045,62	5060,37	2439,95
0,4	0,4	9212,25	20987,73	52969,29	89475,69	127273,93	136189,97	134075,38	104586,59	63950,24	29158,68	11182,07	6199,39
0,4	0,5	17947,80	35051,94	78509,75	124560,35	172804,50	183470,26	181324,51	144082,96	92687,74	46796,75	20933,75	12962,54
0,4	0,6	31340,33	53854,18	109120,45	164300,64	223416,06	235781,04	233698,44	188465,34	126438,94	69539,01	35362,76	24016,79
0,4	0,7	50910,61	78327,67	145371,01	209117,17	279626,57	293747,40	291739,25	238202,37	165718,37	98229,50	55833,95	41078,25
0,5	0,3	4909,32	13289,84	38034,02	68204,28	99166,65	106928,49	104845,58	80473,05	46917,50	19276,87	6233,34	3048,97
0,5	0,4	11444,15	25490,77	62762,69	103890,20	146032,19	155820,88	153587,41	120868,92	75246,36	35163,37	13818,16	7766,55
0,5	0,5	22375,06	42742,26	93409,58	145153,87	198831,35	210489,38	208284,56	167065,86	109495,60	56667,07	25964,51	16288,98
0,5	0,6	39238,09	65969,51	130434,38	192254,66	257901,01	271347,14	269296,76	219353,48	150043,92	84602,80	44055,60	30293,74
0,5	0,7	64081,81	96474,77	174719,05	245887,27	324053,20	339319,70	337456,77	278490,52	197710,62	120179,11	69943,76	52064,60
0,6	0,3	6327,51	16751,71	46752,33	82105,29	117943,30	126785,46	124483,00	96417,67	57263,56	24123,74	7992,80	3962,50
0,6	0,4	14791,99	32245,33	77452,79	125511,96	174169,58	185267,23	182855,45	145292,41	92190,55	44170,39	17772,31	10117,30
0,6	0,5	29015,95	54277,74	115759,32	176044,17	237871,64	251018,05	248724,65	201540,22	134707,39	71472,55	33510,65	21278,64
0,6	0,6	51084,73	84142,52	162405,28	234185,68	309628,43	324696,29	322694,22	265685,69	185451,39	107198,48	57094,87	39709,17
0,6	0,7	83838,61	123695,42	218741,10	301042,41	390693,15	407678,16	406033,05	328222,74	245698,99	153103,52	91108,48	68544,11
0,7	0,3	8691,15	22521,49	61282,84	105273,63	149237,72	159880,42	157212,03	122992,02	74506,98	32201,86	10925,23	5485,05
0,7	0,4	20371,74	43502,93	101936,29	161548,23	221065,22	234344,49	231635,51	185998,23	120430,85	59182,10	24362,56	14035,21
0,7	0,5	40084,10	73503,54	153008,89	227527,99	302938,78	318565,84	316124,79	258997,49	176727,05	96148,36	46087,54	29594,74
0,7	0,6	70829,13	114430,86	215690,11	304070,71	395840,80	413611,55	411690,00	342906,05	244463,83	144857,95	78826,98	55401,55
0,7	0,7	116766,61	169063,17	292111,20	392967,64	501759,72	521608,93	520326,84	439643,11	325679,62	207977,54	126383,01	96009,98

A parametrizálási eljárás során az év 12 hónapjára kapott, legjobb 5 transzmisszivitási és szórási tényezőt, a 6. táblázat foglalja össze.

6. táblázat A Dyer-féle parametrizálás eredményeként kapott szórási tényezők és transzmisszivitási értékek

	1. legjobb		2. legjobb		3. legjobb		4. legjobb		5. legjobb	
	D/G	T	D/G	T	D/G	T	D/G	T	D/G	T
január	0,6	0,5	0,4	0,6	0,3	0,6	0,2	0,7	0,5	0,5
február	0,3	0,6	0,4	0,6	0,6	0,5	0,7	0,4	0,2	0,7
március	0,3	0,6	0,5	0,5	0,7	0,4	0,2	0,7	0,4	0,6
április	0,6	0,4	0,7	0,3	0,5	0,5	0,2	0,5	0,4	0,5
május	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,5	0,2	0,5	0,4	0,5
június	0,5	0,4	0,2	0,5	0,7	0,3	0,3	0,5	0,4	0,4
július	0,7	0,3	0,5	0,4	0,3	0,5	0,2	0,5	0,4	0,4
augusztus	0,4	0,5	0,6	0,4	0,2	0,6	0,3	0,5	0,7	0,3
szeptember	0,5	0,5	0,3	0,6	0,2	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4
október	0,4	0,6	0,2	0,7	0,6	0,5	0,7	0,4	0,3	0,6
november	0,6	0,5	0,4	0,6	0,3	0,6	0,2	0,7	0,5	0,5
december	0,6	0,5	0,3	0,6	0,4	0,6	0,5	0,5	0,2	0,6

szerkesztette Szalontai L

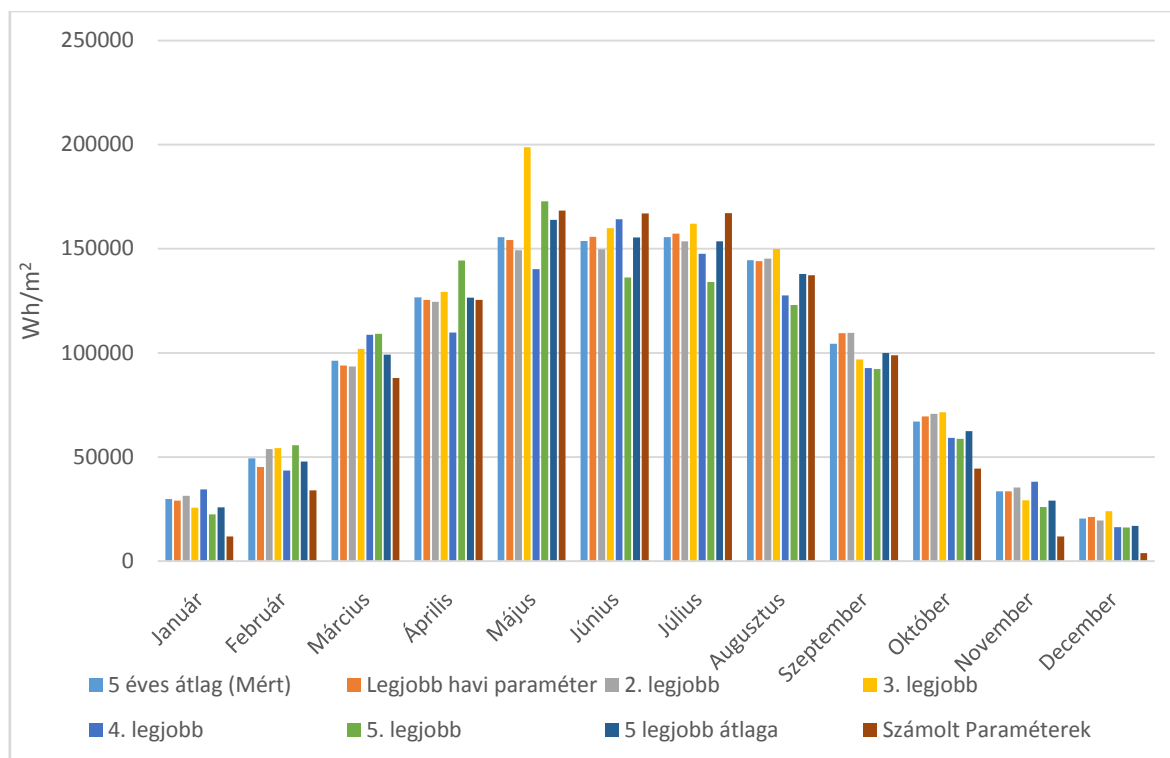
Összevetve az így kapott paramétereket jelentős különbségeket találhatunk a 3. és a 4. táblázatban közölt számított és mért értékéhez képest főként a tavaszi és nyári hónapok esetében. A különböző módon kapott paraméterekkel el lehet kezdeni a besugárzás modellezést az OMSZ edelényi mérőállomásának koordinátájára illeszkedően, mely besugárzás modellezést a következőekben írom le.

A számított és mért meteorológiai tényezők alkalmazása a Solar Radiation modulon belül

4.2. Vízszintes felületre történő globálisugárzás számítás

Az OMSZ mérőállomásain a globálisugárzás mérése síkfelületre vonatkoztatva történik, ezért, hogy a korábban megállapított, meghatározott meteorológiai paramétereket az adott helyre vonatkozó kalkulációba (jelen esetben a Bódva-völgye) a Solar Radiationben beállíthassuk a mérőállomás koordinátájára vonatkoztatott „Point Solar Radiation” modult alkalmaztam elsőként. Ezen modul lehetőséget biztosít az általunk megadott koordinátára (pontra) vonatkozó besugárzás mennyiség kiszámítására az általunk betáplált, beállított adatok alapján.

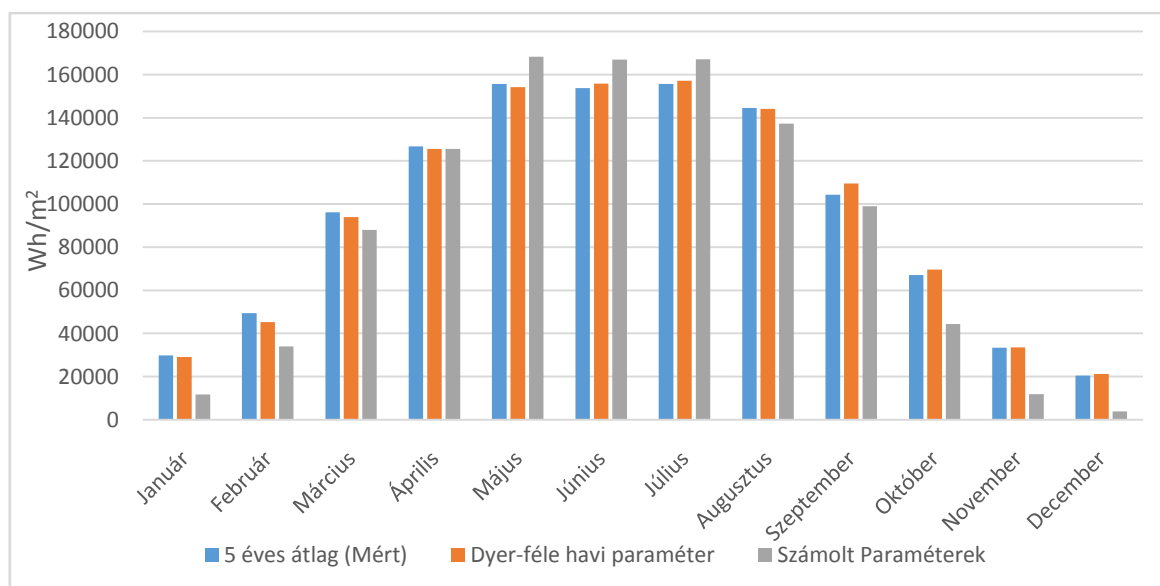
A mérőállomás koordinátájára lefuttatott besugárzás számításoknál az 4., 5. és 7. táblázatban megjelenített transzmisszivitási valamint szórási tényezőket alkalmaztam, melynek eredményeit az 24. ábrán összegeztem.



24. ábra Az edelényi mérőállomás koordinátájára vonatkozó besugárzás számítás eredményei különböző légköri paraméterek esetén
forrás: OMSZ, szerkesztette Szalontai L

Letisztítva, csak az OMSZ által rögzített, a Dyer féle parametrizálással megkapott legjobb paraméterek, valamint a mért adatok alapján számított légköri paraméterek alkalmazásával a mérőállomás pontjára kapott vízszintes felületre vonatkozó, kalkulált havi globálsugárzás mennyiségeit a 25. ábra jeleníti meg.

Számszerűsítve a mérési illetve a modellezett eredményeket megfigyelhető, hogy a Dyer-féle parametrizálással kapott tényezők beállításával a havi globálsugárzás mennyiségek a helyszínen mért besugárzás összegektől 5 éves átlagától kis mértékben térnek el. 11 hónap esetében 5 % alatti az eltérés, egyedül a februári eredménynél fordul elő 9,18 %-os differencia. A JRC és OMSZ-es adatsorokból származtatott, valamint kinyert légköri paraméterekkel lefolytatott globálsugárzás modellezés esetén jelentősebb különbségek tapasztalhatóak. 3 esetben (január, november, december) 150 %-ot is meghaladó, míg 2 esetben (február, október) 50 % közeli a mért és a számított havi sugárzásösszegek közötti eltérés, míg a többi hét hónapnál 10 % alatt maradt vízszintes felületre globálsugárzások havi összegének különbsége (7. táblázat).



25. ábra Az edelényi mérőállomás koordinátáján mért (OMSZ), valamint különböző éghajlati paraméterekkel modellezett besugárzás összegek, forrás: OMSZ, szerkesztette Szalontai L

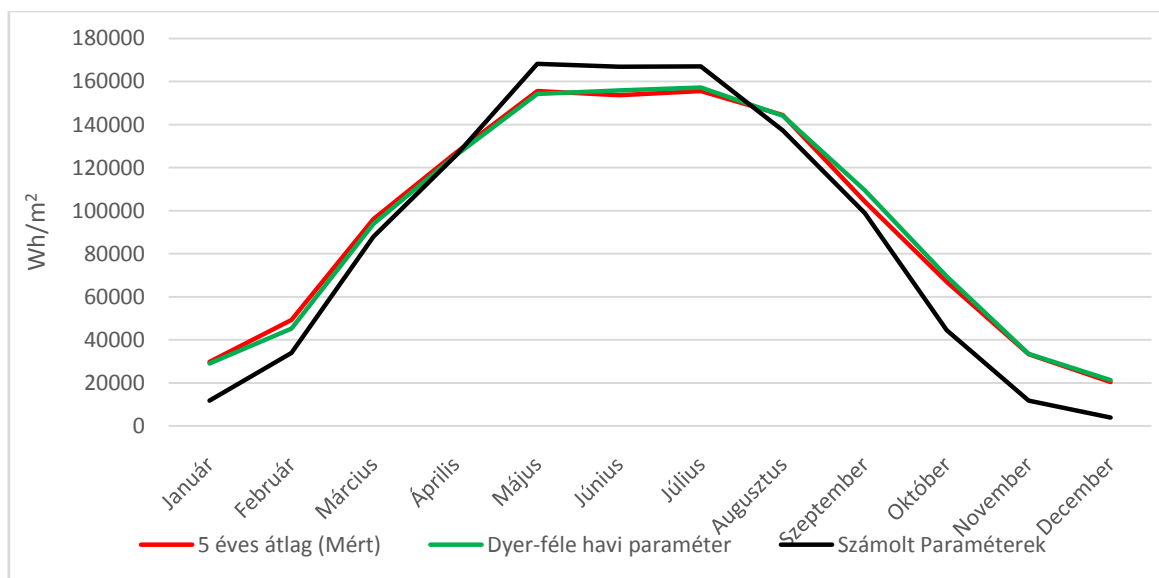
A napenergiát hasznosító berendezések üzemeltetéséhez az éves szintű besugárzás/hasznosítható napenergia mennyisége a mérvadóez alapján lehet egy napelemes, napkollektoros rendszert megtervezni. Így érdemes az éves összegek közti eltérést is megnézni, melynek alapján a Dyer-féle meghatározással nyert legjobb paraméterekkel kapott havi besugárzásösszegek éves mennyisége csupán 0,15 %-kal tér el az 5 éves OMSZ-es átlagtól, míg a mért-számított paraméterek esetén ez a mérték már 7,47 %-ot mutat.

7.táblázat Az edelényi mérőállomás koordinátájára különböző áteresztőképesség és szóródási tényezőkkel lefuttatott, vízszintes pontra vonatkozó besugárzásszámítás eredményei (Wh/m²)

	OMSZ mért (5 éves átlag)	Dyer-féle paraméter		Mért/számított paraméter	
	Globálsugárzás (Wh/m ²)	Globálsugárzás (Wh/m ²)	Differencia (%)	Globálsugárzás (Wh/m ²)	Differencia (%)
január	29847	29016	2,87	11776	153,47
február	49351	45200	9,18	34000	45,15
március	96194	93896	2,45	87989	9,32
április	126752	125512	0,99	125501	1,00
május	155647	154214	0,93	168287	7,51
június	153719	155821	1,35	167006	7,96
július	155607	157212	1,02	167066	6,86
augusztus	144525	144083	0,31	137289	5,27
szeptember	104385	109496	4,67	98937	5,51
október	67056	69539	3,57	44436	50,90
november	33456	33511	0,16	11797	183,59
december	20493	21279	3,69	3881	428,03
összesen	1137031	1138778	0,15	1057964	7,47

forrás: OMSZ, szerkesztette Szalontai L

A későbbiekben a mintaterületre a megválasztható, legjobb havi globálisugrázási összegeket adó transzmisszivitási paramétereket (Dyer-féle), illetve szóródási tényezőket választjuk ki a DSM alapú besugárzás modellezéshez, ugyanis ezen paraméterek esetén a havi és az éves globálisugrázás összegei kevesebb, mint 1 %-kal térnek el az Országos Meteorológiai Szolgálatnak a mintaterület közvetlen közelében elhelyezkedő mérőállomása által rögzített 5 éves globálisugrázás mennyiségének átlagától (26. ábra). Legjobb paraméter megnevezéssel a későbbiek során a Dyer-féle parametrizálással kapott meteorológiai tényezőket jelölöm.



26. ábra A pont alapú besugárzás modellezés havi globálisugrázás összegeinek összevetése az OMSZ által rögzített 5 éves átlaggal
forrás: OMSZ, szerkesztette Szalontai L

A Dyer-féle parametrizációs módszer segítségével meghatározhatók azok a hónap specifikus átlátszósági és szórásai tényezők, melyeket a Solar Radiation – Point Solar Radiation moduljában (bemenő paraméterként) megadva nagy pontossággal kiszámítható a vízszintes felületre érkező globálisugrázás mennyisége. A kutatási területen az így számított globálisugrázás éves értéke kevesebb, mint 1%-kal tér el az OMSZ által mért sokéves átlagtól, míg az éghajlati atlaszokban és területi elemzésekben megadott légköri jellemzők alapján meghatározott paraméterek használatával 8%-os eltérés adódik a mért és a számított értékek között.

