

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Meteorológiai Tanszék

Globálsugárzás modellezése energetikai vizsgálatokhoz

SZAKDOLGOZAT



Készítette:

Bán Beatrix

Földtudományi alapszakos, meteorológia szakirányos hallgató

Témavezető:

Dr. Weidinger Tamás, egyetemi docens

ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2015

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	3
1. A napsugárzás jellemzői	4
2. A napenergia hasznosításának lehetőségei	7
2.1. A Nap	7
2.2. Aktív hasznosítás.....	9
2.2.1. Napelem	9
2.2.2. Napkollektor.....	11
2.3. Passzív hasznosítás	16
2.4. A napenergia felhasználásának előnyei és hátrányai	18
3. A globálsugárzás és a lejtőre jutó sugárzás parametrizációs eljárása.....	23
3.1. Vízsintes felszínre érkező sugárzás	23
3.2. A lejtőre jutó globálsugárzás	27
3.3. A napfogyatkozás hatásának parametrizációja	28
4. A sugárzási modell futtatása napfogyatkozás idején	31
4.1. Napfogyatkozások jellemzése	31
4.2. A modell bemutatása	35
4.3. Eredmények	37
Összegzés	46
Köszönetnyilvánítás.....	47
Irodalomjegyzék	48

Bevezetés

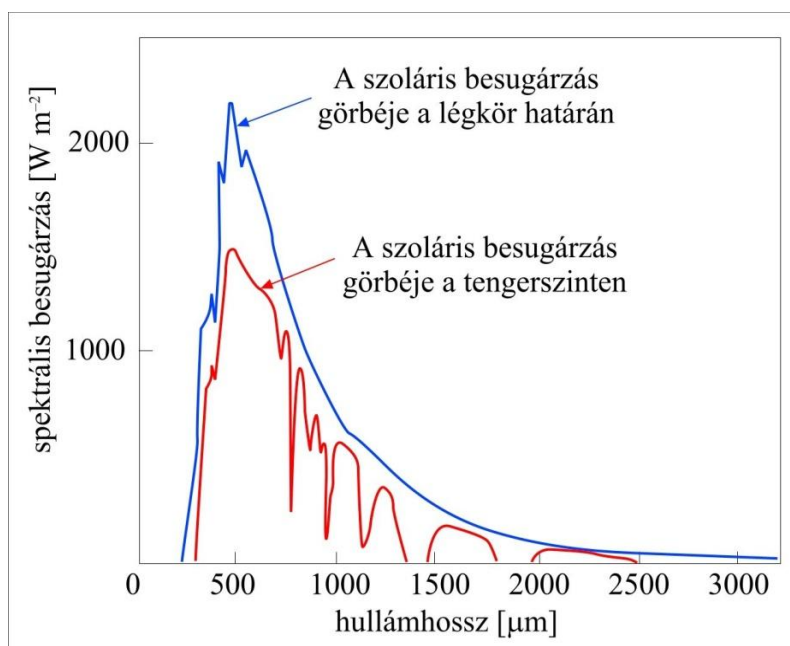
A Nap energiája nélkül nem lenne élet a Földön. A Napból érkező energiamennyiség 4 nagyságrenddel haladja meg az emberiség energiaszükségletét. A magyarországi energiafelhasználás (kb. 800 – 1000 PJ/év) hozzávetőlegesen annyi, mint hazánk kb. 200 km²-es területére jutó évi besugárzás. A Föld-légkör rendszer külső határára érkező energia közepes Nap-Föld távolság esetén 1367 W/m², amit már 1 W/m² pontossággal ismerünk műholdas mérések alapján (Major, 2010). A sugárzás a légkörön áthatolva különböző gyengüléseket szenved (Czelnai, 1995). A vízszintes felszínre jutó globálsugárzás két összetevője a direkt és diffúz sugárzás, ami a felhőzet és a légkör sugárzásáteresztő képességének ismeretében könnyen parametrizálható (Práger et al., 1999 és Kasten, 1989). Egyszerűen számítható lejtőre (lásd: 3.2. fejezet), így akár egy napelem felületé is.

A fosszilis energiahordozók meghatározó szerepet töltenek be az emberiség energiaellátásában, forrásaik azonban kimerülőben vannak. Azonban van még időnk arra, akár évszázadok is, hogy felkészüljünk. Bányászatuk és égetésük során azonban szennyezik a környezetet, így a légkört is. Ezért is, egyre nagyobb szerepet kapnak a megújuló energiaforrások, melyek közül a Nap sugárzása az egyik fő, emberi léptékben kimeríthetetlen energiaforrás. A különböző hasznosítási lehetőségek közül kiemeljük: a napelemek és napkollektorok kisüzemi (lakóházakra) és nagyüzemi (erőművek) alkalmazását, de nem feledkezhetünk meg a környezettudatos épület és várostervezésről sem (Farkas, 2010 és Bérces, 2006). Egy naperőmű tervezése, majd üzemeltetése, a termelt energia hálózatba jutása megköveteli a meteorológiai adatok felhasználását, legyenek azok hosszú felhőzeti és sugárzási sorok a tervezéshez, vagy a sugárzási előrejelzések a termelési adatok előrejelzéséhez.

Szakedolgozatom célja, hogy i) áttekintsem a napenergia hasznosítás lehetőségeit, ii) megismerkedjek a sík felszínre, illetve különböző kitettségű lejtőkre jutó sugárzás parametrizációjával, majd iii) a Kisteleki naperőmű termelési adataira támaszkodva bemutassam a 2124 db, egyenként 3,67 m² napelem által nyújtott teljesítmény és a napelemekre jutó sugárzás közötti kapcsolatot. iv) A módszer jóságát bemutató egy hetes periódust úgy választottam, hogy a 2015-ös év sugárzási eseménye, a március 20-i részleges napfogyatkozás is beleessen. Így kitérek a napfogyatkozások rövid bemutatására, illetve a légkör külső határára érkező sugárzásmennyiség változására, ami a parametrizációs eljárások egyik sarokköve.

1. A napsugárzás jellemzői

A Naptól a Földet érő elektromágneses sugárzás energiája vezérli a légkör és a felszín folyamatait. Ez az energia továbbá nélkülözhetetlen az élővilág számára az élő szervezetek fennmaradásához. A légköri sugárzási jellemzők és a légkör energiamérlegének ismerete egyik kiindulópontja a légköri folyamatok modellezésének a globális cirkulációs folyamatoktól a mikroskáláig. A sugárzási folyamatok ismerete természetesen fontos a növénytermesztés, az építészet, vagy a napenergia hasznosítás terén is.



1. ábra: A napsugárzás spektruma

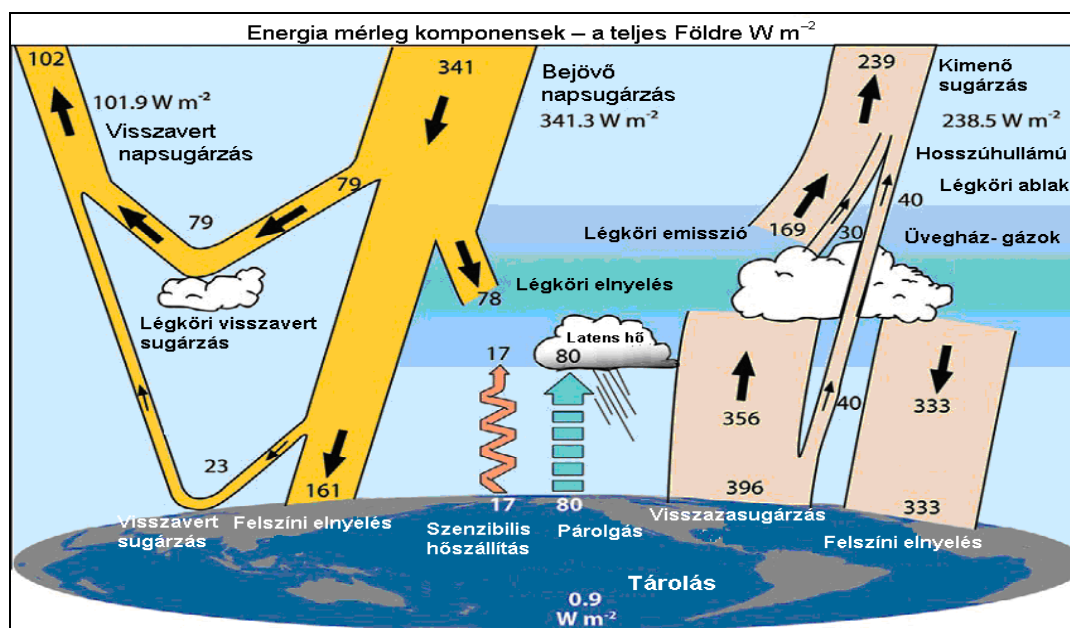
(Forrás: <http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/MeteorologiaiMuszerekEsMero rendszerek/ch04s03.html>)

A Naptól érkező sugárzás, mely rövidhullámú sugárzás, a légkörön áthatolva veszteségeket szenved (1. ábra). A meteorológiai gyakorlatban rövidhullámú sugárzásnak nevezzük a 4 μm alatti sugárzási spektrumot. 0,15 és 4 μm hullámhossztartomány közé esik a Nap elektromágneses sugárzási spektrumának közel 99%-a (Czelnai, 1995). Közepes Nap-Föld távolság esetén a légkör külső határára a Nap irányára merőlegesen beérkező energiafluxust nevezzük napállandónak, melynek értéke 1367 W m^{-2} . Mire a sugárzás eléri a felszínt, ez az érték természetesen csökken, de egy nyári felhőmentes tiszta égboltú déli órában a leérkező globálsugárzás Magyarországon is meghaladhatja az 1000 W m^{-2} értéket.

A légkörön áthaladó napsugárzást a levegőben lévő aeroszol részecskék és a levegő molekulái elnyelik, szórják vagy visszaverik (légköri extinkció). A légkörben az első jelentős elnyelés (abszorpció) az ózonrétegen való áthaladáskor történik. Itt abszorbeálódik az ultraibolya sugárzás azon hullámhosszúságú része, amely 0,22 és 0,29 μm közé esik. Ez a hullámhossz tartomány a földi élővilágra rendkívül veszélyes (Czelnai, 1995). A sugárzás 0,22 μm alatti tartományát az oxigén, nitrogén és más légköri gázok molekulái, illetve atomjai akadályozzák abban, hogy a felszínre érjen (Czelnai, 1995). A levegőben lévő vízgőznek is van abszorpciós tulajdonsága, mely a vízgőz profilja miatt elsősorban a felszín feletti 5 km-es rétegben jut érvényre. Szóródás esetén – eltérően az elnyeléstől – nincs energiaátalakulás, a sugárzás terjedési irányának megváltozásáról beszélünk, mennyiségi és minőségi változásról nem. Ha a szóródás a sugárzás hullámhosszánaál kisebb méretű molekulákon történik, akkor Rayleigh-szórásról (molekuláris szórásról), ha nagyobb részecskéken (pl. porszemeken, vízcseppeken), akkor Mie-szórásról (részecskeszórásról) beszélünk. E tényezők mellett természetesen figyelembe kell venni a légkörben lévő felhőzet mennyiségét is.

A felszínre jutó sugárzás egy része visszaverődik, más része hővé alakul, párolgásra, fotoszintézisre, stb. fordítódik. A visszaverődés függ a sugárzás hullámhosszától, beesési szögétől és a felszín minőségétől. A visszaverődési mutatót albedónak (A) hívjuk. „Valamely felület albedója az a szám, amely megadja, hogy a felület által visszavert napsugárzás fluxusa hány százaléka a felületre beeső napsugárzás fluxusának” (Czelnai, 1995). Azaz minél kisebb egy felszín albedója, annál kevesebb napsugárzást ver vissza. A felhőzet vastagságától függően növekvő albedóval rendelkezik. A vékony felhőzet mértékadó albedója 20–30%, a vastag felhőzeté (pl.: Ns) 70–80%. A földfelszín hosszúhullámú sugárzás formájában juttatja vissza az energiát, a légkörből való hosszúhullámú visszasugárzás révén viszont energiát nyer. Összességében tehát elmondhatjuk azt, bolygónk annyi energiát sugároz ki (illetve ver vissza rövidhullámon), mint amennyit kap (a tárolási tagot kivéve, ami kisebb, mint 1 Wm^{-2}). Fontos említést tenni az üvegházhatás jelenségéről is. A felszínről visszasugárzott energia egy része nem jut ki közvetlenül a világűrbe. A rendszerbe rekedt energia pedig melegíteni fogja a légkört, ami magasabb átlaghőmérsékletű lesz, mint az csillagászatilag indokolt lenne (a globális átlagos felszínközeli léghőmérséklet -18°C helyett 15°C).

A felszín-légkör rendszer sugárzásháztartását a 2. ábrán szemléltetjük. A felszín felé irányuló sugárzást pozitívnak, a felszínről a légkör felé irányulókat negatívnak vesszük. A sugárzási mérleg nem záródik. A felszín és a légkör között nettó sugárzási energiakülönbség mutatható ki, amelyet a szenzibilis és a látens hőáram, valamint a tárolási tag egyenlít ki.



2. ábra: A felszín-légkör rendszer energiaháztartása

(Forrás: Trenberth, 2009)

A későbbiekben a rövidhullámú sugárzási egyenleggel (G_R) foglalkozunk, ami két tag, a globálsugárzás (G) és a visszavert (vagy reflex) sugárzás (R) különbsége. Az egyenletben az A az albedót jelöli.

$$G_R = G - R = (1 - A)G \quad (1)$$

A globálsugárzás definíció szerint a vízszintes síkra érkező teljes rövidhullámú sugárzás, ami a felszínen a 0,286–4 μm hullámhosszúságú sugárzást jelenti (Mészáros, 2013). A globálsugárzás (G) a direkt (S) és a diffúz (D) sugárzások összege.

$$G = S + D \quad (2)$$

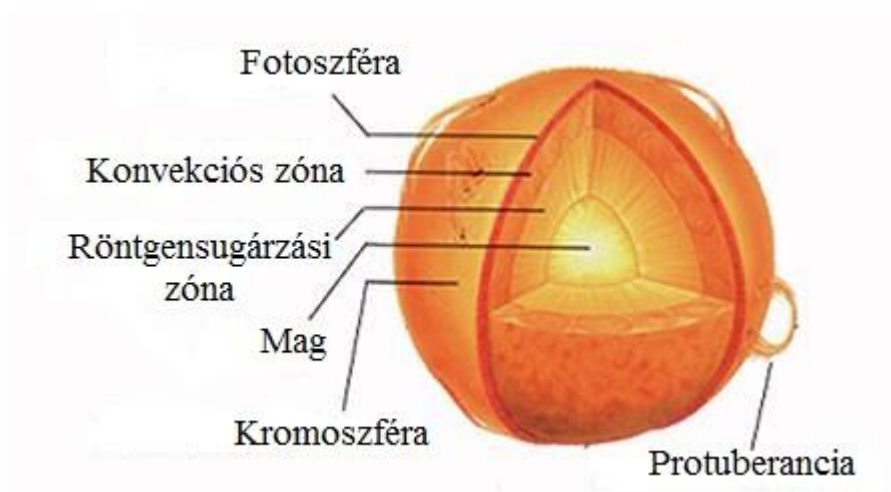
A direkt, vagy más néven közvetlen sugárzás (S) a Nap irányából a vízszintes felületre jutó rövidhullámú sugárzás. A diffúz, vagy más néven szórt sugárzás (D) a beérkező összes rövidhullámú sugárzásnak az a része, amely nem a Nap irányából érkezik. Tehát olyan sugárzás, ami visszaverődik és szétszóródik, beleértve a felszín és légkör közti visszaverődést is. A reflex, azaz a visszavert sugárzás (R) definíció szerint a vízszintes síkról (a felszínről) a légkörbe jutó rövidhullámú sugárzás.

Ezen tagok közül számunkra a globálsugárzás (G) a legfontosabb, amelyet különböző eszközökkel és módszerekkel energetikai célokra kívánunk felhasználni. A következő fejezetben ezeket a hasznosítási lehetőségeket részletezem.

2. A napenergia hasznosításának lehetőségei

2.1 A Nap

A Nap anyaga gáz halmazállapotú, plazma. (Plazmának nevezik az elektromos áramot jól vezető folyadékokat és gázokat.) – (*Gábris et al., 1999*) A Napban koncentrálódik a Naprendszer tömegének 99,98%-a. A Nap hőmérséklete a centrumban 15 millió Kelvin, a becslések szerint. Itt található a mag, amely a Nap rádiuszának mintegy egynegyedéig terjed. A Nap magjában lejátszódó fúziós folyamatban proton-proton reakció zajlik le, melynek során hidrogénatomok magjai (vagyis protonok) egyesülnek, és héliumatommagok jönnek létre gamma- és neutrínó-sugárzás mellett. Ez a folyamat nem egy lépésben, hanem több fúziós reakción keresztül megy végbe. (*Gyürky, 2011*). A Nap magját röntgensugárzási zóna veszi körül (kb. a sugár 70%-áig), ahol a hőmérséklet 4 millió Kelvin körüli lehet. Ez a zóna szállítja tovább az energiát a konvektív zóna felé, ahonnan áramlások révén kerül a felszínre. A nap szerkezetét a 3. ábrán láthatjuk.



3. ábra: Nap szerkezete

(Forrás: http://www.tananyag.almasi.hu/ojudit/Nap/Nap/a_nap_szerkezete.html)

A Nap látható felszíne a fotoszféra, amely mindössze 400 km vastag, gáznemű réteg, s innen sugárzódik ki a Nap energiájának több, mint 90%-a, főleg a látható és infravörös tartományban. Felszíni hőmérséklete 5800 Kelvin, színhőmérséklete 6100 Kelvin (Czelnai, 1995). A fotoszférában a sötétebb területeket napfoltoknak nevezzük, melyek két részből állnak: a belső és sötétebb umbrából, valamint az ezt körülvevő kicsit világosabb, szálak szerkezetű penumbrából. Az umbra kb. 1000 K-el alacsonyabb hőmérsékletű, mint a fotoszféra többi része – ezért látszik sötétebbnek. A napfoltokban a környezetüknél jóval intenzívebb a mágneses tér, vagyis ahol a mágneses fluxussűrűség megnövekedik, ott jelenik meg a napfolt (Gábris *et al.*, 1999). A fotoszféra fölött helyezkedik el a pár ezer km vastag és ritkább kromoszféra. Hőmérséklete a fotoszféra fölött kifelé haladva néhány száz kilométer magasban 4300 Kelvinre csökken, majd gyorsan emelkedik egészen a koronáig. A korona a Nap légkörének legforróbb és legritkább rétege, hőmérséklete 1 millió Kelvin körüli. A koronát szabad szemmel csak napfogyatkozásakor láthatjuk, mert ekkor a Hold eltakarja a Nap fotoszféráját, így láthatóvá válik a külső része. A koronából folyamatosan áramlanak ki részecskék (főleg protonok), melyeket napszélnek nevezünk.

Ebben a fejezetben áttekintettük a Nap szerkezetét és főbb tulajdonságait, mely információk ismerete fontos, ha az égitest energiáját kívánjuk vizsgálni.

2.2. Aktív hasznosítás

A Napból érkező energiát kétféleképpen hasznosíthatjuk: aktívan és passzívan. A napenergiát akkor hasznosítjuk aktívan, amikor külön erre a célra gyártott berendezéseket használunk. A következőkben sorra veszem a napenergia hasznosítás már létező és alkalmazható úgynevezett aktív technológiai lehetőségeit.

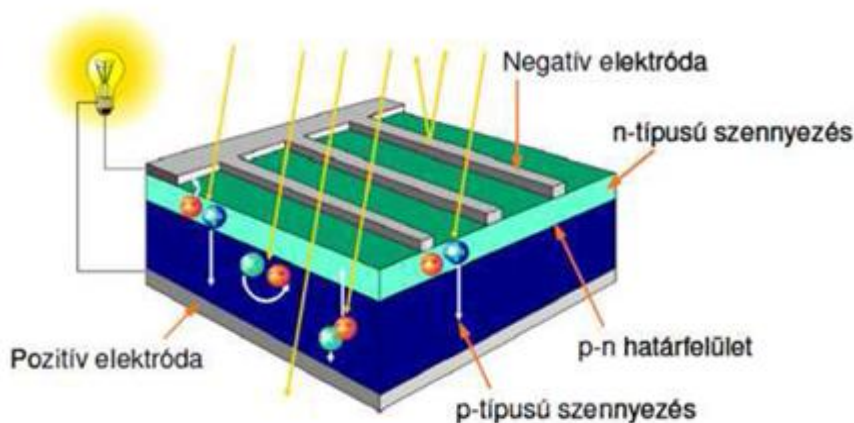
2.2.1 Napelem

„A napelem vagy fotovillamos elem, a Nap sugárzási energiáját közvetlenül alakítja át villamos energiává” (Pálfi, 2005). Sokféle fotovillamos elem létezik, de a legelterjedtebb a szilícium félvezetőn alapuló. A ma gyártott és a napelemes áramforrásokban tömegesen alkalmazott napelemek alapanyaga túlnyomórészt szilícium. Továbbá készülnek még napelemek gallium-arszenid, kadmium-szulfid, kadmium-tellurid, réz-indium-diszelenid felhasználásával is (Pálfi, 2005). A kadmium-tellurid előnye a kristályos szilíciummal szemben, hogy alkalmazása (a napelem gyártása) kevesebb energiát igényel, így környezetkárosító hatása is kisebb. A szilícium, mint kémiai elem egyébként a második leggyakoribb a Földön, de a tiszta szilícium előfordulása ritka. Mint már fentebb írtam, a napelem fényt alakít át villamos energiává, mely folyamatot egyszerűsítve három lépéssel leírhatunk:

1. fényelnyelés, az elektronok gerjesztett állapotba kerülnek,
2. a pozitív és negatív töltések lokális szétválasztása,
3. a töltések külső áramkörbe vezetése.