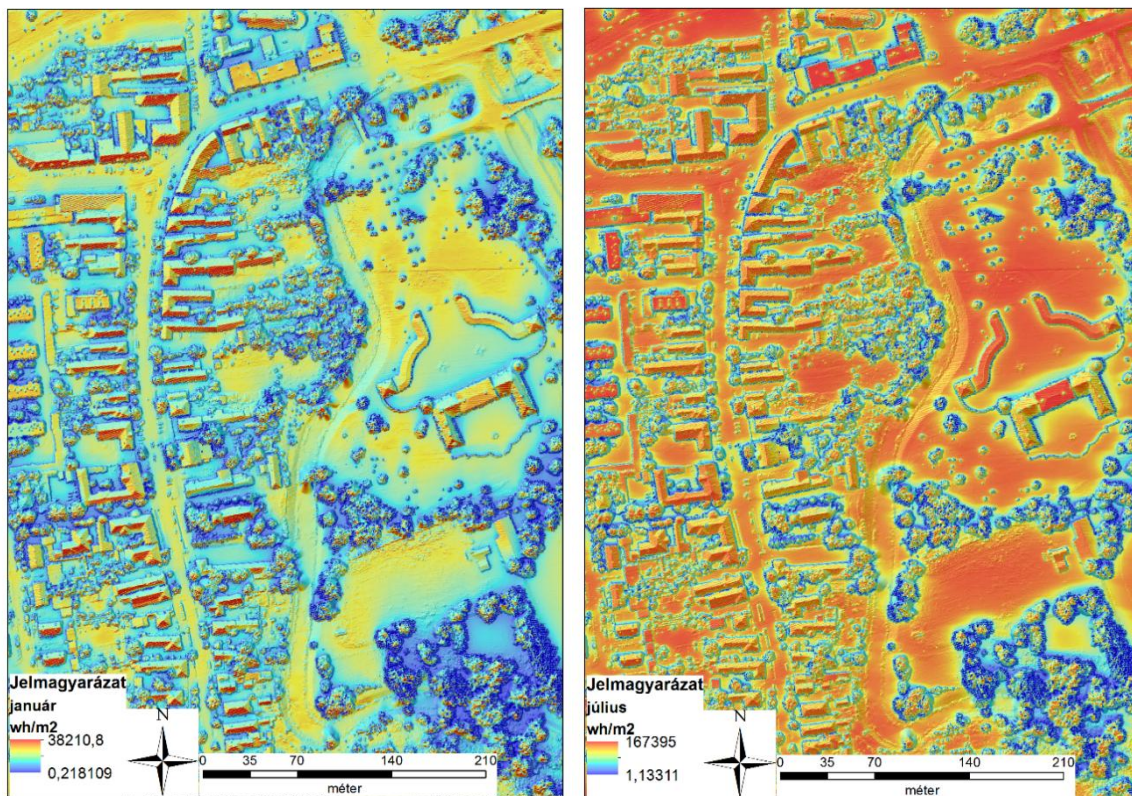
A rendelkezésre álló adatok (számított és mért átlátszósági – szórásai tényező), és paraméter becslési eljárások közül a Dyer-féle parametrizációs eljárás adja a legjobb közelítést az OMSZ 5 éves mért adatsorának havi és éves átlagértékeihez. (Tézis 1.)

4.3. DSM-re lefutott Area Solar Radiation eredménye

Az előzőekben bemutatásra került, hogy hogyan lehet egy adott területre (síkfelületre) a legpontosabban meghatározni a besugárzási tényezőket, hogy azok a hivatalos mérőállomások által rögzített adatoktól minmális mértékben (<1 %; < 8%) térjenek el. Ezen paraméterek ismeretében már lefolytatható a LiDAR pontfelhőből előállított digitális felszín modellre globálsugárzás számítás, melyet az Area Solar Radiation futtatásával érhetünk el.

A mintaterületemre a korábban meghatározott csillagászati, légköri, kalkulációs paraméterekkel (8. táblázat) futtattam le egy 5 napos valamint egy, havi bontású globálsugárzás számítást (27., 28. ábra).

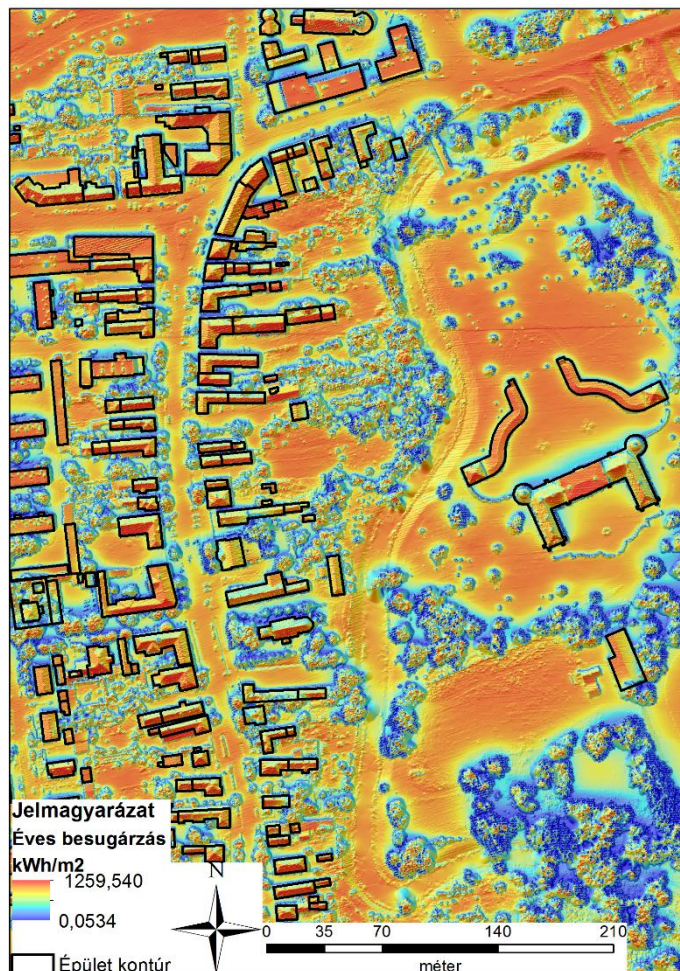
A globálsugárzás számítása a beállított paraméterektől, a számítás részletességének fokától és a számítógép teljesítményétől függően hosszabb ideig, akár hetekig is eltarthat ezért volt indokolt, a kis mintaterület kijelölése és a későbbiekben az egész LiDAR méréssel érintett kutatási területre (Bódva-völgy) alkalmazható paraméterek meghatározása.



27. ábra Példa a napi bontású (5 napos) globálsugárzás számítás havi eredménye a mintaterületen januárban (bal oldal) és júliusban (jobb oldal)(szerkesztette Szalontai L)

A kijelölt mintaterületen, a legideálisabb tetőfelületekre (besugárzást zavaró környezetet nélkülöző, D-i kitettséggű, 35-43°-os dőlésszögű) érkező éves globálsugárzás

maximális mennyisége a fentebb meghatározott, beállított paraméterek mellett 1260 kWh/m²lett, míg a legalacsonyabb értékeket (0,005 kWh/m²) az észak felé néző, árnyékos, magas növényzet és/vagy épületek szomszédságában elhelyezkedő területeknél találhatjuk (28. ábra).



28. ábra Az egész évre vonatkozó globálsugárzás összmenyisége a mintaterületen (szerkesztette Szalontai L)

8. táblázat A módosítással érintett globálsugárzás számítási paraméterek a mintaterületre lefolytatott modellezés során

Főbb paraméter megnevezése	Érték
Földrajzi szélesség	É SZ 48,3°
Égbolt felbontása	1200 x 1200
Számítási időköz beállítás	Napi (5 napos időközzel), Éves (havi bontással)
Kitettség és dőlésszög	DSM alapján
Árnyékosultság számításához figyelembe vett azimut irányának mennyisége	128
Szóródási/szórt sugárzás tényező	6. táblázat szerint
Transzmissziós tényező	6. táblázat szerint

szerkesztette Szalontai L

A DSM-re lefolytatott globálisugárzás kalkulációnál, a tetőfelületeknél számított maximális értéket (1260 kWh/m²/év) összevetve az OMSZ által síkfelületen rögzített 5 éves átlag globálisugárzási mennyiséggel (1137 kWh/m²/év), kiszámítható, hogy az eltérés a két összeg között 111 kWh/m²/év, amely 10 %-os differenciát jelent. A DSM sík felületén ez az érték 1138 kWh/m²/év, ami kevesebb, mint 1 %-ban tér el a mérőállomás által rögzített 5 éves adatsor éves átlagától. Ezen mért és számított adatok, valamint az interneten illetve nemzetközi és hazai szakirodalmakban is megtalálható interpolációs módszerrel a Bódva-völgy területére leolvasható globálisugárzás mennyiségek összehasonlítását a 9. táblázat tartalmazza.

9. táblázat A nemzetközi és hazai kutatóintézetek által interpolált és mért adatok összehasonlítása a Solar Radiation által generált besugárzás eredményeivel

	Globálisugárzás mennyiségének meghatározása	Globálisugárzás maximum mennyisége (kWh/m ² /év)
JRC - PV GIS (vízszintes felület)	interpoláció	1200-1250
JRC - PV GIS (optimális szögű felületre)	interpoláció	1350-1400
OMSZ Éghajlati Atlasz (vízszintes felületre)	interpoláció	1194-1222
OMSZ Edelény (vízszintes felületre)	mért adat	1137
Point Solar Radiation (vízszintes felületre –Dyer-féle paraméterekkel)	számított adat	1138
Point Solar Radiation (vízszintes felületre - számított paraméterekkel)	számított adat	1057
Area Solar Radiation (Dyer-féle parametrizálás)	számított adat	1260
Area Solar Radiation (számított paraméterekkel)	számított adat	1196

forrás: re.jrc.ec.europa.eu/pvgis, www.met.hu, szerkesztette Szalontai L

A fentebbi táblázat is szemlélteti, hogy a mintaterületre vonatkozó számított besugárzási adatok 1400 és 1057 kWh/m²/év értékek közt szóródnak, függően az alkalmazott számítási módszerektől. Az interpolációs módszereknél a kis felbontásból eredően felülbecsült értékekkel találkozunk a mért adatsorhoz képest, míg az egyéni paraméter beállításoknak köszönhetően a hiteles mérőállomás adataihoz képest akár 1 %-on belüli eltéréssel bíró éves, havi szintű globálisugárzás összegeket is képesek vagyunk számítani. Még a legalacsonyabb értéket képviselő ideálistól rosszabb paraméterek esetén (sík felület) is az 1057 kWh/m²/éves érték már megfelelő a napelemes, napkollektoros rendszerek gazdaságos üzemeltetéséhez (EREC 2008, IRENA 2014). Elmondható, hogy Dyer-féle parametrizálási módszerrel kapott légköri paraméterekkel való globálisugárzás mind havi, mind éves szinten jóval pontosabb

értékeket eredményez az OMSZ mérőállomása által mért adatokhoz viszonyítva, mint ahogy a számított és hazai, nemzetközi méréseken, illetve interpolációkon alapuló transzmisszivitási és szórási tényező meghatározása által használt paraméterek esetében történt. Noha a kétféle paraméterezéssel lefolytatott besugárzás modellezés éves szinten az 5 évre vonatkozó valós adatoktól kevesebb, mint 8 %-kal tér el a későbbiekben a kisebb különbséget (< 1 %) adó Dyer-féle parametrizálással megkapott légköri tényezőket használtam a digitális felszín modellre folytatott besugárzás modellezésénél.

Az alkalmazott országos léptékű hazai és nemzetközi globálsugárzás becslési módszerek (interpolálás által kiterjesztett országos globálsugárzás becslések/számítások) jelentősen pontosíthatóak a domborzatmodell alapú besugárzás becslési eljárások használatával. A kis számú kalibrációs adatból származtatott kis felbontású adatok (OMSZ mérőállomások által vízszintes felületre mért globálsugárzási adatsorok) használata mellett, jelentősen növeltem a térbeli felbontást nagy felbontású környezeti változók modellbe illesztésével (csillagászati-, légköri-, topográfiai-, kalkulációs-paraméterek) ezáltal tovább pontosítottam a számítás paramétereit. Ez lehetővé tette a tényleges, helyi környezet változásából fakadó sugárzasmódosítás jellemzését, melyek nélkül a mesterséges és természetes felszíni objektumok modellbe illesztése nem lehetséges.

Az ilyen módon létrehozott besugárzási adatok megtartják a kis felbontású adatok térbeli szerkezetét, de a vizsgálati helyre származtatott/parametrizált légköri, csillagászati (adott koordinátára vonatkozó) paraméterekkel módosítva adatot szolgálnak a kis területen belüli varianciára. (Tézis 2.)

4.4. Tetőfelületek besugárzás viszonyainak vizsgálata

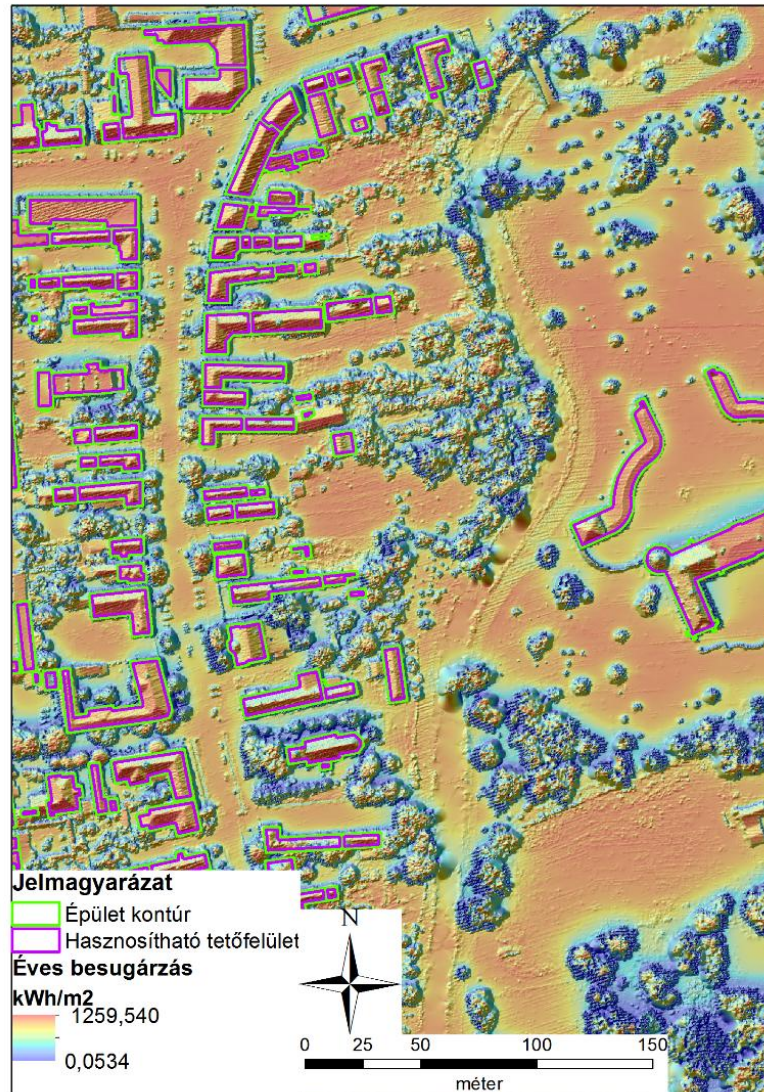
A DSM-re lefolytatott besugárzás modellezésnél le kell válogatni a tetőfelületeket, mint a napenergiát hasznosító berendezések potenciális helyeit. Kutatásomban ezt a mintaterületre elkészített területfejlesztési, területrendezési tervek digitalizált kataszteri térképe alapján oldottam meg. Mivel a rendelkezésemre bocsátott térképek az utcaneveket, ház- és helyrajzi számokat nem tartalmazták, melyek alapján azonosítani lehetett volna az épületeket, így először manuálisan, az ortofotók alapján leválogattam és bedigitalizáltam az épített objektumokat. Ezzel előállítottam egy olyan poligonos térképréteget, mely már csak a házak kontúrvonalait tartalmazza (29. ábra).



29. ábra A mintaterület épületeinek kontúrvonalai(szerkesztette Szalontai L)

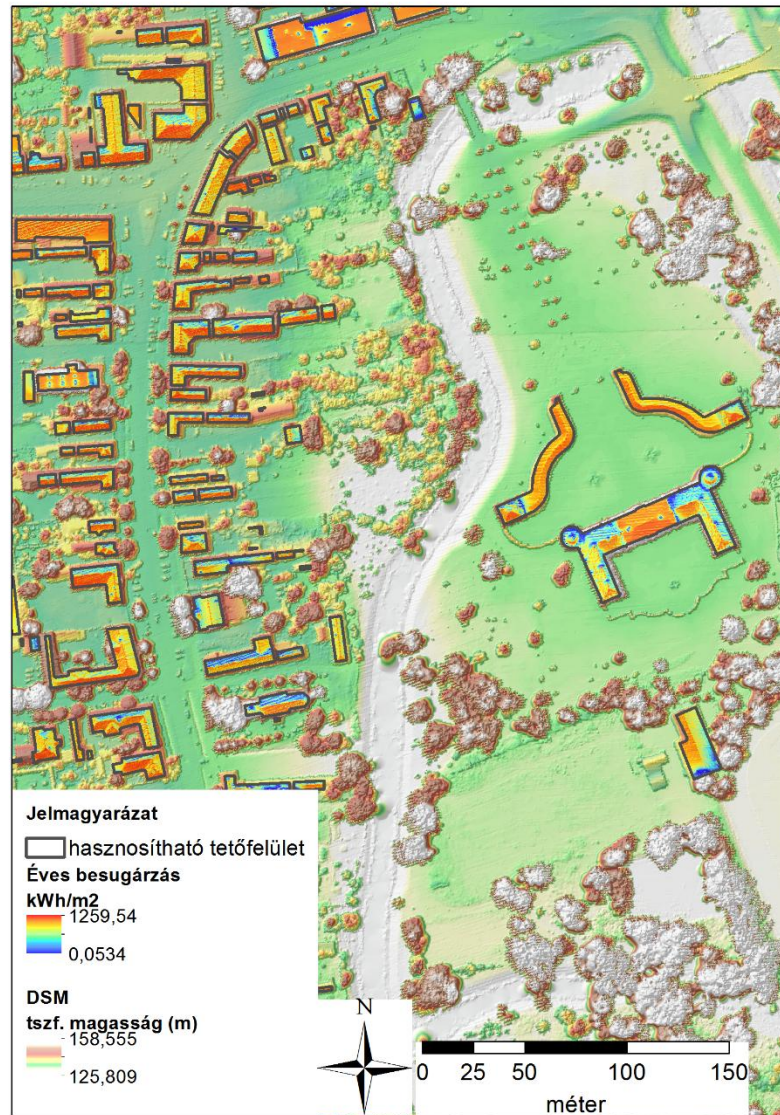
Mivel biztonságtechnikai, épületgépészeti okokból a tetőfelületek széléhez 0,75-1 méternél közelebb nem installálnak napelemeket, napkollektorokat, ezért az ArcGIS eszköztárában megtalálható „Buffer” eszközzel 1 méterrel csökkentettem az épületek, egyben tetőfelületek vízszintesre korrigált kontúrvonalát jelző poligonok méretét, megkapva ezáltal a

napenergia hasznosítására potenciálisan számításba vehető tetőfelületek méretét. Az így keletkezett térképpel már meghatározható a területen megtalálható objektumok hasznosítható tetőfelületére érkező globálsugárzás mennyisége (30. ábra). A mintaterületen összesen mintegy 26417,7 m²-nyi potenciálisan hasznosítható tetőfelület áll rendelkezésünkre különböző napenergiát hasznosító berendezések telepítésére.