Bővebben kifejtve a szilícium félvezetőn alapuló fotoelektromos napelemek működését (4. ábra): az egyik rétegben a kristályos szilíciumot foszforral „szennyezik”. Ezáltal az anyag felesleges elektronokkal fog rendelkezni, amelyek az úgynevezett n-réteg (n típusú szennyezés) szabad elektronjai, melyek negatívak. A másik réteg a p-réteg (p típusú szennyezés). Itt a szilícium brómmal alakít ki kötéseket, mely eredményeképpen elektronhiányos rétegek jönnek létre. Az így kialakított p–n határfelületű cellában fotofeszültség alakul ki a fotonok hatására. Ha ezt a feszültséget elektromos körbe kötjük, akkor elektromos áram generálható, mely folyamat addig marad fenn, amíg fotonok érik az n-réteget. Az így generált áram egyenáram. Egyenáramról akkor beszélünk, ha az

elektromos áramnak nevezett töltött részecskék rendezett áramlása egyirányú, állandó erősségű (http://szigbp.hu/szigbp/documents/fizika/az_egyenaram.pdf).



4. ábra: Kristályos szilícium napelem keresztmetszete

(Forrás: SOLTRAIN – G04 előadás, Napelem technológiák és jellemzőik)

Az energia felhasználása történhet azonnal, ilyenkor az adott épület energiarendszerébe csatlakoztatva betápláljuk, és elfogyasztjuk. A probléma az, hogy a villamos áram igénnyel ellentétben, a napelemek nem tudnak folyamatosan energiát biztosítani. Ilyenkor megoldást jelenthet, ha inverter segítségével a 12 vagy 24 Volt feszültségű egyenáramból váltakozó áramot hozunk létre, és így a többlet energiát visszatáplálhatjuk a közüzemi hálózatra. Ez a visszatáplálás tulajdonképpen egy tárolási forma, ami röviden annyit tesz, hogy napközben a napelem rendszer betáplál a hálózatba, este pedig, mikor a legtöbb energiát használjuk, a hálózatról – más energiatermelő rendszereknek köszönhetően – visszakapjuk azt. Ez a megoldás nem alkalmazható, ha nincs bevezetve áramellátás (autonóm rendszerek esetén). Ekkor a napközbeni felesleget speciális akkumulátorokban tárolhatjuk el a későbbi felhasználásra.

A szilícium alapú napelemeknek három fajtája létezik: egykristályos, polikristályos és amorf típusú. A jelenlegi és a közeljövő hosszú élettartamú, nagy hatásfokú napelemei egykristályos, illetőleg polikristályos szilícium felhasználásával készülnek. Az egy- és polikristályos szilícium napelemek energiaátalakítási hatásfoka 16–18%. Laboratóriumi körülmények között többretegű napelemekkel már 40% fölötti hatásfokot is elértek (Farkas, 2010). A hagyományos szilícium napelemnek néhány száz mikrométer vastagságúnak kell lennie ahhoz, hogy a ráeső fotonok nagy részét abszorbeálja.

Következésképpen a relatíve vastag szilícium rétegek (200–230 μ m), az úgynevezett „szelet”-ek (lemezek) az elemgyártás fő alapanyagai (*SOLTRAIN – G04 előadás*). Létezik már az úgynevezett vékonyfilm vagy vékonyréteg technológia is. Ezek a 10–20 μ m vastagságú, vékony, nem kristályos szilícium rétegek vagy filmek pl. kerámia vagy üveg alapra rétegezve képezik a fotoelektromos elem alapját és kb. 15% teljesítményűek. Az olcsóbb kivitelű amorf szilícium-vékonyréteg napelemek hatásfoka 6–8% körüli (*Farkas, 2010*). Tehát az amorf technológiával készült modulok hatásfoka alacsonyabb, ennek ellenére olcsóbb ára miatt mégis népszerű. Az elmúlt években a napelemek hatásfoka nem változott számottevően, továbbra is 20% alatti (*Mészáros, 2012*).

A napelemek alkalmazása azokon a területeken a legjelentősebb, ahol nincs kiépítve az országos elektromos hálózat, bár itt a visszatáplálással történő tárolás nem lehetséges. Előnyük, hogy teljesen zajtalanul működnek, miközben kémiai szennyezőket sem bocsátanak ki. Üzemelésük során költségmentesen állítják elő a szükséges energiát. Hátrányuk, hogy magának a napelemnek az előállítás költséges, és emellett még környezetkárosító hatású is, melyről a 2.4. fejezetben lesz szó. A magas ár oka, hogy az alapanyag, a tiszta szilícium drága és ritka.

2.2.2 Napkollektor

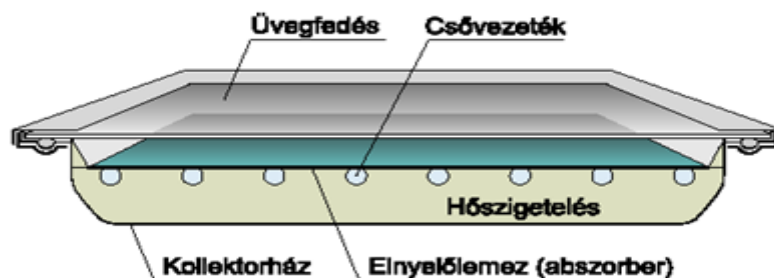
A napkollektor olyan berendezés, amelyben közvetítő közeg segítségével a Nap energiáját hőenergiává alakíthatjuk. Ezt a hőenergiát általában használati meleg víz előállítására fordítjuk, azon belül is lakossági és intézményi célra (pl.: uszodavizek fűtése, lakóházak és intézmények fűtése és hűtése, meleg víz ellátása). Éves átlagban 30–50%-os hatásfokkal hasznosítják a napenergiát, ha megfelelő tájolású, dőlésszögű és árnyékmentes helyen működnek az energiát átalakító napkollektorok. (*Farkas, 2010*). A hatásfok nem állandó, függ a napsugárzás erősségétől, a hőelnyelő felület anyagi minőségétől és jellegétől. Egy kollektor hatásfokát (%) a hasznosított energia és a kollektor felületre eső napsugárzás hányadosa adja meg. Ezt a százalékot nyilván befolyásolja a földrajzi elhelyezkedés, hiszen például Dél-Olaszországban nagyobb a napsugárzás erőssége és a napsütéses órák száma is magasabb, mint hazánkban. Magas hatásfoka mellett előnye még, hogy nem szennyezi a környezetet. Viszont telepítése elég költséges és a megtérülési ideje is változhat elhelyezkedésétől függően.

A napkollektorok legelterjedtebb és legismertebb változata a sík napkollektor, mely elől üvegezett, oldalt és hátul hőszigetelt. Az üveg feladata, hogy átengedje a napsugárzást és hőszigetelő képességével csökkentse az abszorber hőveszteségét. Az abszorber egy olyan lemez, amely képes jól elnyelni a napsugárzást, feladata, hogy továbbítsa a hőt a hőcserélő közeg felé. Ennek a közegnek a segítségével elvezethetjük a keletkezett hőenergiát a kollektorból. Ehhez szükség van egy úgynevezett csőrendszerre. A keletkezett hőenergiát a rézcsővezetékben keringtetett hőcserélő közeggel lehet elszállítani a napkollektor rendszerbe, és lehet felhasználni meleg víz előállításra, fűtésrészegítésre vagy medencefűtésre. Ez a csőrendszer általában vörösréz-ből készül. A hőcserélő közeg lehet levegő, víz, vagy más fagyálló közeg. A levegős napkollektor működési elve nagyon egyszerű: a napenergia hatására a kollektoron átfűjt levegő felmelegszik. Előnye, hogy azonnal felhasználható és nincs szükség külön hőcserélő közegre, ezáltal olcsóbb a folyadékos rendszereknél. Viszont hatásfoka és teljesítménye elmarad a folyadékos rendszerektől. Ez az oka annak is, hogy a folyadékos elterjedtebb. A napsugárzást minden fekete színű és matt felületű (kis albedóval rendelkező) anyag jó hatásfokkal abszorbeálja. A napkollektorok hatásfoka ugyanis akkor maximális, ha a kollektor hőmérséklete megegyezik a környezeti levegő hőmérsékletével. Ha hőmérséklete emelkedik, akkor növekszik a hosszúhullámú kisugárzása a Stefan-Boltzmann-törvény szerint, s így nő az energiavesztesége is. Az abszorbert bevonattal (fekete króm, nikkel- vagy titánium-oxid réteggel) látják el, ezzel csökkentve a felmelegedést és a kisugárzás mértékét.

A sík kollektor típusai:

Nem szelektív sík kollektor:

Általában üveglemezzel fedik be (5. ábra) és akár házilag is elkészíthető. Hátránya, hogy alacsony a hatásfok és télen használhatatlanok.



5. ábra: Nem szelektív síkkollektorok felépítése

(Forrás: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Megujulo_energia/ch05s03.html)

Szelektív síkkollektor:

A világon a legelterjedtebb kollektor típus, abszorbere szelektív bevonatú (speciális NiO szelektív hőelnyelő bevonat), és általában egyszeres üvegfedéssel készül.

Vákuumos síkkollektor

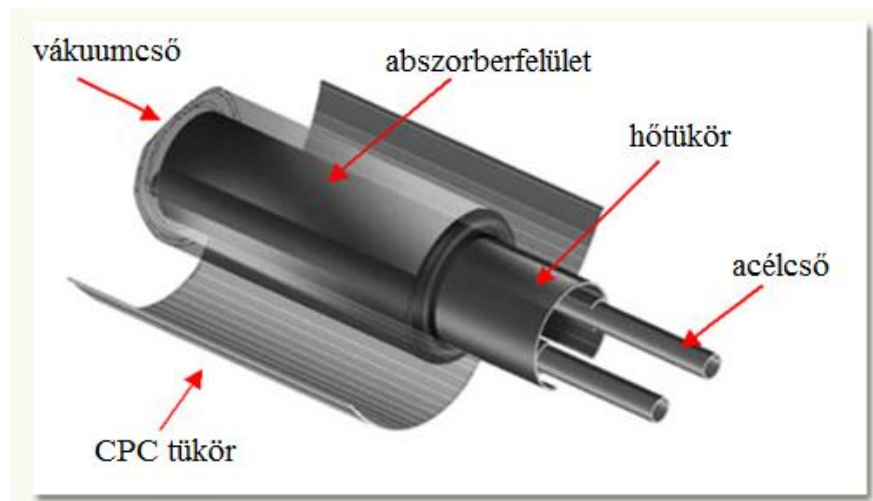
Kialakítása (6. ábra) hasonló a szelektív síkkollektorhoz, de maga a kollektorház légmentesen zárt, valamint pontszerű támaszokat alkalmaznak az üvegfedés megtámasztására. Így a fényáteresztő üveglemezt terhelő vákuum szívó hatását próbálják megakadályozni. A vákuum jó hőszigetelő tulajdonsága miatt kicsi a hővesztesége.