30. ábra A potenciálisan hasznosítható tetőfelületek lehatárolása, (szerkesztette Szalontai L)

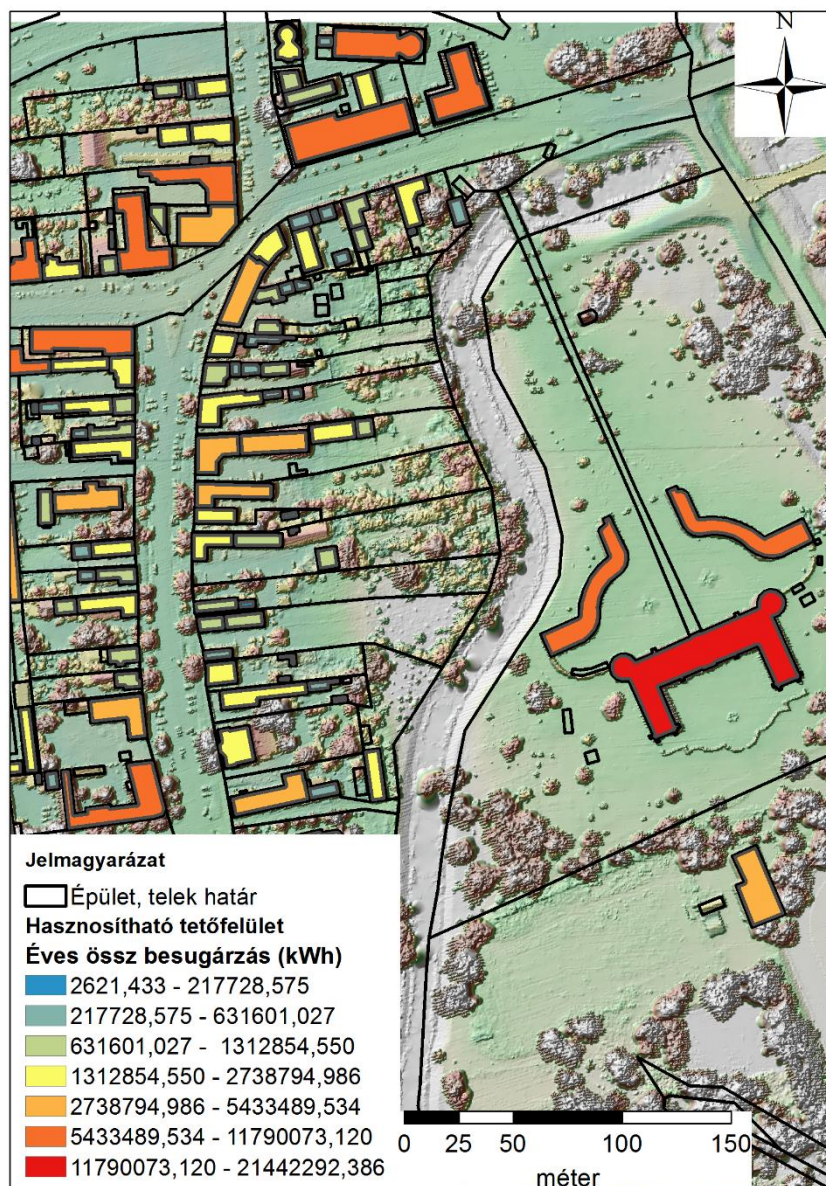
Az így keletkezett új poligonok (csökkentett területű, hasznosítható tetőfelület poligon) segítségével leválogathatóak az elkészített globálsugárzás modellből a hasznosítható (tető)területek és meghatározhatók az oda érkező globálsugárzás értékek (31.ábra). A 31. ábrán is látható már, hogy az épületek tetőfelületeire érkező globálsugárzás mennyiségét megjelenítő térképek is elegendő információt hordoznak ahhoz, hogy behatárolható legyen az ideális része az épületek tetejének, ahová érdemes napkollektort illetve napelemet telepíteni.



31. ábra Csak az objektumok tetőfelületeire érkező globálsugárzás mennyiségének megjelenítése (szerkesztette Szalontai L)

A mintaterület összességében 4497944877,193kWh mennyiségű besugárzás éri 12 hónap alatt, melyből a vizsgálat tárgyát képező potenciálisan hasznosítható tetőfelületekre 399708606,232 kWh-nyi energia érkezik. Az értékekből megállapítható, hogy a mintaterületet érő össz besugárzás kevesebb, mint 9 %-a (8,88 %) esik az épületek tetőfelületére.

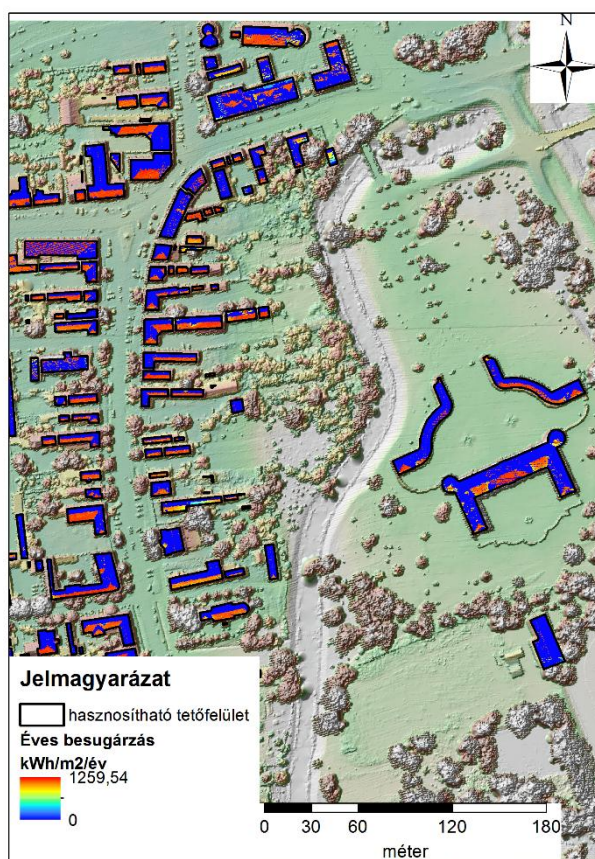
További hasznos adatot képezhetünk a lehatárolt tetőfelületre érkező globálsugárzás összegének megjelenítésével, melyet az általam használt szoftver „Zonal statistics” eszközével lehet egyszerűen egy-egy tetőpoligon pixel értékeinek összeadásával kiszámítani. Ezzel a módszerrel a legegyszerűbb szolárkataszterek hozhatóak létre, ahol általánosan összesített besugárzási információt kaphatunk egy-egy épület egész tetőfelületére érkező besugárzás mennyiségéről (32. ábra).



32. ábra Tetőfelületekre érkező éves globálisugárzás mennyiségének megjelenítése
(szerkesztette Szalontai L)

A fenti ábrából megállapítható, hogy a kutatási területen vannak olyan tetőfelületek, melyekre több, mint 11790073,12 kWh-nyi energia érkezik, míg vannak olyanok, amelyet kevesebb, mint 217728,575 kWh-nyi besugárzás éri (átlagosan 923,8 kWh/m²). Az összesített értéknél a legmeghatározóbb tényező az adott tetőfelület nagysága (minél nagyobb felületet ér besugárzás, annál nagyobb a felületre érkező besugárzás összege), azonban kiemelt szerepe van egyéb besugárzást módosító tényezőknek is, mint például a tető tájolása, dőlésszöge, valamint a tetőfelület közelében található árnyékvetést okozó tereptárgyak (fa, magasabb épületek, stb.)

A dőlésszög és kiettség vizsgálat alapján tovább finomítható az legideálisabb tetőfelületek leválogatása, így a ténylegesen legalkalmasabb, gazdasági szempontból (megtérülés, hatékonyság) is fontos tetőfelületek kijelölhetővé válnak. Hazánk esetében ilyenek a délies kiettségű, 35-43°-os dőlésű, domborzat és tereptárgyak által nem árnyékolt tetőfelületek (Lukács 2010). Az „Aspect” és „Slope” eszközök használatával, metszetével, ezek leszűrhetőek a nagy felbontású DSM-ekből. Az „aspect”-tel az irányát, míg a „slope”-pal a dőlésszögét állapítja meg a program minden egyes pixelnek, melyet aztán az általunk beállított kategóriák szerint tudunk osztályozni. Miután az előbb említett ideális tulajdonságokkal bíró tetőfelületek meghatározásra kerültek hozzá lehet rendelni a globálsugárzás számítás eredményeit (33. ábra).



33. ábra A DK-DNY-i kiettségű, sík és 35-43°-os tetőfelületekre érkező globálsugárzás mennyisége(szerkesztette Szalontai L)

A legideálisabb tetőfelületek és az azokra érkező éves besugárzás értékeket megvizsgálva kijelenthető, hogy a mintaterületemen megtalálható, napenergia hasznosítás szempontjából legjobb tulajdonságokkal bíró tetőfelületek összesített területe 1568 m², ami az össz tetőfelület 6 %-a (5,98 %). Azonban erre az optimális területre megközelítőleg 1776811 kWh besugárzás érkezik 12 hónap alatt (átlagosan 1133 kWh/m²).

A szoftver segítségével igazoltam, hogy a mintaterület összes pixelének besugárzásértékeit megvizsgálva megállapítható, hogy tényleg a délies kitettséű és 35-43°-os tetőfelületekre érkezik a mintaterületen a legnagyobb besugárzásmennyiség (1259,54 ~ 1260 kWh/m²/év).

Ebből fakadóan kijelenthető, hogy a mintaterületen is, valamint Magyarországon is meghatározható egy település épített objektumainak tetőfelületei közül a legideálisabb és legnagyobb energiamennyiség felfogására alkalmas helye, illetve hasznosítható napenergia potenciálja az ArcGIS szoftverének segítségével, amennyiben hiteles mért globálsugárzás, besugárzás adatokkal rendelkezünk a terület közelében, mely alapján kalibrálni tudjuk a Solar Radiation besugárzásra ható légköri paramétereit.

A fentebb bemutatott térinformatikai eljárások eredményeképpen létrehozott települési szintű, objektumok tetőfelületeire számított besugárzás mennyiség meghatározások adatbázisba való rendezésével létrehozhatjuk a szolárkataszternek nevezett, hasznosítható napenergia mennyiségét megjelenítő tetőfelület-nyilvántartási térképeket/adatbázisokat. Ezen adatbázisok információval látják el az ingatlanok tulajdonosait a hasznosítható tetőfelület nagyságáról, az arra beérkező napenergia mennyiségéről. Ezen adatokból ki lehet számítani a megtermelhető hő, ill. villamos-energiamennyiséget, mely a tervezett napkollektoros és napelemes rendszer adottságaitól (beépített teljesítmény, alkalmazott technológia hatásfoka, stb.) függően lehet megállapítani. A tervezett rendszer költségeit ismerve pedig a megtérülési ideje is könnyen kiszámíthatóvá válik egy-egy napenergiát hasznosító rendszernek.

Összegezve a fentiek elmondható, *hogy az általam kifejlesztett módszertan alkalmazásával kiszámítottam a beérkező sugárzás energiamennyiségét, illetve lehatároltam a napelemek telepítésre alkalmas felületeket, felszíneket, melyből olyan térbeli statisztikák számíthatóak, amelyek regionális vizsgálatok lefolytatására teszik alkalmassá a szolárkatasztereket.*

A számított statisztikák alapján különböző terület specifikus jelenségek válnak leírhatóvá. Ilyen módon osztályozható és tipizálható a településekre, természetföldrajzi egységekre számított globálsugárzás, mellyel a napenergiában érdekelt kulcsszereplők (KKV-k, döntéshozók, lakosság, bank szektor) hasznos globálsugárzási adattal láthatóak el. (Tézis 3.)

Az általam használt, 2013-as felszíni állapotokat, tereptárgyakat ábrázoló LiDAR mérés pontfelhőjéből generált DSM, a LiDAR felmérés során készült légifotó sorozat, valamint az önkormányzatoktól kapott a tetőfelületek leválogatására szolgáló 2005-2007-es terület-településrendezési tervek összevetésénél, feldolgozásánál számos olyan hibát

észleltem, melyet a minél pontosabb eredmény elérése érdekében javítani kell. Ezen hibák abból adódnak, hogy a 2005-2007-es önkormányzati kataszterek, rendezési tervek és a LiDAR mérés közt eltelt 6-9 év során épületeket bontottak le, illetve építettek (34. ábra). Az automatizált javításra alkalmas térinformatikai szoftverek hiánya esetén, melyek beszerzése költséges, ezen hibák javítása manuálisan az ArcGIS szoftverével, illetve a GRASS GIS ingyenes programjával is elvégezhető. A generált nagy felbontású DSM alapján jól láthatóvá válnak a felszíni épített tárgyak, melyeket a jó minőségű ortofotók segítségével azonosítani tudunk. Így újabb poligonokkal körülhatárolhatjuk az újonnan felépült házakat, házrészeket, valamint az épület eltűnése, lerombolása esetén az adott poligonok adatbázisból való törlésével kivehetjük a számításból a nem releváns területeket.

Elegendhetetlen tehát, hogy a szolárkataszterrel rendelkező települések évente frissítsék adatbázisaikat a település közigazgatási határán belül felépülő, illetve elbontásra kerülő objektumok listájával, melyet hazánkban a megyei, járási földhivatalokban és az önkormányzatok építésügyi osztályán kötelezően regisztrálni kell. Ezáltal elérhető, hogy évente mindig a legaktuálisabb tetőfelület-kataszter, majd az ebből származtatható legpontosabb, legaktuálisabb települési szolárkataszterek valósuljanak meg.



34. ábra Mintaterületen fellelhető épület objektum azonosítás hiba (2005-07-ben még meg nem épült épület - balra, illetve 2013-ban már meglévő épület - jobbra)
(szerkesztette Szalontai L)

Kutatásom során összegyűjtöttem, hogy Magyarországon a szolárkataszterek létrehozásának számos elősegítő illetve gátló, akadályozó tényezője van, melyet a 9. táblázatban foglaltam össze.

10. táblázat Magyarországi szolárkataszterek létrehozását elősegítő és gátló tényezők

Elősegítő tényező	Gátló tényező
Önkormányzat tulajdonában levő terület-településrendezési tervek (digitális és/vagy papíralapú formában)	A nagy felbontású felszín modellek, tetőkataszterek létrehozásához szükséges adatbázisok (LiDAR, sztereofotók) bekerülési költsége
OMSZ által közreadott mérési adatok (éghajlati atlaszok)	A rendelkezésre álló önkormányzati adatbázisok (ingatlan-nyilvántartási kataszterek, rendezési tervek hibái, frissítésének szükségessége) – 34.ábra
OMSZ adatbázisából kikérhető mérési adatok (ingyenes ill. fizetős)	Térinformatikus, geoinformatikus szaktudás hiánya
Növekvő kereslet a napenergiát hasznosító berendezések installálása iránt	Kutatóintézeti – Önkormányzati kapcsolatok korlátozottsága
EU-s és hazai energiapolitikai irányelvek	
Ingyenes térinformatikai szoftverrel is létrehozható (GRASS GIS) - (Agugiaro et al. 2010)	
Saját mérésekkel való validációs lehetőség	

szerkesztette Szalontai L

A LiDAR pontfelhő (nagy felbontású digitális felszínmodell), terület-településrendezési tervek és az OMSZ 5 éves globálsugárzási adatsorai, illetve a Dyer-féle légköri tényezők parametrizációs módszer és a nemzetközi szolárkatasztereknek módszertanainak GIS környezetbe való integrálásával adaptáltam a nemzetközi szakirodalomban alkalmazott szolárkataszter készítési módszertant a magyarországi adatinfrastruktúra adta környezetbe. Így, a besugárzás számításához szükséges, meghatározott adatbázisok rendelkezésre állása esetén nagy pontosságú települési szolárkataszterek hozhatóak létre. (Tézis 4.)

4.5. Létrehozott szolárkataszterek hasznosítási lehetőségei

A szolárkataszterek legfőbb hozzáadott értéke az, hogy a generált digitális nyilvántartási adatbázis/térkép a valóságban mérhető besugárzási értékekhez közelítő (mért és számított besugárzási értékek közti differencia akár kevesebb, mint 1 % is lehet) értékeket tud megjeleníteni a terület specifikus klimatológiai, kalkulációs és egyéb paraméterek helyes megválasztásával, a lokális felszínborítottságot és azok besugárzás módosító hatásait is figyelembe véve (növényzet, épületek árnyékvetése). Mindezek alapján 4 nagy hasznosítási lehetőséget határoztam meg.

1. **Település vezetői, döntéshozói támogató adatbázis:** a szolárkataszterrel rendelkező települések vezetői, döntéshozói naprakész információkkal rendelkeznek az általuk vezetett, képviselt települések területén megtalálható összes épített objektum tetőfelületén hasznosítható napenergia mennyiségéről, így az önkormányzat tulajdonában levő középületek megújuló energetikai fejlesztése a napenergia szempontjából vizsgálva könnyen tervezhető. A középületek fűtésének, melegvíz igényének kielégítését, valamint elektromos áram fogyasztását fedező napkollektoros illetve napelemes rendszereket lehet megtervezni az adott épület által ellátott funkciók alapján.
2. **Energia akciótervek kötelező része:** Igazodva a XXI. század globális energetikai kihívásaihoz (megújulók részarányának növelése, energiafüggség csökkentése, stb.) az EU-ban rohamosan terjed a településekre létrehozott, megírt Fenntartható Energia Akciótervek – Sustainable Energy Action Plan-ek (SEAP) száma a Polgármesterek Szövetségének köszönhetően. A Polgármesterek Szövetsége (Covenant of Mayors) elnevezésű európai kezdeményezés teljes mértékben összhangban van az EU által meghatározott irányelvekkel, az energiahasznosításra és éghajlatvédelemre vonatkozó célokkal. Bármely EU-s önkormányzat csatlakozhat a szövetséghez, azonban vállalnia kell, hogy a csatlakozást követő 1 éven belül elkészíti a településre vonatkozó SEAP-jét, azaz fenntartható energia akciótervét. A SEAP dokumentuma nem utolsó sorban tartalmazza azt a stratégiát, hogy a település területén hogyan fog megvalósulni a 20-20-20 kezdeményezés illetve annak túlteljesítése, azonban kidolgozásához egy jól összeállított kézikönyv áll rendelkezésére minden döntéshozó csoportnak. Az akciótervek által érintett főbb területek az épületek, kiszolgáló intézmények és a közösségi közlekedés,

azonban idetartozik még a helyi energiatermelés a helyben megtalálható/hasznosítható energiaforrások igénybevételével (Szalontai 2014a).