6. ábra: Vákuumos síkkollektorok felépítése

(Forrás: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Megujulo_energia/ch05s03.html)

A síkkollektorok mellett léteznek még vákuumcsöves kollektorok (8. ábra). Ezek a leghatékonyabb kollektorfajták. Az üvegcsövek duplafalúak, melyből a gyártás során a levegőt kiszívják, ezáltal vákuum keletkezik. A belső üvegfelületet hőelnyelő réteg borítja, melyen a napenergia hővé alakul. Ezt a hőt a belső üveg belsejében lévő réz fűtőcső továbbítja a rendszerbe, hogy pl. vizet melegítsen a háztartásokban. A vákuumcsövek (7. ábra) alá kettős parabola tükröket rögzítenek. Ez koncentrálja az abszorberre a kedvezőtlen szögű és szórt (diffúz) napsugárzást.



7. ábra: A vákuumcső szerkezete

(Forrás: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Megujulo_energia/ch05s03.html)



8. ábra: Vákuumcsöves napkollektor

(Forrás: <http://www.acrux.hu>)

A napkollektor működése során a felmelegedett hőátadó anyag elszállítódik a napkollektor rendszerbe, melynek főbb elemei:

- napkollektor,
- tároló (a megtermelt hőt meleg víz formájában tárolja),
- csővezeték-rendszer (a napkollektort és a tárolót köti össze),
- működtető, biztonsági, szabályozó és ellenőrző szerelvények (a működtető, szabályozó, ellenőrző és biztonsági szerelvények közé tartozik az automatika, a keringető szivattyú, tágulási tartály, biztonsági szelep, nyomás- és hőmérők).

A folyadékos napkollektoros rendszerek lehetnek egykörösök vagy kétkörösök:

Egykörös rendszer

Ilyen rendszer esetén a napkollektorokban közvetlenül a felmelegítendő használati víz kering. Csak fagymentes időszakban alkalmazható. Hátránya még, hogy nagy a vízkövesedés, lerakódás és forrás veszélye.

Kétkörös rendszer

Az első (primer) körben fagyálló folyadék kering. Ez adja át hőcserélőn keresztül a hőjét a tárolóban lévő víznek. A kétkörös rendszerek egész évben biztonsággal használhatóak.

A kollektoros rendszerek másik csoportosítási módja a folyadék munkaközeg szállítása alapján történik. Ez alapján lehetnek gravitációs vagy szivattyús napkollektorok. A gravitációs keringetés fajsúlykülönbségből adódik. A tárolótartályt a napkollektorok fölött helyezik el, a hőátadó munkaközeg keringése a kollektorban lévő folyadék felmelegedéséből adódó fajsúlycsökkenés miatt következik be. Az ilyen szerkezetekben nincs szükség automatikára. A szivattyús rendszereknél a hőátadó folyadékot a szivattyú áramoltatja: előnye, hogy a tároló bárhol elhelyezhető. Viszont itt nagyobb költségek merülnek fel, mint a gravitációs rendszerénél.

2.3 Passzív hasznosítás

A napenergia passzív hasznosítását megvalósító épületekben a napenergia begyűjtését, annak tárolását és az energia tervezett formában történő leadását az épület, illetve annak szerkezeti elemei végzik (Farkas, 2010). Nem használnak külön berendezést az energia felfogására, hanem az ablakok megfelelő tájolásával (északi féltekén déli tájolás célszerű), üvegezésével, az épületek hatékony szigetelésével és nagy hőtároló kapacitással rendelkező szerkezeti anyagok megválasztásával hasznosítják a Nap energiáját. Ezzel jelentősen csökkenthető a fűtési költség. A hasznosítás kritériumai közé tartozik a benapozás biztosítása, a szerkezet alkalmassága a napsugárzás hasznosítására, illetve hasznosító képessége a hőenergia elosztására térben és időben.

A napenergiát passzívan hasznosító épületeket működési elvük alapján három csoportba sorolhatjuk:

1. Direkt rendszerek

Más néven közvetlen hasznosítású épületek. A napsugárzási energia közvetlenül az ablakfelületen keresztül a fűtendő térben nyelődik el. A felületek felmelegszenek, a hő egy részét átadják a levegőnek, más részét pedig magukban tárolják. Így alakítják ki az optimális környezeti hőmérsékletet az épületben.

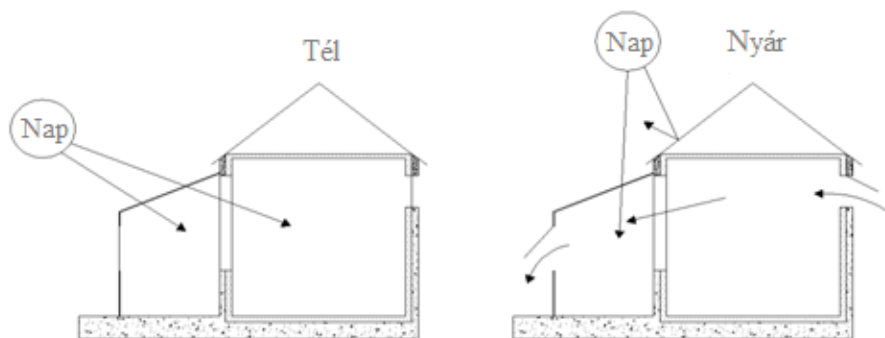
2. Tömegfal, Trombe-fal

A tömegfal nagy falvastagságú, és nagy hőtároló képességű szerkezet, amely elválasztja a lakott teret a külső tértől. Elve, hogy a napsugárzást egy üvegtábla mögött elhelyezett nagytömegű fal gyűjti össze, és a hőt ez adja át a helyiség levegőjének. A Trombe-fal a tömegfal továbbfejlesztett változata. Itt a hőtárolást árnyékoló redőny segíti, a hőeloszlást és a levegő áramlását pedig a fal alján és tetején csappantyúkkal lezárható szellőzőnyílások biztosítják.

3. Napház előtét üvegházzal

Ez egy önálló energetikai egység, amely az épület többi helyiségéhez csatlakozódik a 9. ábrán látható módon. Nagy üvegfelületein keresztül jelentős mennyiségű napenergiát képes elnyelni, mely felhasználásával fűti az épületet. Napsugárzás nélkül nagy a hővesztesége, így állandó lakóterként való használata korlátozott. Viszont hidegben a fűtendő helyiség hőszigetelését is biztosítja. Az üvegezett tér

jelentősen csökkenti a szél hatását. Alkalmazásával az éves fűtési energia megtakarítása akár 30%-os is lehet.



9. ábra: Napház előtét üvegházzal

(Forrás: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Megujulo_energia/ch05s02.html)

E mellett léteznek az úgynevezett passzív házak, ahol a hőveszteség pótlásához nincs szükség külön fűtési rendszer kiépítésére (Horváth, 2011 és Bérces, 2006). Ez annak köszönhető, hogy a passzív ház extrém jó hőszigeteléssel rendelkezik, mind a falak, az aljzat és a tető, mind pedig a nyílászárók tekintetében. Emellett már a tervezésnél figyelembe veszik a ház energiaháztartását: hőhidmentes, légtömör szerkezet kialakítása a cél. Alapvető tervezési szempont, hogy a legnagyobb fűtésigényű szobákat a napsugárzásból nyerhető energia miatt D-DK-K-i irányba kell tájolni. Így a hőveszteség csak töredékét teszi ki egy hagyományos házénak. Legfőbb passzív energiaforrás az ablakokon keresztül beérkező napfény, valamint a háztartási gépek és a bentlakók által leadott hő. A passzív házak fajlagos fűtési energiaigénye nem haladja meg évente a $15 \text{ kWh/m}^2\text{-t}$. Ez 80–90%-kal kevesebb, mint egy hagyományos szerkezetű házé. A primerenergia-felhasználás, beleértve a használati meleg víz előállítását és a háztartási áramot is, nem lehet több évente $120 \text{ kWh/m}^2\text{-nél}$ (Horváth, 2011). Világszerte egyre több passzív ház épül, melyekből már egyetlen évente tonnás nagyságrendekkel kevesebb szén-dioxid-kibocsátást okoz, mint egy hagyományos szerkezetű ház. A hazai építési szabványok is szigorodnak az elkövetkező években, az energiahatékonyságra vonatkozó minimumkövetelményeket a „2010/31/EU irányelv az épületek energiahatékonyságáról” című direktíva határozza meg. (Az Európai Unió Hivatalos Lapja, 2010: www.eeq.hu/data/files/pdf/Epuletek_Energiahatekonysagarol_201031EUIranyelv.pdf)

2.4.A napenergia felhasználás előnyei és hátrányai

Első és legfontosabb érv a napenergia felhasználás mellett, hogy megújuló jellegű, kimeríthetetlen forrással bír (azaz még több millió évig biztos fel lehet használni). Emellett nem szennyezi jelentős mértékben a levegőt, azaz szinte teljesen elmarad a CO₂, NO_x, SO₂, illetve a por kibocsátása. Bizonyos környezetkárosító hatása mégis van, mely főleg a napelemek és napkollektorok előállítás, valamint ártalmatlanítása során lép fel. Ha nagyteljesítményű rendszereket szeretnénk kiépíteni, akkor előnnyé válhat, ha régi ipari és bányászati területeken létesítjük azokat, hiszen így ezek a területek sem maradnak kihasználatlanul. Társadalmi/gazdasági előnynek vehető a felhasználás által az energiaforrások diverzifikálása és biztonsága, valamint a munkahelyteremtés. A napenergia növekvő felhasználásával az országok energetikai függetlensége is növekszik. További előny, melyet már a 2.2.1. fejezetben is említettem, hogy üzemelésük során költségmentesen állítják elő a szükséges energiát (pontosabban alacsony a fenntartási költség), valamint a villamos hálózattól távol eső vidékeken is biztosítani lehet általa az energiaellátást.

Az előnyök mellett hátrányok is léteznek, melyeket két csoportba osztva fogok bemutatni. Elsőként a napenergia kiaknázásának technikai problémáiról, utána pedig a környezetkárosító hatásairól írok. Két fő technikai probléma okoz gondot: az egyik a termelési ingadozás, a másik a földrajzi elhelyezkedésből és domborzati viszonyokból adódik. Vagyis az optimális 90°-os beesési szögtől való eltérés és a légkör hatása (a légtömeg vastagsága, homályossága) meghatározza a hasznosítható energia mennyiségét. A termelési ingadozás oka, hogy a napenergia rendelkezésre állása térben és időben is változó tulajdonságú. Ez egyrészt az időjárás, más részt az éghajlati sajátosságok (pl.: napi és évi menet) a következménye, ami hosszabb távon szabja meg a bejövő energia mértékét. A megtermelhető energia tehát egyenlőtlen, így néha a szükségesnél több, néha pedig kevesebb. Ezért szükség van különböző tárolási formákra, mint amilyen például a hálózatra való visszatermelés (2.2.1. fejezet), vagy az akkumulátorokban való tárolás. Az akkumulátoros verzió igen költséges és elégtelen módja a tárolásnak, csak kis fogyasztók szokták alkalmazni. A tárolás egy másik módja, ha hidrogént (mint üzemanyagot) állítanak elő a napsugárzásból nyert elektromos árammal (vízbontásból, elektrolízisből). A hidrogén tárolása és szállítása hasonló a földgázéhoz. Felhasználása egyszerű és sok analógiát mutat a fosszilis energiahordozókkal, károsanyag-kibocsátás pedig az égetéskor keletkező vízgőznek köszönhetően gyakorlatilag elhanyagolható.

Jelenleg azonban a hidrogénből előállított energia drága, 20 USA Dollár/GJ szemben a biometanollal, melyből származó energia 7 USA Dollár/GJ (Göőz, 2007). A gyakorlatban még nem megoldott a hidrogénhajtású járművek tömeges alkalmazása, bár pl. az autóbuszoknál vannak biztató (akár hazai) törekvések is (Binder et al., 2006; Molnár és Kádár, 2007). A másik technikai problémát a napsugarak változó beesési szöge okozza. A beesési szög csökkenésével csökken az egységnyi felületre eső energiamennyiség, vagyis csökken az energiasűrűség. Ez végső soron alacsonyabb munkaközeg hőmérsékletet okoz a napkollektoroknál, vagy teljesítményeséssel jár a napelemes rendszereknél. Ezért a napsugarak útjába állított sík felületeket a lehető legoptimálisabban kell elhelyezni. Az egész évben működő rendszerben előnyös a meredek beépítés, mert ez nagyobb mértékben hasznosítja a kis napmagasság alatt érkező téli napsugárzást. Hazánkban az optimális dőlésszög 30° és 60° között van (egész éves üzem esetén $43,5^\circ$; májustól szeptemberig $32,4^\circ$; novembertől márciusig $63,5^\circ$) (Barótfi, 2000). A hatásfok akkor lenne a legnagyobb, ha napkeltétől napnyugtáig a lehető legnagyobb beesési szöggel érnék a sugarak egész évben a napkollektor, illetve a napelem felületét. Ahhoz, hogy a napjárást, azaz a Nap időben változó látszólagos helyzetét követni lehessen, napkövető rendszerek telepítésére van szükség. Ez viszont költségigényes és a mechanikus alkatrészek miatt nő a meghibásodások lehetősége. A lakossági napkollektorok napkövetés nélkül is képesek biztosítani a szükséges hőmennyiséget megfelelő tájolással. Ez azt jelenti, hogy a napkövető rendszereket nem lakossági, hanem sokkal inkább ipari felhasználási szinten alkalmazzák. Az ipari alkalmazásokban ugyanis magas, és lehetőség szerint állandó üzemi hőmérséklet szükséges, ezeket pedig fókuszáló rendszerekkel érik el. A fókuszálás előnye, hogy nagy területre érkező napenergiát sűrít össze, megnövelve az egységnyi felületre eső energia mennyiségét, hátránya hogy a fókuszpont a Nap járásával időben változik, ezért a fókuszpontba helyezett munkaközeg csak rövid időre kerül a fókuszált sugarak útjába. Ezeknél a rendszereknél tehát nélkülözhetetlen a napkövetés (Milus, 2009).

Sokan úgy tartják, köztük szakemberek is, hogy a Nap energiájának felhasználása „tiszta” és „zöld” energiát ad, azaz semmiféle mértékben sem károsítja a környezetet. Az igazság azonban az, hogy minden antropogén tevékenység, így a napenergia felhasználása is okoz némi környezetszennyezést. Ez igen alacsony mértékű, szinte elhanyagolható, főleg a fosszilis energiahordozókra alapozott energiatermelés kibocsátásához képest. A minimális környezetterhelő hatás pedig megfelelő intézkedésekkel, tervezéssel csökkenthető, illetve megszüntethető. A következőkben külön foglalkozom a napkollektoros és a napelemes rendszerek környezeti hatásaival.

A napkollektorok környezeti hatásai

Négy fontos környezeti hatást lehet megemlíteni, ilyen i) a területfoglalás, ii) a gyártásuk során fellépő jelentős anyagigény, iii) a vizuális hatások és iv) ártalmatlanítás a termék életciklusa végén. A gyakorlatban a kis- és közepes teljesítményű rendszerek nem foglalnak el plusz területeket, hiszen általában épületek tetőszerkezetére telepítik azokat. A hőtárolás az, ami plusz területeket igényelhet. A nagy teljesítményű rendszerek hőt koncentráló felületeinek is számottevő területigénye van, mely létesítményeket így természetesen ökológiai szempontból fontos helyektől távol kell telepíteni. Tehát a területfoglalás problémáját megfelelő területválasztással és tervezéssel ki lehet küszöbölni. A vizuális hatásokat és az épületek elcsúfításának problémáját is meg lehet oldani. Ilyen megoldás a jó integrálás. Ez alatt korábban a láthatatlanságot értettük, de ma már az emberek inkább büszkéek arra, hogy napenergiát hasznosítanak, de a gyártók és az építésszek továbbra is törekednek arra, hogy minél inkább a burkolat természetes részeként, esztétikusan hassanak a napkollektorok mellett a napelemek is. A napkollektorokat az élettartamuk végén (ami kb. 25 év) ártalmatlanítják, azaz a gyártók többsége visszaveszi és újrahasznosítja azokat. Amennyiben még korábban gyártották és halogénezett szénhidrogéneket tartalmaz a kollektor, akkor gondoskodnak a kezeléséről (Mészáros, 2012).

A napelemek környezeti hatásai

Mint azt már korábban, a 2.2.1. fejezetben előnyként leírtam, a napelemes rendszerek működésük közben nem bocsátanak ki sem kémiai szennyezőket, sem zajt. Azonban hátrányos környezeti hatásként itt hat folyamatot lehet megemlíteni:

- területfoglalás,
- vizuális hatások,
- szennyezők rendszeres vagy baleset miatti kibocsátása,
- természeti erőforrások kimerítése,
- levegőszennyezés,
- ártalmatlanítás.

A lakossági napelemes rendszereket szintén a házak tetőszerkezetére telepítik, így a területfoglalásban a főszerepet a nagyteljesítményű (központi) napelemes rendszerek játsszák. Ez esetben célszerű távoli, sivatagos, nem termékeny talajú területek kihasználása a telepítésre. A már a napkollektoroknál említett, és itt is érvényes vizuális hatások enyhítésére optimális építészeti megoldásokat keresnek és alkalmaznak. Ilyen megoldás például, ha a napelemtáblákat irodaépületek és bevásárlóközpontok homlokzatain használják üveg vagy tükör burkolat helyett. Bizonyos szennyezők rendszeres vagy baleset miatti kibocsátása megfelelő tárolással, tűz és üzemzavar esetén fellépő káros anyag kibocsátás pedig megfelelő munkavédelmi oktatással és felkészüléssel megelőzhető. A természeti erőforrások kimerítésének lehetősége a gyártás során merülhet fel. Ugyanis a napelemek gyártása mellett, hogy energiaigényes tevékenység (főleg a szilíciumos egykristályos és polikristályos technológiák), még jelentős anyagfelhasználással is jár. A vékonyréteg-technológia ezért is előnyös, hiszen kevesebb energia befektetéssel jár a gyártás, valamint kevesebb adalékanyagot igényel. Ilyen anyagokat már említettem a 2.2.1. fejezetben, melyek közül a kadmium egyébként a cink gyártásának mérgező mellékterméke, és ha nem használnák fel napelemek gyártásához, akkor a szemétbe kerülne, szennyezné a környezetet. Viszont ez miatt is fontos, hogy magából a napelemből ne tudjon kiszabadulni. Előnyös tehát, mert alkalmazásával a napelemek gyártása kevesebb energiát igényel, mint ha kristályos szilíciumot használnánk fel, így alacsonyabb a gyártás szén-dioxid kibocsátása is. Ez a minimális kibocsátás az, ami a levegőszennyezéshez köthető, viszont működésük során egyáltalán nincs.

Továbbá fontos tényező még a használt panelek megfelelő újrafelhasználása, újrahasznosítása, ártalmatlanítása is. A gyártók általában garantálják azt, hogy a napelemek 10 év múlva a névleges teljesítményük legalább 90%-át, 20 év múltán pedig a névleges teljesítményük legalább 80%-át leadják. Az eddigi gyakorlati tapasztalat azonban ennél sokkal kedvezőbb értékeket mutat (*Mészáros, 2012*).

A 2011. évi LXXXV. törvény 43. § alapján (mely hatályos 2015.01.01-től 2015.04.14-ig) környezetvédelmi termékdíjat vetettek ki a fotovoltaiikus elemekre. Ez azt jelenti, hogy Magyarországon minden napelem után 2015. január 1.-jét követően 114 Ft/kg környezetvédelmi termékdíjat kellett fizetni, mely mintegy 2000–2500 Ft-os modul áremelést jelentett (*Magyar Napelem Napkollektor Szövetség*). A környezetvédelmi termékdíj a környezetszennyezés csökkentését hivatott szolgálni. A termékdíj kivetésének célja, hogy a károk megelőzéséhez és csökkentéséhez pénzügyi forrásokat teremtsen.

A 2011. évi LXXXV. törvény 43. §-a a 2010: CXXX. törvény 12. § (2) bekezdése alapján hatályát veszítette (*Nemzeti Jogszabálytár*).

A korábbi technológiákkal gyártott napelemekkel kapcsolatosan vannak eljárások, hogy élettartamuk végén (a gyártói garancia 20–25 év) üveg, fém és szilíciumtartalmú alkotóelemeikre szétválaszthatók, hogy újrahasznosíthatók legyenek. A CdTe (kadmium-tellurid) és a CIS (réz-indium-diszelenid) technológiák esetében ezek az eljárások még fejlesztés alatt állnak. A fotovillamos rendszerek újrahasznosítása tehát még nem teljesen megoldott, a gyártó iparág azonban megfelelő környezeti elkötelezettséggel rendelkezik az újrahasznosítási technológiák és eljárások fejlesztésére. Környezeti hatás vizsgálatok elvégzésekor azonban az újrahasznosítás problémáját vizsgálni kell (*Mészáros, 2012*).

3. A globálisugárzás és a lejtőre jutó sugárzás parametrizációs eljárásai

A napkollektorok és a napelemek áttekintése után visszatérünk eredeti célkitűzésünkhöz a globálisugárzás (G) és két összetevőjének, a direkt (S) és a diffúz (D) sugárzás modellezéséhez (Práger et al., 1999; Kasten, 1989; Liu és Jordan, 1960; Molnár, 2011). A következőkben megismerkedünk a vízszintes felszínre érkező rövidhullámú sugárzás kiszámításával, majd a lejtőre jutó sugárzással foglalkozunk, hogy kapcsolatot keressünk a besugárzás és egy napelemes erőmű, a mi esetünkben a Solargate Energetikai Beruházó Kft. a kisteleki naperőmű termelése között.