A SEAP-ek megírása/elkészítése és az abban benne foglaltak végrehajtása a következő egyszerűsített formában vázolható fel 2 évre vonatkoztatva (Covenant of Mayors 2010.):

1. fázis – Polgármesterek Szövetségéhez való csatlakozás

- Döntéshozói elköteleződés és a csatlakozási szerződések aláírása
- Városi adminisztrációs feltételek megteremtése/hozzáigazítása a Polgármesterek Szövetségének elvárásaihoz (szellemi és infrastrukturális háttér megteremtése)
- Az akcióterv által érintett szereplők bevonása illetve azok az akciótervhez köthető támogatottságának növelése

2. fázis – Tervezési fázis (itt hasznosul a szolárkataszter)

- A jelenlegi helyzet kiértékelése – Hogyan is állunk most?
- Az elérendő cél lefektetése – Hová/mit akarunk elérni?
- Az akcióterv kidolgozása – Hogyan érjük el a célt?
- Az akcióterv benyújtása és elfogadása

3. fázis – Megvalósítási szakasz

- Az elfogadott akcióterv megvalósítása

4. fázis – Monitoring és jelentési fázis

- A megvalósított akcióterv monitoringozása
- A megvalósítási jelentés benyújtása és a jelentés elfogadtatása
- Ellenőrzés

A fenti SEAP megvalósítás folyamatából is kitűnik, hogy egy (már megvalósított, vagy megvalósítás alatt levő) szolárkataszter jelentősége a 2. fázisban értékelődik fel, ahol a tervezési szakaszhoz köthetően a település területén levő megújuló energiaforrás potenciállal remekül jellemezhetjük a területen rendelkezésre álló alternatív energiaforrások hasznosítható mennyiségét. Könnyebbé válik az elérendő cél(értékek) meghatározása egy ilyen adatbázisnak köszönhetően. Fő indikátornak a megtakarított CO₂ mennyiség meghatározását kérik, hogy 2020-ra a településen mekkora mértékben csökken a kibocsátott üvegházhatású gáz mennyisége.

2014. novemberére Európa szerte már több mint 6169 település csatlakozott a Polgármesterek Szövetségéhez, ami megközelítőleg 189 millió lakost is érint ezáltal. Magyarországon ez 41 települést és 2,7 millió embert jelent, köszönhetően annak, hogy hazánkban Budapest volt az első város, amely elkészítette a szóban forgó dokumentumot (<http://www.covenantofmayors.eu>).

A számokat látva kijelenthető hogy a magyarországi SEAP-ek kevesebb, mint 1 %-ot képviselnek az összes energia akciótervhez képest. A megírt és elfogadott Fenntartható Energia Akciótervek területén tapasztalható lemaradást tudjuk csökkenteni a solárkataszterek létrehozásával és más térinformatikai eljárásokkal elkészített megújuló energiaforrás potenciálbecslő számításokkal (például biomassa tömeg meghatározásával), hogy a helyzetfelmérést/potenciálbecslést hiteles, számszerűsített adatokkal tudjuk megalapozni, valamint az elérendő célértékeket meghatározni.

3. Lakossági információ szolgáltatás: korábban megemlítésre került a nyugat-európai (német, osztrák) és tengerentúli (USA) különböző minőségű, illetve szolgáltatott információ tartalommal rendelkező web-alapú solárkataszterek megjelenése az ezredfordulótól kezdődően. Ezen solárkataszterek már nem csak a települési vezetőket, döntéshozókat látják el a tetőfelületeken hasznosítható napenergia mennyiségének meghatározásával, hanem nyilvánosan, a lakosság által is hozzáférhető információs portálként is működnek. Az alkalmazott módszerektől függően megjelenítik a tetőfelületre érkező globálsugárzás mennyiségét, az arra tervezhető napkollektoros, napelemes rendszer bekerülési költségét, megtérülési idejét, a napenergiát hasznosító rendszer használata során megtakarított/kiváltott CO₂ mennyiségét, valamint útmutatókat, leírásokat is tartalmazhatnak a napenergia hasznosításáról általánosságban. A szolgáltatott információknak köszönhetően a solárkataszter egy lakossági ösztönző eszköz is egyben, mivel naprakész, valós besugárzási értékekhez igazodó adatokkal látja el a nyilvántartással fedett területen élőket.

4. Zöld-gazdaság fejlesztő eszköz: „A XXI. században egy ország sikere jelentős mértékben függ attól, hogy a fosszilis energiahordozókra épülő felhasználási struktúra által kiváltott problémákat – ellátásbiztonság, növekvő árak, stb. – hogyan tudja kezelni az energiatakarékosság, energiahatékonyság, az energiabiztonság és a megújuló energiaforrások felhasználásával.” (www.terport.hu) Az EU és tagjaként hazánk is ennek megfelelően vizsgálta felül és alakította ki a 2000-es évek végére a

megújulóakra fokozottan alapozott energiapolitikáját. Az 2. fejezetben bemutatásra került a megújuló energiaforrásokhoz köthető investíció mértékének növekedése, valamint a közvetlenül és közvetetten foglalkoztatott emberek számának évről évre több százezer fővel való bővülése is. Az EREC (2008), IRENA (2014), NCsT (2010) és számos más egyéb hazai és külföldi megújuló energia szektorral foglalkozó összefoglaló, hatástanulmány, előrejelzés állapítja meg ezen gazdasági ágazat jövőbemutató, folyamatos növekedését (kiemelten a napenergia területén).

A szolárkataszter felhasználási lehetőségei 3. pontjában felvázolt web-alapú lakossági információ szolgáltatás az online, e-kereskedelem lehetőségeit felhasználva egy olyan komplex rendszerré bővíthető, melyben a lakosság tudatosság növelésén, a hasznosítható napenergiára vonatkozó információval való ellátásán kívül becsatornázzhatóvá válik az összes napenergiához köthető kulcsszereplő keresleti és kínálati oldalról egyaránt. Eme kulcsszereplők alatt a lakosságot, bank szektort, a napenergiával foglalkozó KKV-kat, a pályázati cégeket értem.

A lakosság azon része, amely nem rendelkezik elegendő forrással (önerővel) egy, a napenergiát hasznosító berendezés telepítéséhez saját ingatlanjuk tetőfelületére, ún. „zöld-hitel” felvételéhez folyamodhatnak. Nyugat-Európában már jól bevett gyakorlat, hogy megfelelő napenergia hasznosítási, besugárzási adatokkal alátámasztott hatástanulmány benyújtása esetén banki kölcsön segítségével megvalósíthatja/kiépítheti a saját, megújuló energiaforrásokat hasznosító rendszerét az önerő hiányával küszködő állampolgár. Egy megfelelően kivitelezett, valóságnak megfelelő globálsugárzási adatokat szolgáltató szolárkataszter kiváló alapot nyújthat a „zöld-hitel” kérelem alátámasztásához.

Az online kereskedelem fejlődésével a szolárkataszter gyűjtőfelülete lehet a napenergia területén érdekelt KKV-nak, értve ezalatt a napelemet-napkollektort forgalmazó, telepítő és szervizelő vállalkozásokat egyaránt.

A pályázati cégek, vállalkozások különböző hazai és uniós napenergiára vonatkozó pályázatok összeállításával, benyújtásával, források lehívásával segíthetnek a lakosságnak a Nap energiáját hasznosító rendszer kiépítésére vonatkozó saját költségeinek csökkentésében.

Borsod-Abaúj-Zemplén megyében, a módszertan alfejezetben már megemlített FP 7-es és OTKA, nemzetközi és hazai projekt keretén belül is kiemelten vizsgálhattam/tuk a megújuló energiaforrások tématerületét, azon belül is a lakosság, a KKV-k, a döntéshozók és település vezetők hozzáállását, „zöld” tudatosságát, igényeit, a megújuló piacán jelentkező hiányosságokat, korlátozó tényezőket mértük fel empirikus vizsgálatokkal. Az adatelemzés mindkét esetben arra az eredményre vezetett, hogy a fentebb felsorolt szereplők,

megkérdezettek körében növekvő „információéhség” jelentkezik a helyben hasznosítható alternatív energiaforrások iránt, a fiatalabb generációk már alaptudással rendelkeznek a különböző energiaforrásokról, szívesen hasznosítanak is azokat (kiemelten a napenergiát), azonban az önerő, illetve a pontos, energiapotenciál mennyiségéről illetve annak kiaknázási lehetőségeiről, a kialakítható rendszerek tulajdonságairól nincsenek kellőképpen tájékoztatva (Aleixande et al. 2012, Kapocska et al 2012).

Összességében elmondható, hogy a nemzetközi trendekhez igazodva, Magyarországon is várható a napenergia piacának gyors bővülése, a lakossági érdeklődésnek és a technológia bekerülési költségei csökkenésének köszönhetően, továbbá ezen bővülést segítheti elő, indukálhatja a települési-lakossági információszolgáltatást ellátó szolárkataszterek megjelenése, terjedése is.

5.Összefoglaló

A tudományos eredmények összefoglalása

Értekezésemben a Magyarországon elérhető meteorológiai, klimatológiai, különböző topográfiai modellek és LiDAR mérésből létrehozható települési, járási szolárkataszterek megalkotásának módszertanát határoztam meg. Célom volt, hogy egy adott területen megtalálható épített objektumok tetőfelületeire beérkező napenergia mennyiségeket a lehető legpontosabban tudjuk különböző térinformatikai eljárásokkal kiszámítani digitális felszín modellek segítségével. Tudományos eredményeimet, téziseimet az alábbiakban foglalom össze.

2.1. fejezetben számos nemzetközi statisztikai adatbázis (World Factbook, Eurostat, IRENA, GSR 2014, OECD Yearbook 2014 -2015, BP Statistical Yearbook 2014 – 2015, stb.) megvizsgálásával, bemutatásra került a globális energiafelhasználás/termelés összetétele, a hasznosított energiaforrások egymáshoz viszonyított arányai. Az elemzésekből nyilvánvalóvá vált, hogy a megújuló energiaforrások hasznosítása egyre nagyobb teret nyer globálisan, mely folyamatosan növekvő befektetésekkel párosul, ami növekvő foglalkoztatottságot generál a zöld energia szektorában. Napjainkra kulcsfontosságúvá vált az energiapolitikai, döntéshozói, befektetői, termelői és végfelhasználói társadalmi szinteken a „zöld” tudatosság növelése, illetve a saját környezetében, lokálisan hasznosítható megújuló energiaforrás potenciállal kapcsolatos pontos információval való ellátása. Kiemelt tekintettel a nap-, és szélenergiára, valamint a biomasszára, ugyanis a vizsgált adatsorokból, adatokból kitűnik, hogy az elmúlt évtized során tapasztalható megújuló energia „boom”-jában ezen energiaforrások kimagaslóan vesznek részt. A leggyorsabban bővülő kapacitások terén a 2000-es évek közepétől pedig egyértelműen a napenergia dominanciája figyelhető meg.

A 3. fejezetekben a Nap energiájának fizikáját, a besugárzás mennyiségét meghatározó tényezőket, valamint a sugárzás hasznosítására alkalmas eszközöket, megoldásokat tekintettem át, melyek elengedhetetlenek a globálsugárzás számítások megértéséhez, a szolárkataszter kivitelezéséhez. Itt foglaltam össze még a szolárkatasztert megalapozó globálsugárzási számítási, mérési módszereket, kiemelten fókuszálva az egyes mérési-számítási módozatok előnyeire, hátrányaira azok alkalmazási lehetőségeire.

Az értekezés fő része a 4. fejezetben található meg. A különböző nyugati (német, osztrák, amerikai) szolárkataszterek előállításának módszereit megvizsgálva kidolgoztam egy (az első) magyar szolárkataszter létrehozásának módszertanát. Kiemelten fontos, hogy a lehető legtöbb ingyenesen elérhető (klimatológiai, meteorológiai, települési) adatbázist próbáltam felhasználni, mely nélkülözhetetlen a modellezés, valamint a besugárzás mennyiségének minél pontosabb meghatározásához. A globálsugárzás térinformatikai

módszerekkel való meghatározásához a beállítható sugárzást módosító paramétereket az Országos Meteorológiai Szolgálat által kiadott Magyarország Éghajlati Atlasza, JRC – PVGIS adatbázisa, Nagy Zoltán (2009) által közölt hosszú idősoros budapesti szórás tényezők, valamint az edelényi mérőállomás által 5 év alatt (2008-2012) rögzített globálsugárzási adatsorok szolgáltatták. Alternatív megoldásként alkalmaztam James Dyer 2009-ben, az ArcGIS környezetben kialakított – légköri tényezők parametrizálására kidolgozott módszerét, melynek eredményeit felhasználva a szoftver Solar Radiation moduljában nagy pontosságú besugárzás számításokat tudtam lefolytatni egy digitális felszínmodellemre.

Edelény belvárosának 25 cm-es felbontású digitális felszínmodelljére, melyre a globálsugárzás számításokat elvégeztem, egy LiDAR mérés pontfelhőjéből állítottam elő. A modellezés módszertanának kidolgozása után a számítási tényezők meghatározás és a besugárzás számításokat folytattam le. Ezek eredményeit összehasonlítva a nemzetközi kutatások eredményeivel, tényező meghatározásaival, illetve az OMSZ edelényi mérőállomása által mért 5 éves, napi adatsorának felhasználása által az alábbi megállapításokra jutottam:

Tézis 1.: A Dyer-féle parametrizációs módszer segítségével meghatározhatók azok a hónap specifikus átlátszósági (transmissivity) és szórás (diffuse proportion) tényezők, melyeket a Solar Radiation – Point Solar Radiation moduljában (bemenő paraméterként) megadva nagy pontossággal kiszámítható a vízszintes felületre érkező globálsugárzás mennyisége. A kutatási területen az így számított globálsugárzás éves értéke kevesebb, mint 1%-kal tér el az OMSZ által mért sokéves átlagtól, míg az éghajlati atlaszokban és területi elemzésekben megadott légköri jellemzők alapján meghatározott paraméterek használatával 8%-os eltérés adódik a mért és a számított értékek között.

A rendelkezésre álló adatok (számított és mért átlátszósági – szórás tényező), és paraméter becslési eljárások közül a Dyer-féle parametrizációs eljárás adja a legjobb közelítést az OMSZ 5 éves mért adatsorának havi és éves átlagértékeihez.

Tézis 2.: Az alkalmazott országos léptékű hazai és nemzetközi globálsugárzás becslési módszerek (interpolálás által kiterjesztett országos globálsugárzás becslések/számítások) jelentősen pontosíthatóak a domborzatmodell alapú besugárzás becslési eljárások használatával. A kis számú kalibrációs adatból származtatott kis felbontású adatok (OMSZ mérőállomások által vízszintes felületre mért globálsugárzási adatsorok) használata mellett, jelentősen növeltem a térbeli felbontást nagy felbontású környezeti változók modellbe illesztésével (csillagászati-, légköri-, topográfiai-, kalkulációs-paraméterek) ezáltal tovább pontosítottam a számítás paramétereit. Ez lehetővé tette a tényleges, helyi környezet változásából fakadó sugárzasmódosítás jellemzését, melyek nélkül a mesterséges és természetes felszíni objektumok modellbe illesztése nem lehetséges.

Az ilyen módon létrehozott besugárzási adatok megtartják a kis felbontású adatok térbeli szerkezetét, de a vizsgálati helyre származtatott/parametrizált légköri, csillagászati (adott koordinátára vonatkozó) paraméterekkel módosítva adatot szolgálnak a kis területen belüli varianciára.

Tézis 3.: Az általam kifejlesztett módszertan alkalmazásával kiszámítottam a beérkező sugárzás energiamentiségét, illetve lehatároltam a napelemek telepítésre alkalmas felületeket, felszíneket, melyből olyan térbeli statisztikák számíthatóak, amelyek regionális vizsgálatok lefolytatására teszik alkalmassá a szolárkatasztereket.

A számított statisztikák alapján különböző terület specifikus jelenségek válnak leírhatóvá. Ilyen módon osztályozható és tipizálható a településekre, természetföldrajzi egységekre számított globálsugárzás, mellyel a napenergiában érdekelt kulcsszereplők (KKV-k, döntéshozók, lakosság, bank szektor) hasznos globálsugárzási adattal láthatóak el.

Tézis 4.: A LiDAR pontfelhő (nagy felbontású digitális felszínmodell), terület-településrendezési tervek és az OMSZ 5 éves globálsugárzási adatsorai, illetve a Dyer-féle légköri tényezők parametrizációs módszer és a nemzetközi szolárkataszterek módszertanainak GIS környezetbe való integrálásával adaptáltam a nemzetközi szakirodalomban alkalmazott szolárkataszter készítési módszertant a magyarországi adatinfrastruktúra adta környezetbe. Így, a besugárzás számításhoz szükséges, meghatározott adatbázisok rendelkezésre állása esetén nagy pontosságú települési szolárkataszterek hozhatóak létre Magyarországon.

A mintaterületre elkészített alap szolárkataszter, valamint a létrehozását leíró módszertan a Solar Radiation futtatását követően, (a kapott/kalkulált globálsugárzás mennyiségek alapján) megbízható eredményeket állított elő (éves besugárzás mennyiség a mérthez képest kevesebb, mint 1 % eltérést mutat). A különböző meteorológiai paraméterek finomítására természetesen szükség van a jövőben, mellyel a várhatóan egyre nagyobb számban megvalósuló LiDAR illetve sztereofotós felvételezések, felmérések adatbázisait felhasználva további még pontosabb, a lokális meteorológiai és környezeti viszonyoknak megfelelő szolárkataszterek hozhatóak létre a felmérések által érintett településekre/településrészekre. A szolárkataszterek jelentősége pedig abban rejlik, hogy információt szolgáltat a lakosság, települési vezetők, piaci szereplők részére, valamint közvetett módon hozzájárul a napenergia hasznosítás részarányának növekedéséhez ezáltal a mindenkori energiapolitika meghatározó tényezőjévé növi ki magát.

6. Summary

Summary of scientific results

In my dissertation I have defined the methodology of creating meteorological, climatological and different topographical models available in Hungary and settlement and district solar cadastres that can be established from the LiDAR measurement. My target was to ensure the most exact calculation of the quantities of solar insolation on the roof surfaces of buildings in a given area through different geographic information system (GIS) procedures with the help of digital surface models. Below there is a summary of my scientific results and theses.

In Section 2.1. you can see the composition of global energy consumption/production and the proportions of used energy sources based on several international statistical databases (World Factbook, Eurostat, IRENA, GSR 2014, OECD Yearbook 2014 -2015, BP Statistical Yearbook 2014 – 2015, etc.) The analyses make it clear that the use of renewable energy sources gains more and more ground globally and is accompanied by continuously increasing investments generating a growing employment rate in the green energy sector. Increasing „green” awareness and having exact information regarding the locally usable renewable energy sources has become crucial on the energy policy, decision-maker, investor, producer and end-user levels. Solar and wind energy and biomass is of special importance as it is clear from the examined data that these energy sources have played a vital role in the renewable energy „boom” of the past decade. From the middle of the 2000s solar energy has been dominant.

In Section 3 I have reviewed the factors defining the physics of the sun, the amount of sunshine and the devices and solutions suitable for utilizing it, which are essential for the understanding of global radiation calculations and the making of the solar cadastre. I have also reviewed the calculation and measurement methods for global radiation, which are the basis of the solar cadastre, bringing into focus the advantages and disadvantages plus the application opportunities of the different calculation and measurement methods.

The main part of the thesis is in Section 4. After examining the methods for the creation of different Western (German, Austrian, American) solar cadastres, I have worked out the methodology for the creation of the first hungarian solar cadastre. It is very important that I tried to use a lot of freely available (climatological, meteorological, settlement) databases, which is necessary for modelling and the more exact defining of the radiation quantity. To define global radiation with geographic information system methods, the adjustable,

radiation-modifying parameters were provided by the Hungarian Climatological Atlas (Magyarország Éghajlati Atlasza) published by the National Meteorological Service (Országos Meteorológiai Szolgálat), the JRC – PVGIS database, the longterm measured Budapest diffuse proportions reported by Nagy Zoltán (2009), and the global radiation data queues recorded by the Edelény measuring station in 5 years (2008-2012). As an alternative solution I used James Dyer's method (established in 2009 in ArcGIS environment and worked out for the parametrizing of atmospheric factors), and using the results in the software's Solar Radiation modul I could do very exact radiation calculations for a digital surface model.

The high resolution (0,25 m) digital surface model (about Edelény downtown), for which the global radiation calculations are performed were produced from a LiDAR pointcloud. After developing the methodology of the modeling i have continued my research with the parameter determining and solar radiation modeling. Comparing the radiation and parameter results with the international research results and with the official measured insolation values i got the following scientific findings, results:

Thesis 1.: *The specific monthly transmissivity and diffuse proportion factors could be determined with the help of the Dyer's parametrization method, which could be utilized as an input parameter in the Solar Radiation – Point Solar module for calculating incoming solar radiation on horizontal surface (yearly, monthly, daily ammount) with high accuracy. Using the Dyer's method parameters the annual insolation value of the calculated global radiation is less than 1 % from many years average, as measured by the Hungarian Meteorological Service, while using parameters determined by the climate atlases and spatial analysis an 8 % difference arises between the measured and calculated values.*

From the available data (measured and calculated transmissivity and diffuse proportion) the Dyer's parametrization process gives the best approximation of the HMS 5 year data series measured monthly and yearly average

Thesis 2.: *The applied country-scale national and international global radiation estimation methods (nationwide global radiation estimates/calculations extended by interpolation) can be significantly refined using elevation model-based irradiation estimation methods. Besides using low resolution data derived from small number of calibration data (global radiation data sets measured by HMS measuring stations on flat surfaces), I significantly increased the spatial resolution by fitting high resolution environmental variables into the model (astronomic-, atmospheric-, topographic-, calculation- parameters), therefore I could further clarify the calculation parameters. This*

made it possible to characterize the radiation-modification arising from the real, local environmental changes. Without these, fitting the natural and artificial surface objects into the model is not possible. Irradiation data generated this way keep the three-dimensional structure of the low-resolution data, but modifying them with atmospheric, astronomic (concerning specific coordinates) parameters derivated for the trial site, they provide data for variance within a small area.

Thesis 3.: Applying the methodology I have developed, I have calculated the amount of energy of the incoming radiation, and have also delineated suitable areas and surfaces for solar panel installation, from which such spatial statistics can be calculated that make solar cadastres suitable for carrying out regional examinations.

According to the statistics calculated, various area-specific phenomena can be described. Therefore the global radiation calculated for settlements and geographical units can be classified and typified, which provides useful global radiation data for key actors (SMEs, policy makers, public, banking) interested in solar energy.

Thesis 4.: With the integration of the LiDAR point cloud (high resolution digital surface model), the land-resettlement plans, the five-year global radiation data series of HMS, and the Dyer's atmospheric factors parameterization methodology and the methodology of the international solar cadastres into GIS environment, I have adapted the creation of solar cadastre methodology applied in the international literature into the Hungarian data infrastructure environment. Due to all this, if there are specific databases available that are needed for the calculation of irradiation, high-precision settlement-level solar cadastres can be established for Hungary.

After the creation of the basic solar cadastre for the sample area and running the Solar Radiation - which describes the creation methodology (based on the received/calculated global radiation amounts), it has produced reliable results (the yearly irradiation amount shows less than 1% deviation from the measured). Of course there will be a need for the refining of the various meteorological parameters in the future. With these and also using the databases of expected growing number of LIDAR and stereo photographic surveys, further, more accurate and to the local meteorological and environmental conditions corresponding solar cadastres can be developed for the settlements/parts of settlements covered by the surveys. The significance of the solar cadastres lies in providing information for the population, settlement leaders and for market participants, as well as indirectly contributing to the utilization of solar energy proportion, therefore it will grow into a major player on the current energy policy.

7. Köszönetnyilvánítás

Ezúton is szeretném kifejezni köszönetemet mindazoknak, akik segítették kutató munkámat és szakmai valamint baráti szempontú javaslataikkal és tanácsaikkal hozzájárultak az értekezés megírásához. Köszönöm **Prof. Dr. Kocsis Károly tudományos témavezetőmnek** türelmét, ösztönzését az előrehaladásom során. Köszönöm a Miskolci Egyetem, Földrajz-Geoinformatika Intézet kollegáinak támogatását, kiemelten **Dr. Dobos Endrének, Dr. Hegedűs Andrásnak, Dr. Vágó Jánosnak, Kovács Károly Zoltánnak, Vadnai Péter Józsefnek** a rendkívül hasznos térinformatikai, szakmai és egyéb segítséget, ötleteket. Köszönöm az **opponenseimnek, Prof. Dr. Mika Jánosnak és Dr. Nagy Zoltánnak** a szakmai támogatást, türelmet és a rendkívül aprólékos bírálatot.

Kiemelten szeretném megköszönni a **családomnak** a tanulmányaim és munkám során tanúsított végtelen türelmet és segítséget.

8. Felhasznált Irodalom

1. Agugiaro G – F Nex – F Remondino – R De Filippi – S Droghetti – C Furlanello 2012: Solar radiation estimation on building roofs and web-based solar cadastre, In. ISPRS Annuals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 1-2. 2012. Melbourne, Australia, pp. 177-182.
2. Alexiandre G – Simon R – Antón M 2012: Kölcsönös Tanulási Modell – Knowbridge Projekt, szerk.: CARTIF Foundation – Miskolci Egyetem, Valladolid, Espana, 52 p
3. Árpási M. - Barótfi I. - Ertsey A. - Gampel T. - Illyés Zs. – Kontra K. – Licskó B. – Medgyasszay P. – Orosz M. – Pálfy M. – Polgár A. – Varga G. – Varga P. 2006: Autonóm kistérség az Európai Unióban, Esettanulmány az Alpokalja kistérség vizsgálatával, Független Ökológiai Központ Alapítvány, Budapest, 2006. 423 p
4. Az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezményben Részes Felek Konferenciájának 1997. évi harmadik ülészakán elfogadott Kiotói Jegyzőkönyv kihirdetéséről 2007. évi IV. törvény -URL: http://klima.kvvm.hu/documents/65/2007_4_t_rv_ny.pdf -
5. Barótfi I 2000: Környezettechnika, Mezőgazda kiadó, Budapest, 2000., 982 p
6. Bartók B – Csákberényi-Nagy 2006: A napenergia hasznosítás meteorológiai adottságai Debrecen térségében, In Légkör, 51. évfolyam, 3. szám, 2006. pp 27-32
7. Bartók B 2013: A globálsugárzás változásai Európában, Egyetemi (doktori) értekezés, Debreceni Egyetem, Földtudományok Doktori Iskola, 2013., pp 1-44
8. Bella Sz – Németh Á – Nagy Z – Major Gy 2006: Napenergia, mint megújuló energiaforrás- magyarországi lehetőségek, In. Magyarországi szép és napenergia kutatás eredményei, OMSZ 2006. pp 129-134
9. Bobok E- Tóth A 2005: Megújuló energiák (Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2005) 54-75
10. Borsod-Abaúj-Zemplén megyei Közgyűlés 2013: Borsod-Abaúj-Zemplén megye Területfejlesztési Konceptiója, Helyzetértékelés I. kötet Munkaanyag, 2013. december, URL: http://www.baz.hu/content/cont_510904de8203c2.49102793/1312_01_1_melleklet_BAZ_konc_20131206_vegleg.pdf letöltés dátuma: 2014.08.15.
11. Borzsák S – Egri Cs – Góbor A – Hohl Z – Horváth Z – Kazai Zs – Ledzéni A – Munkácsy B – Szendi G – Szuhi A: Megújuló Energia – Megújuló Határvidék Projekt Összefoglaló, Esztergomi Környezetkultúra Egyesület, Esztergom, 2008. 45 p

12. Brovelli M. A. - Cannata M. – Longoni U. M. 2002: Managing and Processing LIDAR Data within GRASS, In. Proceedings of the Open Source GIS-GRASS Users Conference, Trento, September 2002
13. Buffo, J. - L.J. Fritschen -J.L. Murphy 1972. Direct solar radiation on various slopes from 0° to 60° north latitude. U. S. Forest Service Pacific Northwest Forest Range Experimental Station Research Paper, PNW-142.
14. Bürke T – Wengenmayr R 2007: Erneuerbare Energie – Alternative Energiekonzepte für die Zukunft, Germany, 102 p
15. Büki G 2004: Erőművek, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2004., pp 463-520
16. Büki G 2007: Kapcsolt energiatermelés, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2007., 435 p
17. Cheng L – Gong J – Li M – Liu Y 2011: 3D building model reconstruction from Multi-view aerial imagery and LiDAR data, In. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 77, No. 2., 2011., pp. 125-139
18. Csáky I 2015: Épületek nyári hőterhelésének energetikai vizsgálata, Egyetemi doktori (PhD) értekezés, Debreceni Egyetem, 2015., 120 p
19. Watanabe C 2012: Japan Renewable Energy Investments May Double as Incentives Start – URL: <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2012/06/japan-renewable-energy-investments-may-double-as-incentives-start>, letöltés: 2014.01.10.
20. COM (2013) 175: REPORT FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS Renewable energy progress report
21. Covenant of Mayors (2010): How to develop a Sustainable Energy Action Plan (SEAP) Guidebook, European Union, 2010, Publication Office of the European Union
22. IEA 2014b: Countries between 1992 and 2013, Photovoltaic Power Systems Programme – PVPS, 2014. Report IEA-PVPS T1-25:2014, 72 p
23. DEnzero folyóirat 2014/7. URL: <http://denzero.unideb.hu/files/folyoiratok/denzero%20-%202014-07.pdf>letöltés dátuma: 2015.02.02.
24. DEnzero folyóirat 2014/9. URL: <http://denzero.unideb.hu/files/folyoiratok/denzero%20-%202014-09.pdf>letöltés dátuma: 2015.02.02.
25. Detrekői Á 2010: Virtuális földgömbök – 3D városmodellek – Geodézia és Kartográfia 62. 2010/1 pp. 6-9.

26. Dokonal - Martens - Plösch R 2000: The creation of a 3-D city model for architectural education, eCAADe 2000, Proceedings of the 18th Conference on Education in Computer Aided Architectural Design in Europe, Weimar, Germany, 22-24 June, 2000, eCAADe and Bauhaus-Universität, Weimar, Germany, 2000; pp 171-175. URL: <http://cumincad.architecturez.net/system/files/pdf/9f5b.content.pdf> letöltés dátuma: 2013.04.20.
27. Dokonal W. 2008: Creating and Using 3D City Models, In. 26th eCAADe Conference Proceedings Antwerp
28. Dyer J 2009: Guidelines for Computing Monthly Radiation Grids Using the Solar Radiation Toolset in ArcGIS, Department of Geography, Ohio University, url: www.ohio.edu/people/dyer/Radiation_Grids.pdf
29. Dyer J 2015: User's Guide for Water Balance Toolbox (v.2.2) for ArcGIS, Department of Geography, Ohio University – url: www.ohio.edu/people/dyer/WB/water_balance_v2_user_manual.pdf 38 p
30. ENERGY FOR THE FUTURE: RENEWABLE SOURCES OF ENERGY White Paper for a Community Strategy and Action Plan COM(97)599 final (26/11/1997
31. EPIA 2014: Global Market Outlook For Photovoltaics 2014-2018, European Photovoltaic Industry Association, Rue d'Arlon 69-71, 1040 Brussels, Belgium, 60 p, URL: http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/44_epia_gmo_report_ver_17_mr.pdf letöltés dátuma: 2014.08.15.
32. EREC 2008: Renewable energy in Europe: markets, trends, and technologies, European Renewable Energy Council (EREC), 2010., Earthscan Ltd. London, UK, 265 p
33. Farkas K 2012: Paks 2: Miért bővítünk, Energiainfo - http://energiainfo.hu/cikk/paks_2_miert_bovitunk.28626.html
34. Ferenczi Ö 2007: Áramtermelés nap- és szélenergiából saját "mini" erőművekkel, Budapest : Cser K., 2007. 124 p.
35. For a European Union Energy Policy', COM(94) 659 final Zöld Könyv (Doc. Com. (94) 659 Final)
36. Fu, P. - P.M. Rich. (1999). Design and implementation of the Solar Analyst: an ArcView extension for modeling solar radiation at landscape scales. Proceedings of the Nineteenth Annual ESRI UserConference.

37. Gábris Gy – Marik M – Szabó J 1988: Csillagászati Földrajz, Budapest, Tankönyvkiadó 1988., pp 1-130
38. Gergely S 2010: A kistérségi/települési energiaellátás új rendszerei –teendők a jogszabályi és közgazdasági feltételek javításában, In Fenntartható Energiagazdálkodás I. A települési energiaellátás új rendszerei, Károly Róbert Főiskola, Gyöngyös, 2010. pp 13-29
39. Giber J - Gönczi P - Somosi L - Szerdahelyi Gy - Tombor A - Varga T - Braun A - Dobos G 2005: Az új magyarországi energiapolitika tézisei a 2006-2030 évek közötti időszakra (12. fejezet) – In. Gazdasági és Közlekedési Minisztérium: A megújuló energiaforrások szerepe az energiaellátásban - FKM, Budapest, 2005. pp 1-53
40. Giber J 2005b: Megújuló energiák szerepe az energiaellátásban - B+V Kiadó, 2005. Budapest 167p
41. Giglierano D J 2010: LiDAR basics for mapping applications, Geological Society, London, Special Publications pp 103-115
42. Gööz L 2005.: A megújuló energiák hasznosításának lehetőségei Észak- Kelet Magyarországon különös tekintettel a Zempléni tájegységre - Kincseink 2005. Tokaj pp 87-92
43. Grauthoff M – Janssen J F 2012: Identification and mobilisation of solar potentials via local strategies – Guidelines based on the experiences of the pilot actions in Lisbon, Lyon, Malmö, München, Paris and Vitoria-Gasteiz, POLIS Project IEE/08/603/SI2.529237, 55 p
44. Gyulai I 2007: Biomassza-dilemma - Magyar Természetvédők Szövetsége, Budapest, 2007. 72 p
45. Hengl T – Reuter H 2007: Geomorphometry, concepts – software – applications, Office for Official Publications of the EC, 2007. Luxembourg 449 p
46. Hofierka J – Kanuk J 2009: Assessment of photovoltaic potential in urban areas using open-source solar radiation tools, Renewable Energy, 34 (10) (2009), pp. 2206–2214 URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2009.02.021> letöltés dátuma: 2014.08.28.
47. Horánszky B 2004: Az Európai Unió energiapolitikája - oktatási segédanyag -, Miskolci Egyetem, Gázmérnöki tanszék, 2004. 24 p
48. Horánszky B 2005: A termikus napenergia-felhasználás alkalmazási lehetőségei, OTKA T-046224 „Egy lépés a fenntartható infrastruktúra felé- napelemekkel kombinált földgázellátó rendszer háztartási fogyasztóknál” projekt, kutatási anyag, Miskolc-Egyetemváros, 2005. URL: letöltés dátuma: 2013.03.05.

49. Höfle, B - Mücke, W - Dutter, M- Rutzinger, M - Dorninger, P 2009: Detection of building regions using airborne lidar - a new combination of raster and point cloud based is methods. In: GI-Forum 2009 - International Conference on Applied Geoinformatics, Salzburg
50. Hrabovszky-Horváth S - Pálvölgyi T - Csoknyai T 2013: Generalized residential building typology for urban climate change mitigation and adaptation strategies: The case of Hungary. 62: 475-485. 2013 Talamon A. Energy and Buildings
51. Hubai J 2006: Az uniós csatlakozás hatása Magyarország természeti-erőforrás-gazdálkodására, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2006. 171 p
52. Huld T - Müller R - Gambardella A 2012. A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa. Solar Energy, 86, 1803-1815.
53. Hunyár M – Schmidt I – Veszprémi K – Vincze Gy 2001: A megújuló és környezetbarát energetika villamos gépei és szabályozásuk, Műegyetemi Kiadó, Budapest 2001. 329 p
54. IEA 2011: Energy policies of IEA Countries Hungary, 2011 Review, OECD/IEA, 2011 International Energy Agency, Paris, France 146 p, URL: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/hungary2011_web.pdf
letöltés dátuma: 2013.05.30.
55. IEA 2014a: Trends 2014 in photovoltaic applications – Survey Report of Selected IEA
56. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 1998: The regional impacts of climate change – An assessment of Vulnerability, editors: Watson R – Zinyowera M – Moss R, IPCC Working Group II, Cambridge University Press 517 p
57. IPCC 2014: Climate Changes 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability Summaries, Frequently Asked Questions, and Cross Chapter Boxes. A Contribution fo Working Group II to the fifth Assessment Report to the Intergovernmental Panel on Climate Changes, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York USA,
58. IRENA 2011: Working Paper: Renewable Energy Jobs: Statuts, Prospects & Policies URL: <http://www.irena.org/documentdownloads/publications/renewableenergyjobs.pdf>
letöltés dátuma: 2014.03.30.