3.1. Vízszintes felszínre érkező sugárzás

Első lépésben nézzünk egy egyszerű módszert a globálisugárzás kiszámítására standard meteorológiai adatok alapján (Práger et al., 1999):

$$G = (a_1 \cdot \sin\Phi + a_2) \cdot (1 + b_1 \cdot N^{b_2}), \quad (3)$$

ahol Φ a napmagasság, N a borultság (0 és 1 közötti értéket vehet fel $\rightarrow$ 0: derült égbolt, 1: teljes borultság), a és b földrajzi helytől és felhőzetől függő empirikus állandók, melyek Magyarországra (Práger et al., 1999):

$$a_1 = 990 \frac{W}{m^2},$$

$$a_2 = -30 \frac{W}{m^2},$$

$$b_1 = -0,75,$$

$$b_2 = 3,4$$

A napmagasság (Φ) kiszámítása:

$$\Phi = \arcsin (\sin\delta \cdot \sin\varphi_{rad} + \cos\delta \cdot \cos\varphi_{rad} \cdot \cosh), \quad (4)$$

ahol φ_{rad} a szélességi kör, δ a Nap deklinációja. A csillagászatban a deklináció az égi egyenlítőtől a pólusok felé mért szögtávolság, értéke az égi egyenlítőn 0° , az északi égi póluson $+90^\circ$, a délin pedig -90° . A Nap deklinációja tehát a Nap és az égi egyenlítő közötti szögtávolság, amely a földrajzi szélesség éggömbi megfelelője.

A zenitszög (Θ_0) kiszámítása:

$$\cos\Theta_0 = \sin\delta \cdot \sin\varphi_{rad} + \cos\delta \cdot \cos\varphi_{rad} \cdot \cosh. \quad (5)$$

A zenitszög az a szög, amely a lokális zenit (helyi függőleges), valamint a Nap és a megfigyelő által meghatározott egyenes egymással bezár. Ez a szög 0° és 90° között változhat. Teljesül, hogy :

$$\cos\Theta_0 = \sin\delta \cdot \sin\varphi_{rad} + \cos\delta \cdot \cos\varphi_{rad} \cdot \cosh = \sin\Phi, \quad (6)$$

hiszen a napmagasság (Φ) és a zenitszög (Θ_0) 90° -ra egészítik ki egymást (Barótfi, 2000).

δ a Nap deklinációja:

$$\delta = \arcsin (0,398\sin \varepsilon), \quad (7)$$

ε a szoláris hosszúság:

$$\varepsilon = 4,871 + 0,0175d + 0,033\sin (0,0175d), \quad (8)$$

ahol d : az év adott napja.

h a Nap óraszöge:

$$h = \lambda_{rad} + 0,043 \sin(2\varepsilon) - 0,033 \sin(0,0175d) + 0,262t_{UTC} - \pi, \quad (9)$$

ahol t_{UTC} : az év adott napjának időpontja. A Nap delelésekor $h = 0$. Az egyenletekben λ_{rad} a földrajzi szélességet jelöli (itt is radiánban megadva).

A német környezetvédelmi szabványban (Kasten, 1989) például a felhőzet mellett a homályossági tényezőt is figyelembe kell venni. Ott a következő parametrizációt alkalmazzák:

$$G = G_0 \cdot \left(1 - a \cdot \left(\frac{N}{8}\right)^b\right), \quad (10)$$

ahol $a = 0,72$,

$b = 3,2$.

$$G_0 = I \cdot \sin\phi \cdot A \cdot \exp\left(-B \cdot \frac{Tm}{\sin\phi}\right), \quad (11)$$

ahol I a Föld-légkör rendszer külső határára érkező napsugárzás, azaz az aktuális napállandó, ami függ az aktuális (r) és a közepes (r_0) Nap-Föld távolságtól is:

$$I = I_0 \cdot \left(\frac{r_0}{r}\right)^2. \quad (12)$$

$I_0 = 1367 \text{ Wm}^{-2}$, a légkör külső határára közepes Nap-Föld távolság (150 millió km) esetén, a Nap sugárzására merőleges egységnyi felületre időegység alatt bejövő energia. A fenti képletben alkalmazott állandók: $A = 0,84$, $B = 0,027$. Tm a homályossági tényező, mely a levegőben lévő gázok pl. vízgőz, ózon, szén-dioxid, illetve a különböző aeroszol részecskék molekuláin történő szóródás és elnyelődés által keltett, a tiszta levegőhöz viszonyított fénygyengítést mutató szám, mely megmutatja, hogy hány tiszta és száraz légkört kellene egymás fölé helyezni, hogy ez a megvastagodott légkör ugyanazt a sugárzásgyengítést adja, mint a valóságos légkör.

A direkt sugárzás parametrizációja

A direkt sugárzás (S) felhőmentes időszakban, adott napmagasságnál, ismerve a komplex átbocsátási együtthatót (q) és a homályossági tényezőt (Tm), a légkör külső határára érkező (a Nap–Föld távolságtól függő) napsugárzás ismeretében már meghatározható a Bouguer-Lambert-formula segítségével:

$$S = I \cdot q^{Tm \cdot z} . \quad (13)$$

A q tiszta és száraz légkör komplex átbocsátási együtthatója azt fejezi ki, hogy merőleges beeséskor az eredetinek hányad részére csökken a légkör alján a sugárzás erőssége. Értéke 0,93 (*Pátkainé Rusznyák, 2014*). A képletben z a napsugárzás relatív úthossza, értéke:

$$z = \frac{1}{\sin \phi} . \quad (14)$$

A felhőzet figyelembevételével az órás átlagos direkt sugárzás (S_d):

$$S_d = S \cdot (1 - t_L/t_V) . \quad (15)$$

Itt t_L a csillagászati lehetséges napfénytartam jele, t_V a valódi napfénytartam. A direkt sugárzás meghatározásánál azt feltételezzük, hogy az fordítottan arányos a borultsággal (N):

$$S_d = S \cdot (1 - N/8) . \quad (16)$$

A globálsugárzás és a direkt sugárzás meghatározása után a diffúz sugárzást már könnyen megkaphatjuk, hiszen a globálsugárzás a diffúz és direkt sugárzás összege.

3.2.A lejtőre jutó globálsugárzás

Első lépésként a síkra számolt globálsugárzást szétválasztjuk direkt és diffúz sugárzásra, majd ezeket külön-külön átszámoljuk a lejtőre. Ezt követően már átszámíthatjuk az összetevőket tetszőleges lejtőre. A bemutatásra kerülő módszer (Molnár, 2011) alkalmazható 40° -nál kisebb és nagyobb lejtőszögek esetén is. (A lejtő közeli síkfelszínről kapott reflex sugárzást elhanyagoljuk számításaink során.)

$$G(\beta, \alpha) = S(\beta, \alpha) + D(\beta, \alpha), \quad (17)$$

ahol β a lejtőszöget, α pedig az azimutszöget, azaz az irányítottságot (déli iránytól való eltérést) jelöli a lejtőknél.

$$S_L(\beta, \alpha) = S \cdot \cos \psi, \quad (18)$$

ahol:

$$\cos \psi = \sin \phi \cdot \cos \beta + \cos \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos (\alpha - \psi). \quad (19)$$

Az egyenletben S_L a lejtő feletti direkt sugárzás, ψ a Nap azimut szöge, ϕ itt is a napmagasság.

A diffúz sugárzás számítására több módszer is van. A Liu és Jordan (1960) által kidolgozott formula izotrópikus esetben igaz, tehát amikor a diffúz sugárzás nem függ a térbeli irányítottságtól.

$$D_L(\beta) = D \cdot (1 + \cos \beta) / 2. \quad (20)$$

Itt a D a vízszintes felületre, D_L a lejtőre számított diffúz sugárzást jelöli.

A gyakorlatban azonban figyelembe kell vennünk a diffúz sugárzás anizotróp (a térbeli iránytól való függés) jellegét. Erre Hay és McKay (1979) által kidolgozott módszert alkalmaztuk:

$$D_L(\beta, \alpha) = D \cdot \left(\tau \cdot \frac{\cos \psi}{\sin \phi} + (1 - \tau) \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} \right), \quad (21)$$

ahol

$$\tau = \frac{S}{I}. \quad (22)$$

S a vízszintes felületre érkező direkt sugárzást, I pedig a Föld-légkör rendszer külső határára érkező napsugárzás, ami függ az aktuális (r) és a közepes (r_0) Nap-Föld távolságtól is (12). A már fentebb említett (19) képlet érvényes itt is.

A modell figyelembe veszi, hogy a Nap irányából nagyobb az égbolt diffúz sugárzása, mint azzal ellentétesen.

3.3. A napfogyatkozás hatásának parametrizációja

Mivel a napsugárzás és a kisteleki naperőmű termelési adatainak a kapcsolatát olyan egyhetes időszakban mutatjuk be, amikor részleges napfogyatkozás volt Magyarországon (2015. március 20.), ismerkedjünk meg napfogyatkozás idején a légkör külső határára érkező sugárzás változásával. Azt feltételezzük, hogy a sugárzás gyengülése arányos a Napból kitakart területtel. Vizsgálatainkban egy EU-s kutatási program eredményeit használjuk fel (*Solar Eclipse, 2015*).

A Nap felületének kitakarását meghatározó modell bemenő adatai:

t_s : a napfogyatkozás kezdete UTC-ben

t_e : a napfogyatkozás vége UTC-ben

M : a takarás

M_0 : maximális takarás

A takarás t időpontban :

$$M(t) = 2\pi \left[\cos^{-1} \sqrt{d^2 + a(t)^2/4} - \sqrt{d^2 + a(t)^2/4} \sqrt{1 - \left(d^2 + a(t)^2/4 \right)} \right], \quad (23)$$

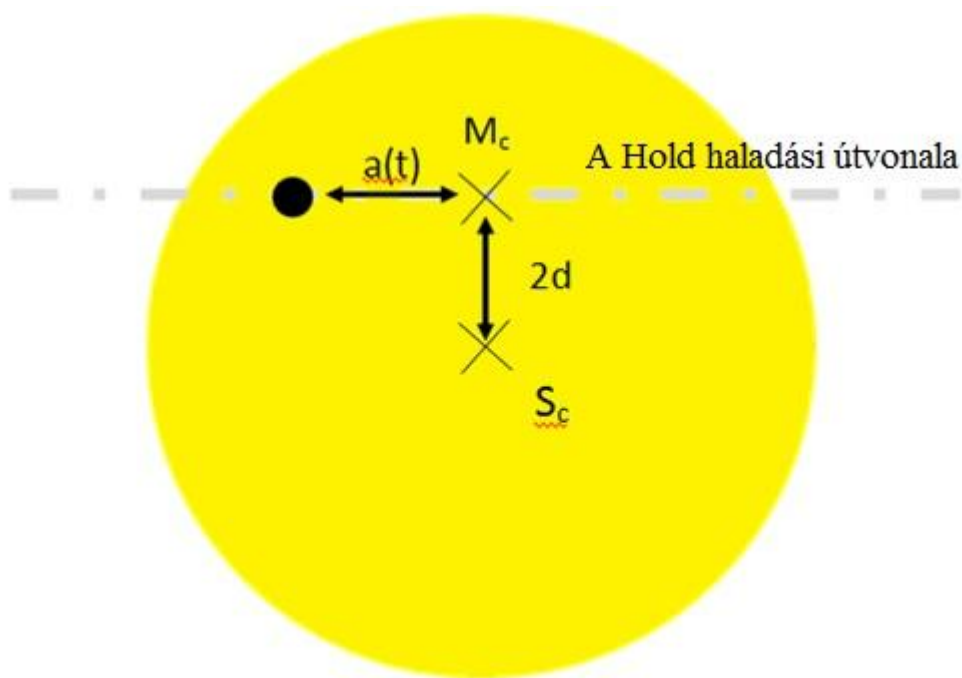
ahol

$$a(t) = A \left[2 \left(\frac{t - t_s}{t_e - t_s} \right) - 1 \right], \quad (24)$$

$$A = 2\sqrt{1 - d^2}. \quad (25)$$

Ha a takarás maximális:

$$M_0 = 2\pi \left[\cos^{-1} d - d\sqrt{1 - d^2} \right] \quad (26)$$



10. ábra: A Hold Nap előtti áthaladásának mérőszámai napfogyatkozásakor. Az ábrán szereplő mennyiségek: $a(t)$ – a Hold középvonalának előjeles távolsága a maximális takarás helyétől a t időpillanatban, $2d$ – a Hold (M_c) és a Nap középpontjának (S_c) távolsága a maximális takarás idején (Forrás: Solar Eclipse, 2015)

Először is tételezzük fel, hogy a Nap és a Hold mérete – tőlünk nézve – megegyezik. Következő feltételezésünk, hogy a Hold középpontja a Nap korongján egyenes vonalban halad át állandó sebességgel.