59. IRENA 2014: Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2014 URL: <http://www.irena.org/publications/rejobs-annual-review-2014.pdf> letöltés dátuma. 2015.03.05.
60. Izquierdo, S - Rodrigues, M - Fueyo, N 2008. A method for estimating the geographical distribution of the available roof surface area for large-scale photovoltaic energy-potential evaluations. *Solar Energy* 82 (10), pp 929–939
61. Jakubiec J.A. – Reinhart C.F. 2012: Towards validated urban solar radiation maps based on LiDAR measurements, GIS data, and hourly DAYSIM simulations. *Proceedings of Simbuild 2012, Madison.*
62. Jánosi M 2008: MAGYAR ENERGIAPOLITIKA - A magyar energetika szellemtörténeti vázlata és stratégiai kérdései, A 9. Energia Fórum előadása, Budapest, 2008. 17 p
63. Kada M – McKinley L 2009: 3D building reconstruction from LiDAR based on a cell decomposition approach, In *IAPRS, Vol. XXXVIII, Part 3/W4, Paris, France, 2009.* pp. 47-52
64. Kahn Riberio – S.S. Kobayashi – M Beuthe – J Gasca – D Greene – D.S. Lee – Y Muromachi – P.J. Newton – S Plotkin – D Sperling – R Wit – P.J. Zhou 2007: Transport and its infrastructure, In *Climate Change 2007: Mitigation: Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA*
65. Kakas 1960: Magyarország Éghajlati Atlasza – Klima-atlas von Ungarn 1960., Budapest, Akadémiai Kiadó, szerk.: Kakas J.
66. Kapocska L – Tóth T – Vass R 2012: A szél- és napenergia ismertsége a Hernád-völgy településein, In. *A megújuló energiaforrások hasznosításának természeti, társadalmi és gazdasági lehetőségei a Hernád-völgyében, Debrecen, 2012.,* pp 73-82
67. Kassner, R - Koppe, W - Schüttenberg, T. - Bareth, G 2008: Analysis of the Solar Potential of Roofs by Using Official LiDAR Data. *Proceedings of the International Society for Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, (ISPRS Congress), Beijing, China, 3–11 July 2008. Volume XXXVII; pp. 399–404.*
68. Kersting, J - A.P.B Kersting. 2005. LiDAR points filtering using ArcGIS' 3D and Spatial Analyst. In *Proceedings of the 25th ESRI User Conference, July 25 -27, San Diego, California, USA*

69. Kiss T 2009: Az energetika közösségi szerepe – In Kiss T – Somogyvári M (szerk.) ViaFuturi 2009. Közösségi tulajdonú energiarendszerek. Interregionális Megújuló Energia Klaszter Egyesület, Pécs, pp 12-28.
70. Kocaman S – Zhang L – Gruen A – Poli D 2006: 3D city modeling from high-resolution satellite images, ISPRS Workshop on Topographic Mapping from Space, Ankara, Turkey
71. Kondratyev, K.Y. 1969. Radiation in the Atmosphere. New York: Academic Press.
72. Kumar – Skidmore - Knowles 1997: Modelling topographic variation in solar radiation in a GIS environment, Int. J. Geographical Information Science 11: 475-497.
73. Lang L 1998.: Managing Natural Resources with GIS, ESRI, 380. New York Street, Redlands, CA, USA, 117 p
74. Leitelt R 2010: Developing a solar energy potential map for Chapel Hill, NC, Masters Project, University of North Carolina, 2010., 27 p, URL: <https://cdr.lib.unc.edu/indexablecontent/uuid:6e5c0eac-e631-4741-b038-d7e9c3e4da41> letöltés dátuma: 2013.05.03.
75. Lukács G S 2010: Az Észak-Magyarországi Régió Megújuló Energia Stratégiája, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 2010. 297 p
76. Mills L 2014: Global trends in clean energy investments, Bloomberg New Energy Finance 2014.
77. Mélykúti G 2007: Topográfiai adatbázisok – In: BMEEOFTASJ3 segédlet a BME építőmérnöki Kar hallgatói részére – „Az építész- és az építőmérnök képzés szerkezeti és tartalmi fejlesztése” HEFOP/2003/3.3.1/0001.01, pp. 23-42.
78. Mezősi G 1985: A természeti környezet potenciáljának felmérése a Sajó-Bódva-köze példáján, Magyar Tudományos Akadémia Földrajztudományi Kutató Intézet, Elmélet – Módszer – Gyakorlat, 37. Budapest, ISBN 963 7322 42 6
79. Mika J 2011: Statikus leskálázás, In. Klímaváltozás – 2011, Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére, szerk.: Barholy J – Bozó L – Haszpra L, Budapest, 2011. pp 66-77
80. Mika János 2002: A globális klímaváltozásról, In Fizikai Szemle 2002/9. 258.p.
81. Molnár Cs 2015: A rövidhullámú sugárzás modellezése a komplex felszín felett, MSc diplomamunka, ELTE Budapest, Meteorológus mesterszak, Előrejelző szakirány, 2015., 57 p
82. Munkácsy B - Borzsák S - Egri Cs 2008: Projekt összefoglaló, Megújuló Energia Megújuló Határvidék, Esztergom 2008. pp 20-30

83. N. Aspinall – L. Mills – D. Strahan – R. Boyle – V. Cuming – K Stopforth – S. Geckler – L. Becer 2014.: Global Trends in Renewable Energy Investment 2014 – Key Findings, FS-UNEP Collaborating Centre for Climate & Sustainable Energy Finance, Bloomberg New Energy Finance, edit.: Agnus McCrone, Frankfurt School of Finance & Management GmbH URL: http://www.unep.org/pdf/Green_energy_2013-Key_findings.pdf letöltés dátuma: 2014.10.16.
84. Nagy Z 2009: A napenergia hasznosítása In: Juhász Á. (szerk.) Megújuló energiák (Sprinter Kiadó Csoport, Budapest) pp 35-101
85. NSPRI - National Solar Power Research Institute 1998.: Fundamentals of Photovoltaic Materials, letölthető: <http://userwww.sfsu.edu/ciotola/solar/pv.pdf>
86. NCsT 2010: Magyarország megújuló energia hasznosítási cselekvési terve 2010-2020, Nemzeti Fejlesztési Minisztérium 2010., 190 p
87. Németh Á 2004: A globálsugárzás modellezése digitális domborzatmodell alkalmazásával, In: HunDEM konferencia CD kiadvány, Miskolc, 2004., ISBN 978-963-358-006-6
88. NFM 2012: Nemzeti Energiastratégia 2030, Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, Budapest 2012, 136 p
89. Nguyen H.T. – Pearce J.M. – Harrap R – Barber G 2012: The application of LiDAR to assessment of rooftop solar photovoltaic deployment potential in a municipal district unit, In Sensors 2012, 12, pp 4534-4558
90. Olivier J – Maenhout-jassens g – Muntean M – Peters A.H.W. J 2013: Trend sin Global CO₂ Emissions 2013 Report, Background studies, Netherlands Environmental Assessment Agency, Hague, Netherlands, URL: [www.pbl.nl/en or edgar.jrc.ec.europa.eu](http://www.pbl.nl/en/or-edgar.jrc.ec.europa.eu) letöltés dátuma: 2014.04.05.
91. Oskó A 2002: A 3D Kataszter megvalósításának problémái - GIS OPEN 2002 Székesfehérvár, 2002 március 11-13.
92. Pátkainé R R 2014: EUMETSAT CM - SAF sugárzás produktumok validálása felszíni globálsugárzás adatokkal, szakdolgozat. ELTE TTK Meteorológiai Tanszék, 2014. 52p
93. Péczely Gy 1979: Éghajlatlan, Budapest, Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., 1998., 334 p
94. Pellegrino M – Caiaffa E – Grassi A – Pollino M 2008: GIS as a tool for solar urban planning, In: Proceedings of 3d International Solar Energy Society Conference – Asia Pacific Region (ISES-AP 2008), Sydney, Australia, November 25-28. 2008. URL:

- https://www.academia.edu/353552/GIS_as_a_tool_for_solar_urban_planning letöltés dátuma: 2013.10.04.
95. Prelin J 2008: The history of photovoltaics, URL: <http://www.usc.edu/org/edisonchallenge/2008/ws1/A%20History%20of%20Photovoltaics.pdf> letöltés dátuma: 2015.01.15.
 96. Rau – Chen - Wang 2004: An interactive scheme for building modeling using the split-merge-shape algorithm, *Int. Archives Photogramm. Remote Sens*, vol. 35, no. B3, pp. 584–589, 2004.
 97. Redweik P - Catita C - Brito M 2013: Solar energy potential on roofs and facades in an urban landscape. *Solar Energy* 2013; 9: pp 332-341
 98. Redweik P – Catita C – Brito M C 2011: 3D local scale solar radiation model based on urban LIDAR data, *ISPRS Workshop High-Resolution Earth Imaging for GeospatialInformation*, 2011
 99. Rich - Dubayah - W.A. Hetrick - S.C.Saving, S.C. 1994:Using Viewshed models to calculate intercepted solar radiation: applications in ecology, *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers*: pp 524–529.
 100. Riecken J – Seifert M 2012: Challenges for the multi purpose cadastre, In: *TS04A – Innovative Cadastre and Land Rights Management, FIG Working Week 2012. Rome, Italy*
 101. Rylatt M – Gadsden S – Lomas K 2001: GIS-based decision support for solar energy planning in urban environments, In. *Computers, Environment and Urban Systems* 25. (2001) pp 579-603
 102. S Gehrke - K Morin – M Downey – N Boehrer – T Fuchs 2010: Semi-global matching: an alternative to LiDAR for DSM generation?, *IAPRS&SIS*, 2010. Vol. 38(1), on CD-ROM
 103. Salasovich, J. - Mosey, G. 2012: Feasibility Study of Economics and Performance of Solar Photovoltaics at Johnson County Landfill. 54 pp.; NREL Report No. TP-6A20-53186. 54 p URL: <http://www.nrel.gov/docs/fy12osti/53186.pdf> letöltés dátuma: 2014.10.16.
 104. Schneeberger M. – Brooker N. 2009: Start Building your 3D Digital City, *GSDI 11 World Conference – Spatial Data Infrastructure Convergence: Building SDI Bridgestoaddress Global challenges, Rotterdam 2009 june 15-19.*

105. Sebestyén T 2013: Az energia gazdasági szerepének vizsgálata Kelet-Közép-Európában, 1990-2009 között, Egyetemi doktori (PhD) értekezés, Miskolci Egyetem, 244 p
106. Seres A 2013: Hótakaró, időjárás, domborzat és felszínborítottság alapú lavinaveszélyességi modell kifejlesztése az Alacsony-Tátrára, Egyetemi doktori (PhD) értekezés, Miskolci Egyetem, 2013., 198 p
107. Sljivac 2014 D: Fotovoltaikus (PV) cellák, fotovoltaikus rendszerek, In Napelemes energia és környezet, szerk. Varjú V, Pécs-Oijsek 2014., pp 18-22
108. Steinhage V – Behley J – Meisel S – Cremers B A 2010: Automated updating and maintenance of 3D city models, In ISPRS Archive Vol. XXXVIII, Part 4-8-2-W9, „Core Spatial Databases – Updating, Maintenance and Services”, Haifa, Israel, 2010. pp 20-25
109. Stróbl A 1998: Az energiapolitika alapjai - Átalakulóban a villamosenergia-ipar In: Gazdaság és energia, ISSN 0865-0292 , 1998. (10. évf.) 1. sz. 50-51. old.
110. Sturc M 2012: Renewable energy – Analysis of the latest data on energy from renewable sources, Eurostat, Environment and energy – Statistics in focus 44/2012, pp 1-7
111. Šúri 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. Solar Energy, 81, 1295–1305, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
112. Suri, M - Huld, T.A. - Dunlop, E.D. 2005. PV-GIS: a web based solar radiation database for the calculation of PV potential in Europe. International Journal of Sustainable Energy 24, 55–67
113. Swift, L.W. 1976. Algorithm for solar radiation on mountain slopes. Water Resources Research 1, pp 108-112.
114. Szalontai L 2012a: Megújuló energiaforrások használata és annak hatása a Tokaj-Eperjesi-hegység területén (Sárospataki kistérség), szakdolgozat, Miskolci Egyetem, Terület-Település fejlesztési menedzsment szakirányú továbbképzés, 2012
115. Szalontai L. 2012b: A globálisugárzás elméleti és gyakorlatilag hasznosítható potenciáljának meghatározása domborzatmodell alapján, zempléni mintaterületeken, In: HunDEM konferencia CD kiadvány, Miskolc, 2012., ISBN 978-963-358-006-6

116. Szalontai L 2014a: Szolárkataszter – egy eszköz a kistérségi/járási napenergia hasznosítás arányának növelésére, In. Észak-magyarországi Stratégiai Füzetek, XI. évfolyam, 2. szám, 2014., pp 75-82
117. Szalontai L 2014b: The establishment and significance of district/regional roof cadastres in the utilization of solar energy, In. Agriculture and Environment, Acta Sapientia, Vol. 6/2014, Cluj, Romania, 2014., pp 45-51
118. Szuppinger P 2000: Decentralizáció a világ energiarendszereiben, Tér és Társadalom, XIV. évf. 2000. 2-3 pp 173-182
119. Tomor T 2013: Távérzékeléssel az árvízi biztonságért, HUNAGI konferencia 2013. április 4., URL: www.hunagi.hu/G/pub/index.php?dir=HUNAGI%2F&download=A12Tomor.pdf
120. Tóth T – Szalontai L – Spéder F – Vass R 2012: A biomassza hasznosításának társadalmi megítélése a Hernád völgyében, In. A megújuló energiaforrások hasznosításának természeti, társadalmi és gazdasági lehetőségei a Hernád-völgyében, Debrecen, 2012., pp 61-71
121. Tóth T 2013: A megújuló energiaforrások társadalmi háttérvizsgálata a Hernád-völgy településein, különös tekintettel a dendromassza-alapú közösségi hőenergia-termelésre, Egyetemi doktori (PhD) értekezés, Debreceni Egyetem, 2013., 163 p
122. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015). World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP.241
123. UNFCCC 2008: – Kyoto Protocol reference manual on accounting of emission and assigned amount, Climate Change Secretariat (UNFCCC) Martin-Luther-King-Strasse 8 53175 Bonn, Germany, 2008., 127 p., url: http://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf
124. Varjú V 2014: Környezetszociológiai aspektus – a helyi társadalom és fő aktorainak szerepe, In Napelemes energia és környezet, szerk. Varjú V, Pécs-Oijsek 2014., pp 30-32
125. Veisse I 2004: A decentralizált energiatermelés növekedési lehetősége a világon, az európai és a magyar kihatások, Magyar Energetika, 2004/4 pp 11-22
126. Volascsek Péter 2013: Napenergiát hasznosító rendszer tervezése, egyetemi szakdolgozat, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki Informatika Kar, 2013., 61 p
127. White Paper: An Energy Policy for the European Union. COM (95) 682 final, 13 December 1995. [EU Commission - COM Document]

128. Widner, U 1997: Digital Surface Models for Building Extraction, In Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (II), Birkhäuser Basel, 1997.
129. Wiginton L.K. – Nguyen H.T. – Pearce J.M 2010: Quantifying rooftop solar photovoltaic potential for regional renewable energy policy, In Computers, Environment and Urban Systems 34 (2010) 345-357
130. Wilkins G 2002: Technology Transfer for Renewable Energy: Overcoming Barriers in Developing Countries. London: Earthscan, 2002. 256 p
131. Wilson J – Gallant J 2000: Terrain Analysis – Principles and Applications, John Wiley&Sons, inc. USA, 469 p
132. Wittmann H – Bajons P 1997: Identification of roof areas suited for solar energy conversion systems, In. Renewable Energy, Vol. 11, No. 1., pp 25-36
133. Yebo L 2011: Photovoltaic Systems for Solar Electricity Production, Factsheet Agriculture and Natural Resources, AEX-652-11, URL: http://ohioline.osu.edu/aex-fact/pdf/AEX_652_11.pdfletöltés dátuma: 2014.11.03.
134. Zajzon I – Kocsis A 2010: A megújuló energiaforrások alkalmazási lehetőségei egyéni és közösségi szinten, Ökorégió Füzetek IX., Ökorégió Alapítvány a Fenntartható Fejlődésért 26 p URL: http://www.okoalapitvany.hu/upload/dokumentumok/Okoregio_fuzetek_IX.pdf letöltés dátuma: 2014.10.16.
135. Zhou G – Song C – Simmers J – Cheng P 2004: Urban 3D GIS from LiDAR and digital aerial images, In. Computer & Geosciences 30 (2004), pp. 345-353

Felhasznált statisztikai adatbázisok

2014 World Development Indicators - 2014 International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank URL: <http://data.worldbank.org/>

BP Statistical Review of World Energy 2014., BP Statistical Review of World Energy BP, 2014., London, URL: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical->

review-2014/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf letöltés dátuma: 2014.12.10.

BP Statistical Review of World Energy 2015., BP Statistical Review of World Energy BP, 2015., London

Enerdata - Global Energy Statistical Yearbook 2014 URL: http://ec.europa.eu/transport/facts-fundings/statistics/pocketbook-2014_en.htm letöltés dátuma: 2014.10.14.

Eu Energy Country Factsheets 2014 version 3.0 URL: <http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014-country-factsheets.pdf> letöltés dátuma 2015.01.12.

Eu Energy in Figures 2014: Statistical Pocketbook. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2014. Print.

GSR 2014: Renewables 2014 Global Status Report, REN21. 2014. (Paris: REN21 Secretariat) URL:http://www.ren21.net/portals/0/documents/resources/gsr/2014/gsr2014_full%20report_low%20res.pdf – Letöltés dátuma: 2014.12.05.

OECD 2015: OECD Statistical database, url: <http://data.oecd.org>

REN21. 2014. Renewables 2014 Global Status Report - (Paris: REN21 Secretariat). ISBN 978-3-9815934-2-6

The World Factbook 2013-14. Washington, DC: Central Intelligence Agency, 2013 . URL: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>

U.S. Census Bureau, International Programs 2008, Historical Estimates of World Population, International Data Base (IDB), U.S. Census Bureau, Silver Hill Road, Washington, DC, letöltve 2014.10.06. U.S. Census Bureau, Silver Hill Road, Washington, DC, Centers of Population for Census

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015).
World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working
Paper No. ESA/P/WP.241

World Resources Institute – WRI Climate Analysis Indicators Tool (CAIT 2.0) – WRI's
climate data explorer, URL: <http://cait.wri.org>

Felhasznált internetes adatbázisok és források:

www.ksh.hu

www.ec.europa.eu/eurostat

www.meteonorm.com

<http://www.polis-solar.eu/>

www.mapdwell.com

www.fomi.hu

www.nkp-kft.hu

www.wien.gv.at/flaechenwidmung/public/

www.resources.esri.com

www.covenantofmayor.eu

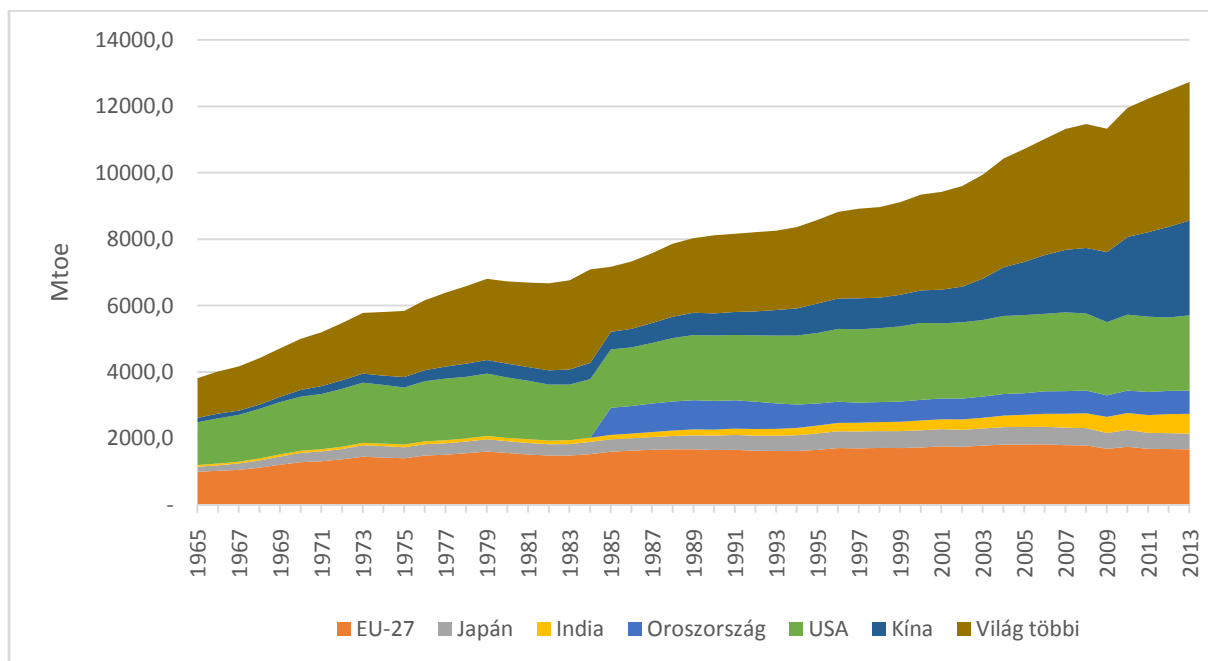
www.soda-it.com

www.ec.europa.eu/energy/funds

re.jrc.ec.europa.eu/pvgis

9. Mellékletek

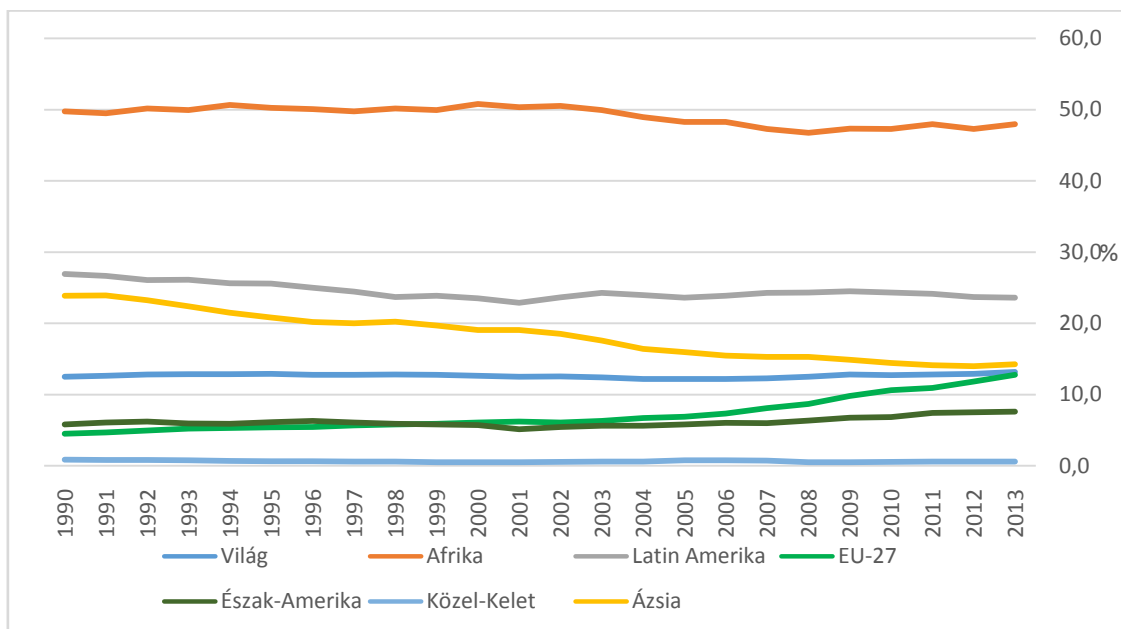
I/a Melléklet



A Föld legnagyobb primer-energiafogyasztói

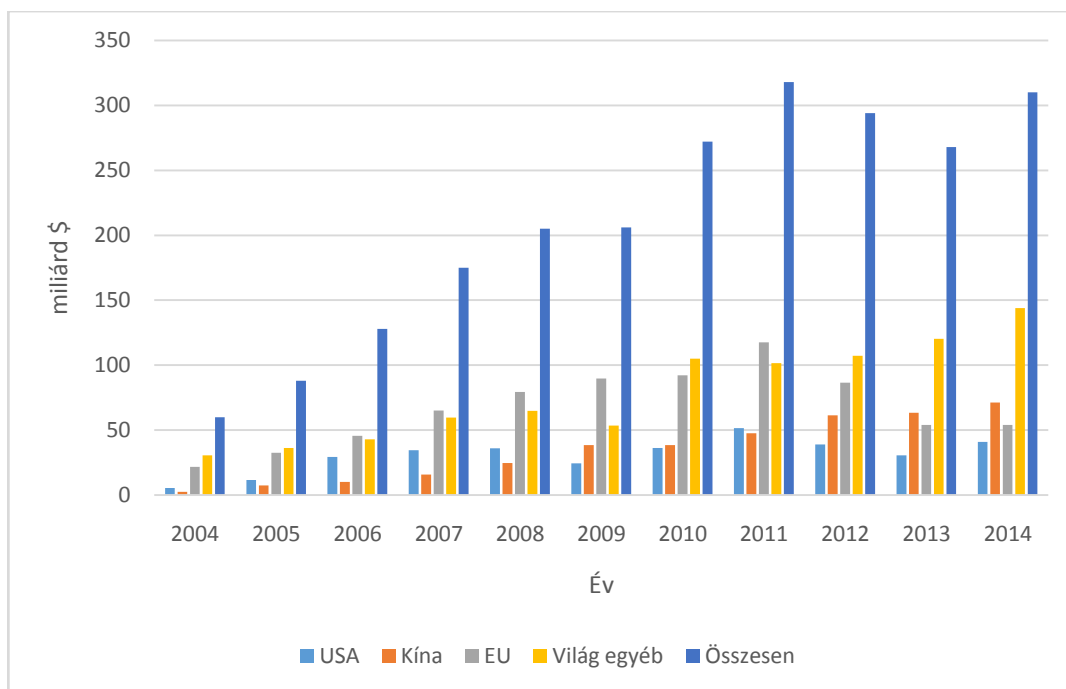
forrás: BP Statistical Yearbook 2014, Enerdata - Global EnergyStatisticalYearbook 2014
(szerkesztette Szalontai L)

I/b Melléklet



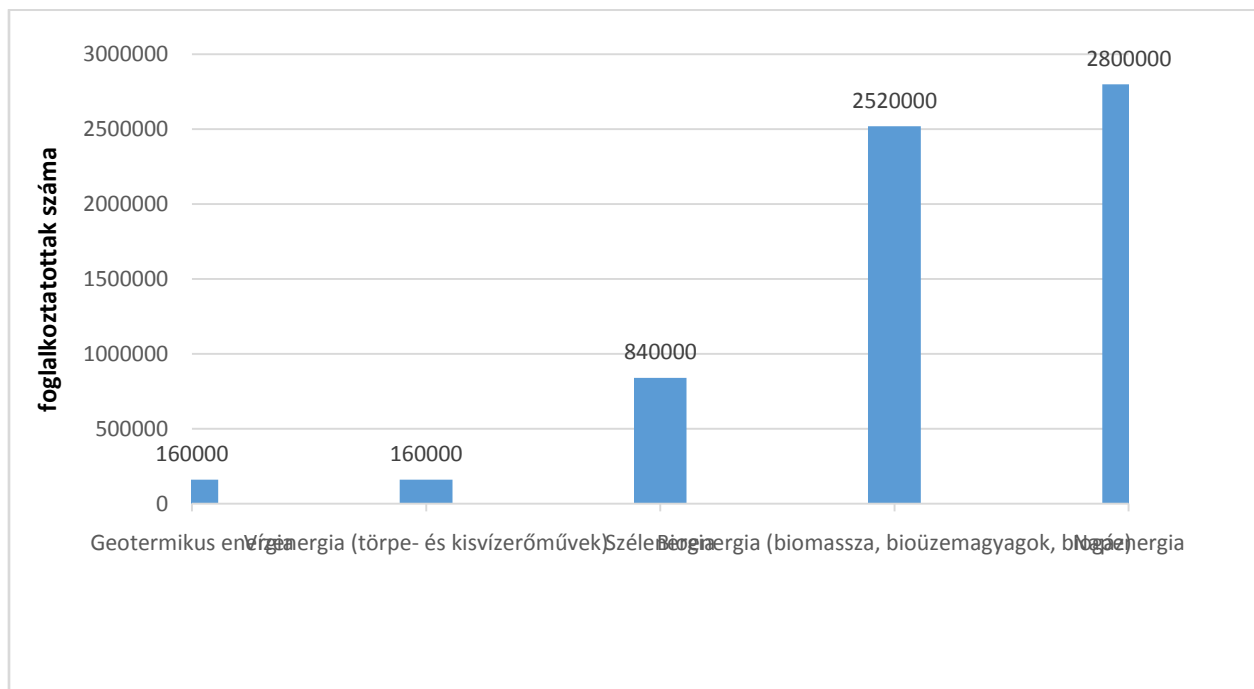
Megújulóknak részaránya a primer-energiafogyasztásban 1990-2013 gazdasági régiók szerint
forrás: Enerdata - Global EnergyStatisticalYearbook 2014(szerkesztette Szalontai L)

II/a melléklet



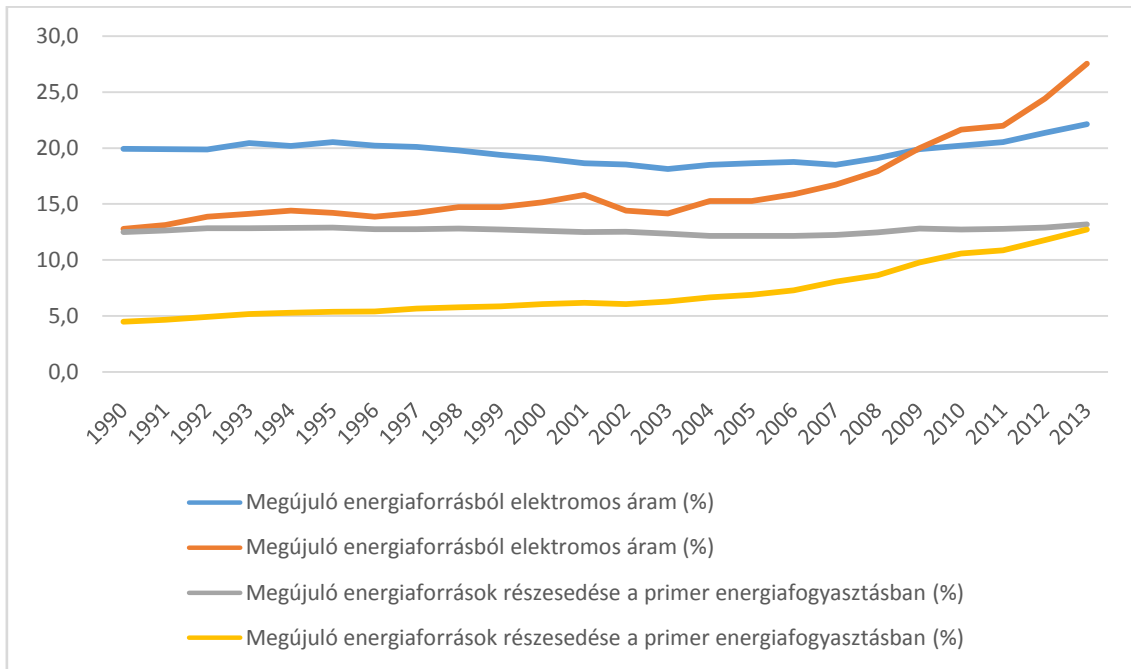
Új piaci befektetések a megújuló energiaforrások területén globális szinten 2004-2014 között
forrás: Bloomberg New Energy Finance 2014.(szerkesztette Szalontai L)

II/b melléklet



Különböző megújuló energiaforrás szerinti foglalkoztatottak száma (fő) globálisan 2014-ben
forrás: GSR 2014 (szerkesztette Szalontai L)

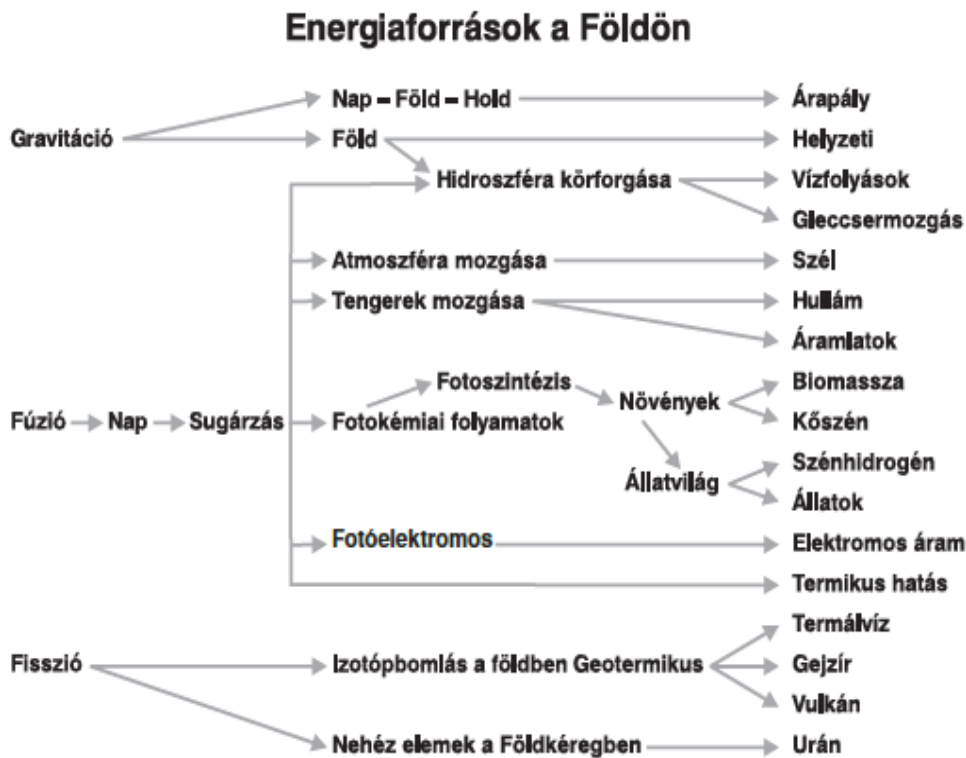
III/a melléklet



A Megújuló energiaforrások részesedése az elektromos áram és primer energiafogyasztásban a világon és az EU-ban 1990-2013 között

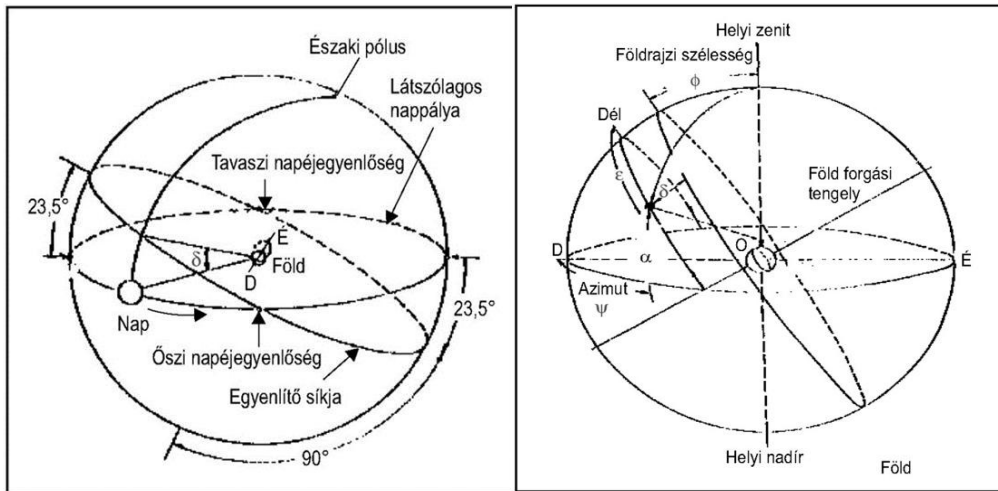
forrás: Enerdata - Global Energy Statistical Yearbook 2014., Eurostat

III/b melléklet

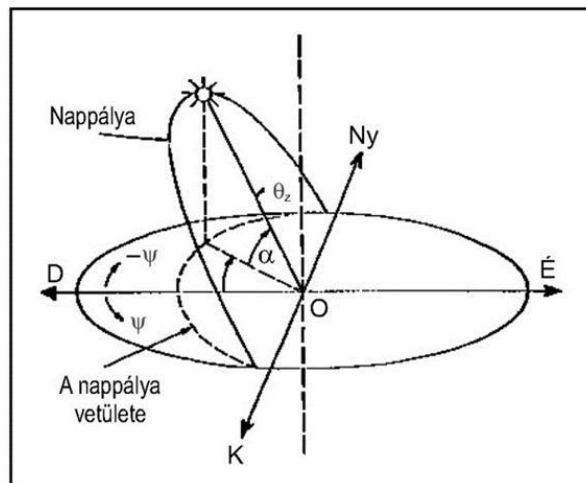


forrás: Zajzon –Kocsis 2010

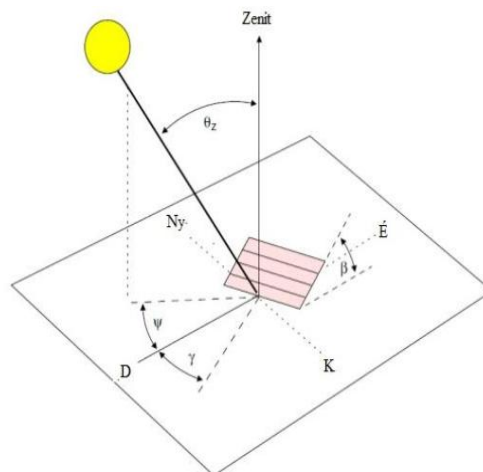
IV. melléklet



Deklanációs szög értelmezése (bal oldal) δ – a deklanációs szög, és a Nap relatív helyzete a Földhöz képest (jobb oldal) (Barótfi 2000)