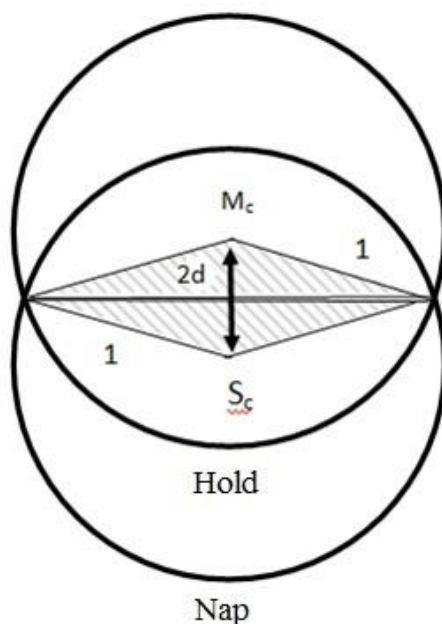
A képletekben:

$2d$: a Hold (M_c) és a Nap középpontjának (S_c) távolsága a maximális takarás idején

$a(t)$: a Hold középvonalának előjeles távolsága a maximális takarás helyétől a t időpillanatban

A : a Hold középvonalának előjeles távolsága a maximális takarás helyétől az első és az utolsó kontaktus során

Amikor a (24) képletben szereplő $t = t_s$ vagy $t = t_e$, akkor $a(t) = A$ és így M egyenlő lesz 0-val. A 10. ábrán a Hold Nap előtti áthaladásának mérőszámai napfogyatkozáskor, a 11. ábrán pedig a maximális takarás esetén az égitestek helyzete látható.



11. ábra: Maximális a takarás esetén az égitestek helyzete (M_c , S_c és $2d$ magyarázata a 10. ábrán) (Forrás: Solar Eclipse, 2015)

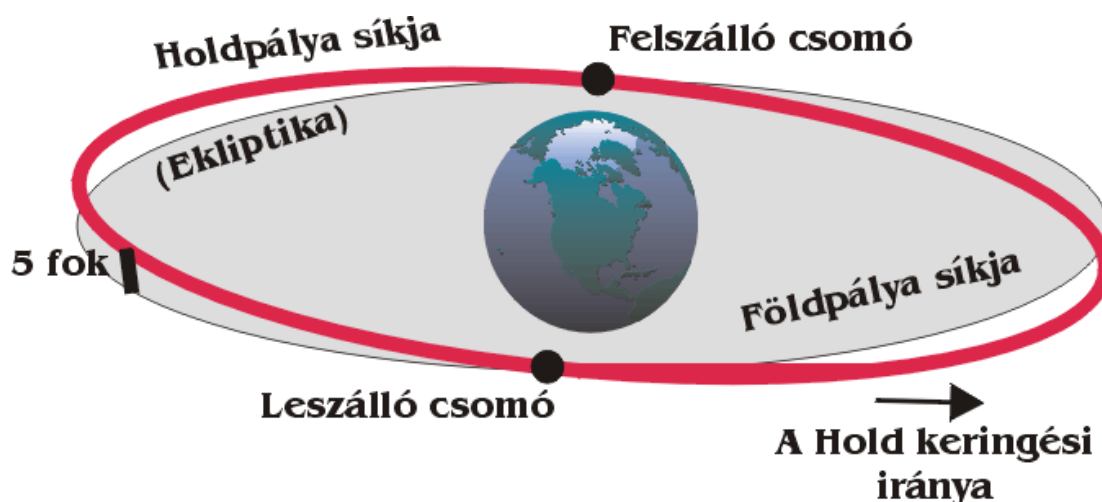
Ha M_0 meg van adva, akkor a d kiszámítható numerikusan. Számításaink során $M_0 = 0,547$, melyet a budapesti és a belgrádi maximális takarás interpolálásával becsültünk meg. Továbbá $t_s = 8,650$ UTC és $t_e = 10,983$ UTC, azaz a fogyatkozás 8:39 UTC-kor kezdődött és 10:59 –UTC-kor ért véget.

4. A sugárzási modell futtatása a napfogyatkozás idején

Molnár (2011) szakdolgozatában alkalmazott Fortran program alapján készítettük el a Basic nyelven írt Excel makrót. Az órás sugárzási adatokat (illetve a napfogyatkozás napján az 5 perces számításokat) március 17–23 közötti hét napra végeztük el a szegedi szinoptikus állomás (kódja: 12982) felhőzeti adatai alapján. Szakdolgozatomban a Solargate Energetikai Beruházó Kft. által létesített kisteleki naperőmű termelési adatait használtam fel összehasonlítási alapként. Az eredmények ismertetése előtt röviden tekintsük át a különböző napfogyatkozás típusokat, s külön a 2015. március 20-ai eseményt.

4.1. Napfogyatkozások jellemzése

A napfogyatkozás olyan csillagászati jelenség, mely során a Hold részben, vagy teljesen eltakarja előlünk a Napot. Ilyenkor a Hold pontosan a Föld és a Nap közé kerül. Ez azt jelenti, hogy napfogyatkozás kizárólag újholdkor következhet be. Mivel a Hold pályája nem esik egybe az ekliptikával (a Föld keringési síkja a Naprendszerben, avagy a Nap látszólagos évi útja), hanem 5° -os szöget zár be vele (12. ábra), így nem tapasztalhatunk minden újhold alkalmával napfogyatkozást, hanem csak akkor, amikor az újhold a holdpálya valamelyik csomójának közelében következik be.



12. ábra: Az ekliptika és a Hold pályájának kapcsolata

(Forrás: www.mek.oszk.hu)

Csomóknak nevezzük a holdpálya és az ekliptika két metszéspontját. Máshogy fogalmazva, a Napnak és a Holdnak egyidejűleg a holdpálya valamelyik csomójának közelében kell lennie. Évente legalább kettő és legfeljebb öt napfogyatkozás történik.

Többféle napfogyatkozás létezik, melyek kialakulása a Nap, a Föld és a Hold egymáshoz képesti távolságától is függ a fentebb említettek mellett. A Nap és a Hold látszólagos nagysága az égbolton közel egyenlő. Ez azért van, mert a Nap átmérője a Holdénak 400-szorosa, de a Nap 400-szor messzebb is van a Földtől. Ha a 3476 km átmérőjű Hold csak 273 km-rel lenne kisebb az átmérője, vagy távolabb volna, s így kisebbnek látszana – már nem láthatnánk teljes fogyatkozást (*Littmann et al., 1999*). Bolygónk és a Hold is ellipszis pályán kering a Kepler-törvények szerint. A Hold látszó átmérője nagyobb, mint a Napé, ha a Hold földközeli (perigeumban), a Nap pedig földtávolban (apogeumban) van. Ebben az esetben a Hold képes teljesen eltakarni a napot, és létrejön a **teljes napfogyatkozás**, ha a Hold az ekliptikában tartózkodik. Ez a fajta napfogyatkozás csillagászati szempontból azért jelentős, mert megfigyelhető a Nap koronája, amelyet egyébként a Nap saját fénye elnyom.



13. ábra: Teljes napfogyatkozás. Megfigyelhető a napkorona, valamint a napkorong szélén éppen zajló napkitörések, protuberanciák.

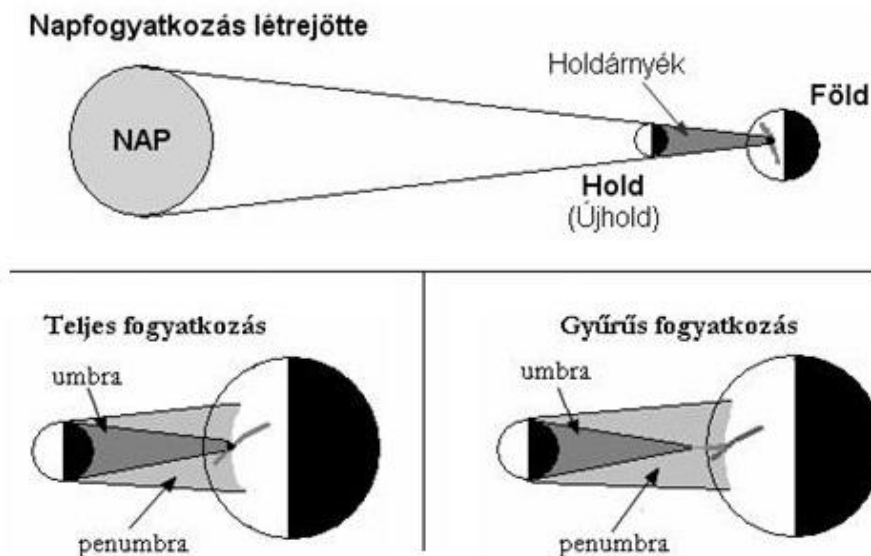
(Forrás: www.nyest.hu)

A totalitás ott figyelhető meg, ahol a Hold árnyékkúpja metszi a Földet. Ennek sávja a Hold mozgása miatt gyorsan végigvonul a Föld felszínének egy keskeny, általában 200–250 km széles részén. Egy teljes napfogyatkozás legfeljebb 6–7,5 percig tart. A napfogyatkozás elején és végén, valamint ezen az övön kívül **részleges napfogyatkozás** figyelhető meg akár több ezer km szélességű zónában. Részleges napfogyatkozáskor a Hold csak a Nap egy részét takarja el.

A Hold látszó átmérője kisebb, mint a Napé, ha a Hold földtávolban, a Nap pedig földközeli van. Ebben az esetben a Hold árnyékkúpjának csúcsa nem éri el a Föld felszínét, mely következtében **gyűrűs napfogyatkozás** alakul ki. Mivel a Hold szögátmérője általában kisebb (azaz a Földről általában kisebbnek látszik), mint a Napé, a gyűrűs napfogyatkozások gyakoribbak, mint a teljesek (*Littmann et al., 1999*).