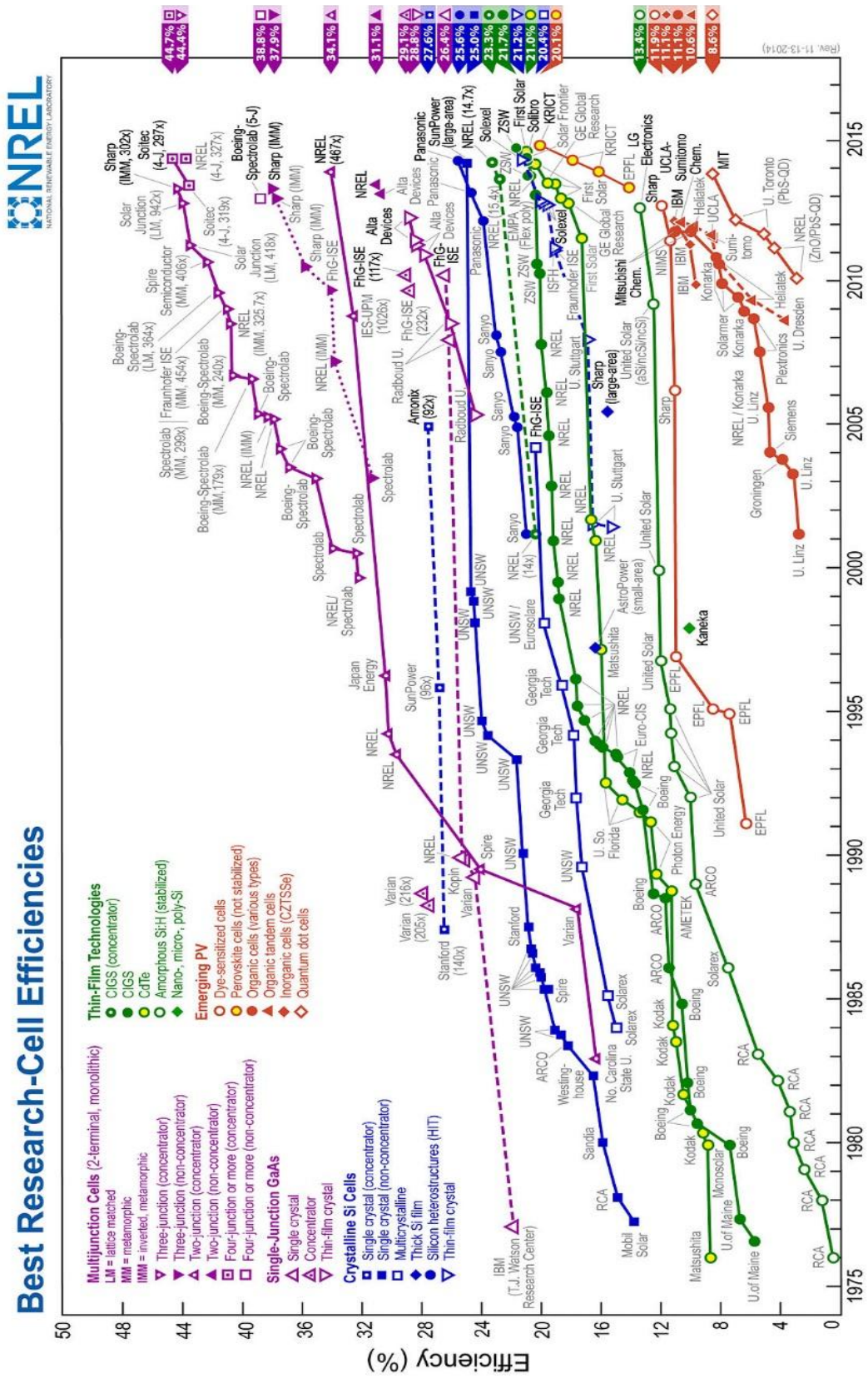


A nap geometriai helyzetével kapcsolatos szögek (Barótfi 2000), θ_z - zenit, α - beesési szög, ψ - azimut

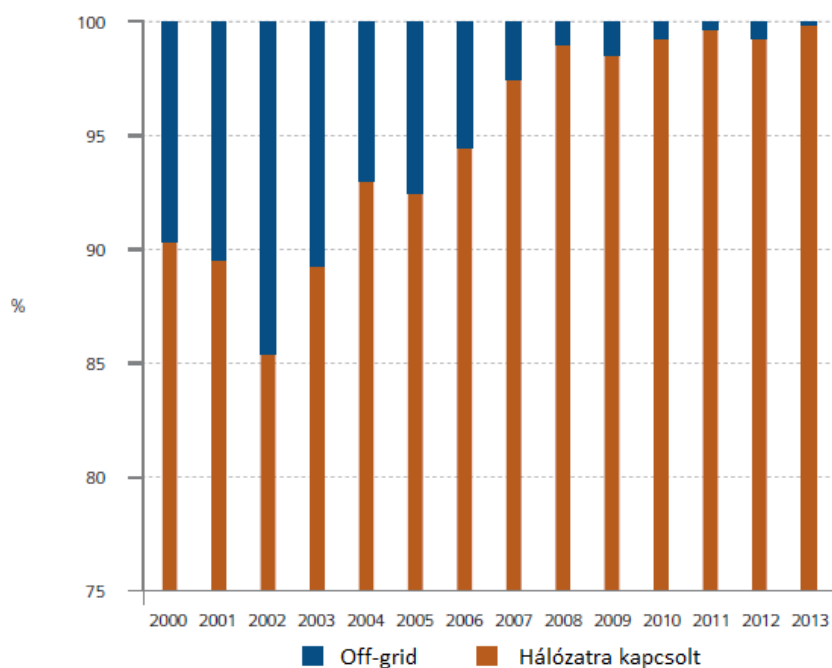


Egy tetszőleges felület esetében a számításokhoz szükséges további szögek ábrája (Csáky 2015), β – felület dőlésszöge, γ – felület azimutszöge

V. Melléklet



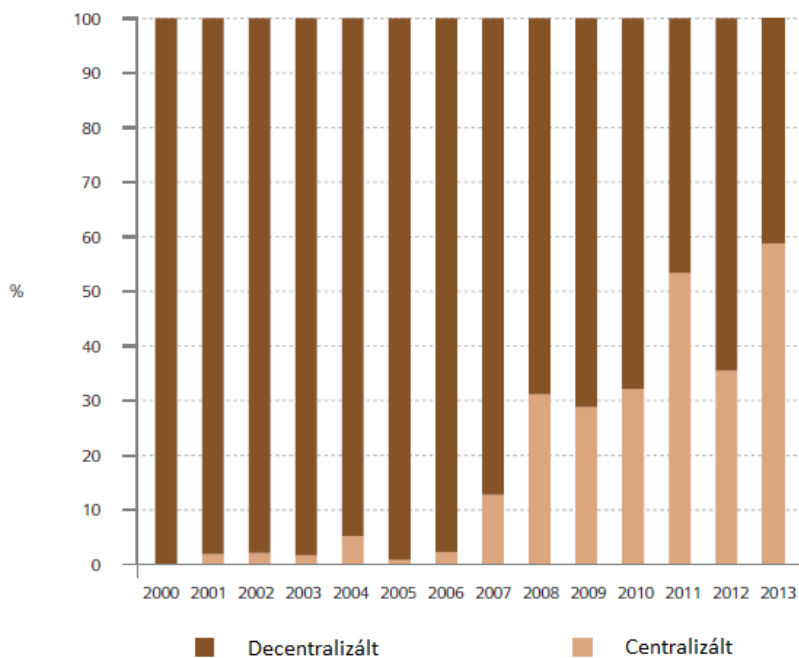
VI/a Melléklet



Az off-grid és a hálózatra kapcsolt rendszerek telepítési arányának változása 2000-2013 között

forrás: IEA 2014a

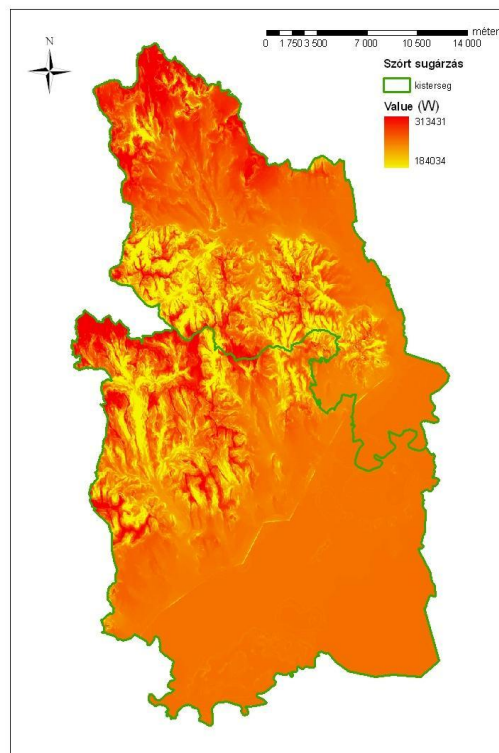
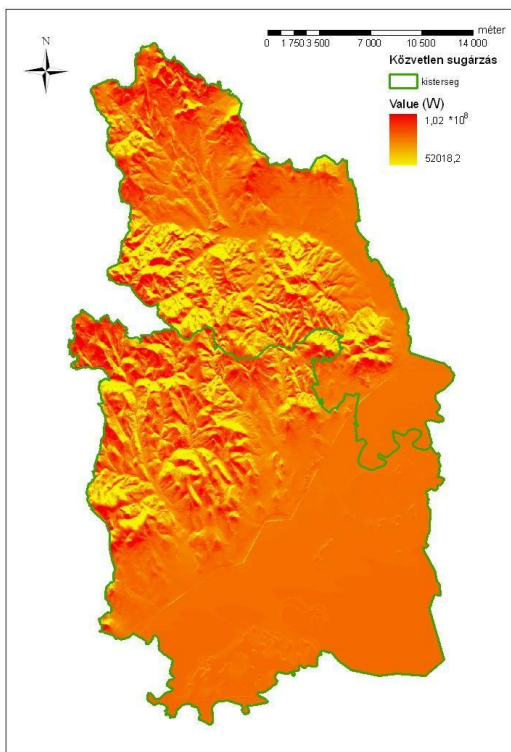
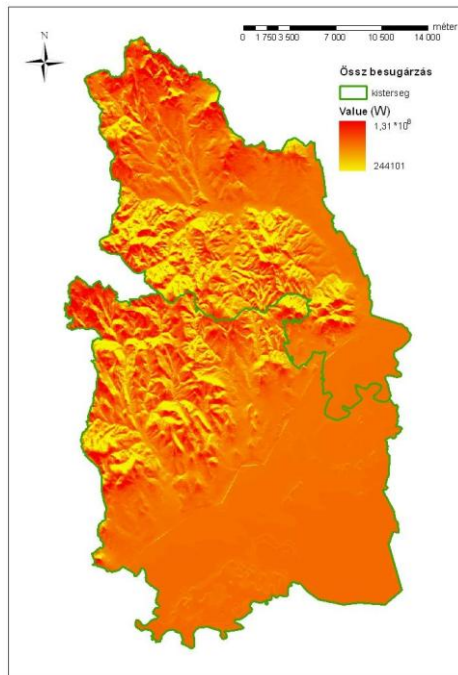
VI/b melléklet



A hálózatra kapcsolt centralizált és decentralizált PV rendszerek piaci részesedésének változása 2000-2013 között

forrás: IEA 2014a

VII. melléklet



A teljes besugárzás (fent), a közvetlen (bal alsó ábra) és a szórt (jobb alsó ábra) mértéke a két járás területén (saját szerkesztés)

VIII. melléklet

(Wh/m2)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Latitude	29847,33	49350,73	96193,75	126751,69	155647,34	153718,69	155606,78	144524,51	104384,96	67055,86	33456,12	20493,47
Interpoláció	20,44											
Below: ArcGIS Solar values	20,44											
D	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
0.2	2782,04	8097,03	24956,55	47352,77	71001,68	77143,03	75389,45	56556,12	31398,42	12006,56	3594,16	1678,68
0.2	6422,37	15358,93	40772,54	71457,55	103826,10	111651,35	109685,35	84233,68	49830,09	21652,83	7896,94	4240,43
0.2	12413,72	25439,05	59864,96	98818,43	140270,93	149896,37	147624,44	115394,32	71677,91	34458,84	14645,31	8804,49
0.2	21468,14	38710,00	82478,04	129358,12	183093,88	191323,41	189200,35	149855,16	96932,72	50709,28	24496,70	16170,60
0.2	34446,61	55643,79	108685,96	163154,56	224093,29	236782,02	234592,35	187842,19	125278,05	70792,49	38196,68	27345,32
0.3	3288,54	9333,41	28070,23	52317,42	77707,62	84234,80	82402,82	62250,63	35093,44	13737,58	4222,53	2004,94
0.3	7618,03	17771,28	45974,00	79179,61	113875,17	122167,90	120138,22	92956,36	55881,58	24869,63	9299,14	5079,98
0.3	14785,47	29558,86	67867,01	109850,68	154213,88	164170,90	162067,33	127666,59	80682,12	39746,52	17340,35	10586,51
0.3	25699,08	45200,36	93896,21	144333,49	198783,96	210376,68	208271,08	166402,38	109578,24	58779,17	29153,58	19633,25
0.3	41502,61	65365,45	124408,12	182852,62	247893,27	261195,75	259083,88	209425,12	142866,76	82551,21	45755,51	33230,86
0.4	3963,87	10981,92	32221,81	58936,95	86648,89	93990,50	91753,97	69843,30	40020,13	16045,62	5060,37	2439,95
0.4	9212,25	20987,73	52969,29	89475,69	127273,93	136189,97	134075,38	104586,59	63950,24	29158,68	11182,07	6199,39
0.4	17947,80	35051,94	78509,75	124560,35	172804,50	183470,26	181324,51	144082,96	92687,74	46796,75	20933,75	12962,54
0.4	31340,33	53854,18	109120,45	164300,64	223416,06	235781,04	233698,44	188465,34	126438,94	69539,01	35362,76	24016,79
0.4	50910,61	78327,67	145371,01	209117,17	279626,57	293747,40	291739,25	238202,37	165718,37	98229,50	55833,95	41078,25
0.5	4909,32	13289,84	38034,02	68204,28	99166,65	106928,49	104845,58	80479,05	46917,50	19276,87	6233,34	3048,97
0.5	11444,15	25490,77	62762,69	103890,20	146032,19	15820,88	153587,41	120868,92	75246,36	35163,37	13818,16	7766,55
0.5	22375,06	42742,26	93409,58	145153,87	198831,35	210489,38	208284,56	167065,86	109495,60	56667,07	25964,51	16288,98
0.5	39238,09	65969,51	130434,38	192254,66	257901,01	271347,14	269296,76	219353,48	150043,92	84602,80	44055,60	30293,74
0.5	64081,81	96474,77	174710,05	245887,27	324053,20	339319,70	337456,77	278490,52	197710,62	120179,11	69943,76	52064,50
0.6	6327,51	16751,71	46752,33	82105,29	117943,30	126785,46	124483,00	96417,67	57263,56	24123,74	7992,80	3962,50
0.6	14791,99	32245,33	77452,79	125511,96	174169,58	185267,23	182855,45	145292,41	92190,55	44170,39	17772,31	10117,30
0.6	29015,95	54277,74	115759,32	176004,17	237871,64	251018,05	248724,65	201540,22	134707,39	71472,55	35510,65	21278,64
0.6	51084,73	84142,52	162405,28	234185,68	309628,43	324696,29	322694,22	265685,69	185451,39	107198,48	57094,87	39709,17
0.6	83838,61	123695,42	218741,10	300042,41	390693,15	407878,16	406033,05	338922,74	245698,99	153103,52	91108,48	68544,11
0.7	8691,15	22521,49	61282,84	105273,63	149237,72	159880,42	157212,03	122992,05	74506,98	32201,86	10925,23	5485,05
0.7	20371,74	43502,93	101936,29	161548,23	221065,22	234344,49	231635,51	185998,23	120430,85	59182,10	24362,56	14035,21
0.7	40984,10	73503,54	153008,89	227527,99	302938,78	318865,84	316124,79	258997,49	176727,05	96148,36	46087,54	29594,74
0.7	70829,13	114430,86	215690,11	304070,71	395840,80	413611,55	411690,00	342906,05	244463,83	144857,95	78836,98	55401,55
0.7	116766,61	169063,17	292111,20	392967,64	501759,72	521608,93	520326,84	439643,11	325679,62	207977,54	126383,01	96009,98

Dyer-féle parametrizálás a szórási tényezőnek és a transzmisszivitásnak I.

IX. melléklet

0.2	0.3	26	26	23	21	17	20	23	25	27	26	24
0.2	0.4	21	21	17	13	11	11	17	19	22	22	15
0.2	0.5	14	14	9	4	2	4	9	13	16	14	13
0.2	0.6	6	7	3	7	10	9	3	3	8	6	5
0.2	0.7	4	5	11	17	20	19	12	7	2	4	7
0.3	0.3	25	25	22	19	16	16	22	23	26	25	23
0.3	0.4	20	19	15	10	9	10	15	18	20	20	18
0.3	0.5	13	12	4	1	4	3	4	9	12	13	11
0.3	0.6	3	1	5	11	13	13	6	2	5	3	2
0.3	0.7	10	10	18	22	22	22	19	14	7	9	15
0.4	0.3	24	24	21	18	15	15	20	22	24	24	22
0.4	0.4	16	17	12	8	5	5	10	15	18	16	16
0.4	0.5	11	8	2	5	7	6	1	4	10	10	8
0.4	0.6	2	2	13	16	19	18	13	8	1	2	3
0.4	0.7	17	18	24	24	24	24	24	21	14	17	26
0.5	0.3	23	23	19	14	12	12	18	20	23	23	21
0.5	0.4	15	13	8	3	1	2	8	10	15	15	14
0.5	0.5	5	6	6	12	14	14	7	1	6	5	4
0.5	0.6	7	10	20	23	23	23	21	16	9	8	10
0.5	0.7	27	27	27	27	27	27	27	27	25	27	27
0.6	0.3	22	20	14	9	6	8	14	17	21	21	20
0.6	0.4	12	11	1	6	8	7	2	5	11	12	12
0.6	0.5	1	3	16	20	21	21	16	12	3	1	1
0.6	0.6	19	22	26	26	26	26	26	26	19	19	25
0.6	0.7	29	29	28	28	28	28	28	29	29	29	25
0.7	0.3	18	16	7	2	3	1	5	11	17	18	17
0.7	0.4	8	4	10	15	18	17	11	6	4	7	6
0.7	0.5	9	15	25	25	25	25	25	24	13	11	5
0.7	0.6	28	28	29	29	29	29	29	28	28	28	28
0.7	0.7	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

Dyer-féle parametrizálás a szórási tényezőnek és a transzmisszivitásnak II. havi szinten a legjobb eredmények rangsora