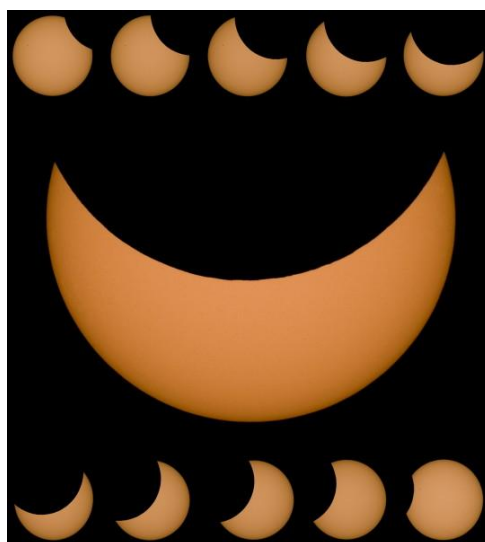
14. ábra: Gyűrűs napfogyatkozás
(Forrás: www.origo.hu)



15. ábra: Napfogyatkozások létrejöttének sematikus rajza
(Forrás: meglatasok.kisbiro.hu)

Még egy fajta napfogyatkozásról nem írtam, mégpedig az úgynevezett **hibrid napfogyatkozásról**. Viszonylag ritka, gyűrűsként kezdődik és teljes napfogyatkozás formájában fejeződik be, mely a Föld gömbszerű alakjának a következménye.

A Magyarországon, 2015. március 20-án megfigyelt napfogyatkozás részleges napfogyatkozás volt. A Hold a Nap korongjának közel 60%-át kitakarta a maximum idején.



16. ábra: Ábrahám Tamás zsámbéki fotói a jelenségről
(Forrás: www.mcse.hu)

Budapestről nézve a fogyatkozás 8:39:32-kor kezdődött UTC szerint. A helyi időt (CET) úgy határozhatjuk meg, hogy az UTC értékéhez hozzáadunk egy órát (téli időszámítás esetén), tehát $CET = UTC + 1$. A jelenség közepén, 9:48:33-kor a napkorong 58,4%-a (kb. 60%) volt takarásban. Ekkor a Nap 40° magasan látszott a horizont felett. Ilyen mértékű napfogyatkozás során a napsugárzás intenzitása észrevehetően csökken, bár még nem túl feltűnően. Budapesten a fogyatkozásnak 10:59:47-kor volt vége UTC szerint. Ezekről az értékekről csak néhány perc eltérés volt tapasztalható az ország más területein, és a fogyatkozás mértékében is csak minimálisak voltak az eltérések. Az ország délkeleti részein, főleg a határterületeken valamivel kisebb mértékű volt a fogyatkozás. Ilyen délkeleti terület Kistelek is.

4.2. A modell bemutatása

Szakdolgozatomban a Solargate Energetikai Beruházó Kft. honlapján közzétett kisteleki naperőmű termelési adatait használtam fel összehasonlítási alapként a bejövő sugárzás és a napelemek teljesítménye közötti kapcsolat szemléltetésére. A kisteleki naperőmű évi átlagban 170 – 180 család villamos energia igényét képes megtermelni. A telepített napelemek 32° -ban megdőntve, déli irányba fordítva lettek felszerelve egy közel 11 000 m²-es területen. A napelemek által előállított egyenáramot 15 db inverter alakítja át váltóárammá. Ezek az inverterek egyenként 33 300 W váltóárami teljesítmény leadására képesek. Az így megtermelt kisfeszültségű elektromos váltóáramot egy transzformátor alakítja át középvezetési feszültségre, amely ezek után továbbítódik az elosztó állomásra.



*17. ábra: A kisteleki napelemek
(Forrás: solargate.hu)*

A termelési adatokat 5 perces időbeli felbontásban töltöttem le a <http://solargate.hu> oldalról 2015. március 17 – 23. között, ami a részleges napfogyatkozás napját is magába foglalja. Azonban ahhoz, hogy ezek a szegedi szinoptikus táviratból származó órás felhőzeti adatokból számított órás besugárzási értékekkel összeegyeztethetők legyenek, órás értékekre átlagoltuk őket. Készítettünk egy másik modellfuttatást is, ahol a napfogyatkozás napján 5 perces felhőzeti adatokat generáltunk. Ez természetesen pontatlan, de szeretnénk volna a modellben is részletesen követni a napfogyatkozás menetét. Aznap délelőtt az ég szinte felhőmentes volt (maximum 1 okta felhőzet volt jellemző).

A csillagászati jellemzőket (deklináció, óraszög, napmagasság) A légszennyező anyagok transzmissziós szabványainak korszerűsítése. III. fázis. Részjelentés 2. (*Práger et al., 1999*) című kiadványában található összefüggésekkel írtuk fel (lásd a 3.1. fejezetet is).

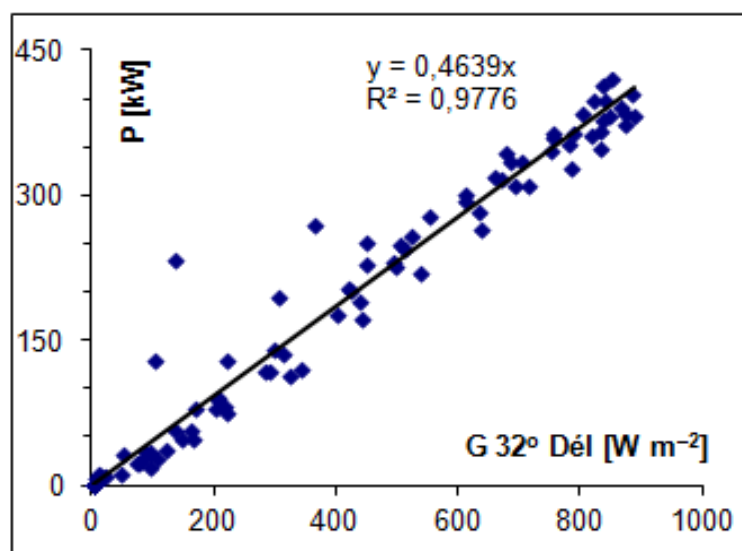
A szakirodalomban fellelhető egyszerű modellekben a lejtőket lejtő-, és azimutszöggel jellemzett sík lapként kezelik, majd e szögek ismeretében számítják ki a lejtőre jutó sugárzás értékeit. A napelemekre, mint megadott dőlésszögű lejtőkre számoltunk.

A globálsugárzást a (3) képlettel és a német környezetvédelmi szabványban szereplő számítási eljárással (10) is kiszámítottuk. A homályossági tényező értékeit szintén a német környezetvédelmi szabványban (*Kasten, 1989*) található átlagos havi értékekből vettük. Az eredmények bemutatásánál a két féle globálsugárzás számítás (hazai és a németországi standard számítási eljárás) eredményét átlagoltuk. A vízszintes felületre jutó direkt sugárzást a (13) egyenlettel határoztuk meg, a diffúz sugárzást pedig megkaptuk a vízszintesre jutó globálsugárzás (G) és a vízszintesre jutó direkt sugárzás (S) különbségeként. A lejtőre vonatkozó átszámításnál a direkt sugárzást a (18), a diffúz sugárzást a (20) és (21) összefüggésekkel számoltuk (lásd a 3. fejezetet is). Az aktuális szoláris állandó kiszámítása során alkalmaztuk a napfogyatkozásra vonatkozó modellt. Ezáltal – különösen az 5 perces felbontású futtatásnál – érzékelhetővé vált, a Föld-légkör rendszer külső határára érkező sugárzás változása, ami a kisteleki besugárzási adatokat is kormányozza.

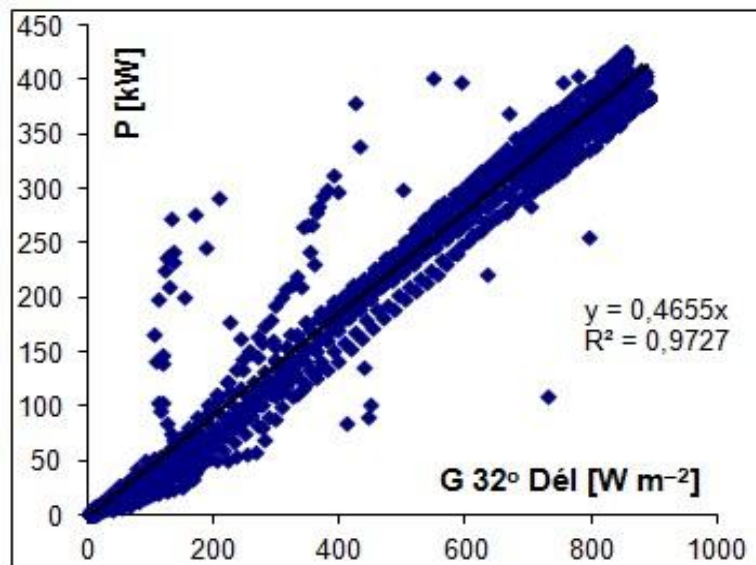
4.3. Eredmények

A sugárzási modellt korábbi munkákban (Rajna 2003; Molnár, 2011) már tesztelték. Az általunk írt Excel makrót csak formailag ellenőriztük, illetve a korábbi számítások reprodukálására szorítkoztunk.

A 18. és 19. ábrán a lejtőre számolt globálsugárzás és a naperőmű által termelt óras energia kapcsolatát számszerűsítjük. A magas korrelációs együtthatók (18. ábrán $R^2 = 0,98$, a 19. ábrán $R^2 = 0,97$) a módszer alkalmazhatóságát mutatja. Az esetenként megjelenő nagy eltérések a felhőzeti mező becsléséből származhatnak, pontosabban fogalmazva abból, hogy a felhőzet a szegedi szinoptikus táviratból származik, míg a termelési adatok Kistelekről.

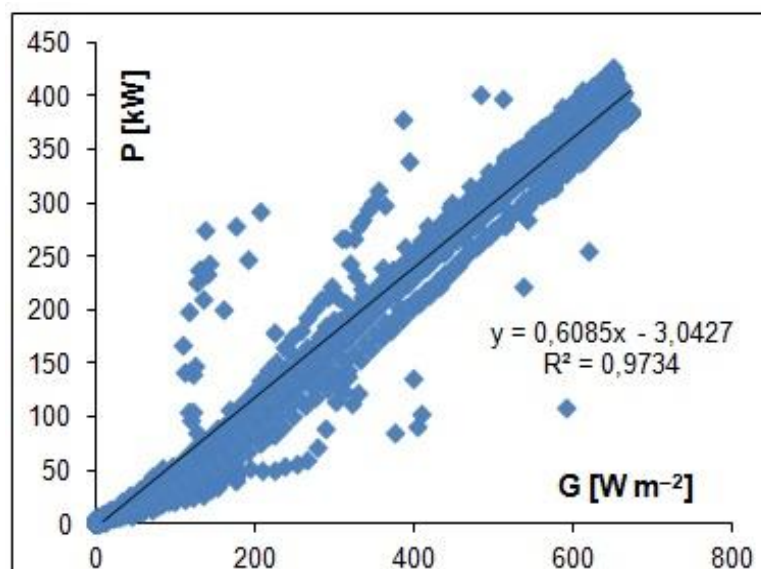


18. ábra: a lejtőre számolt globálsugárzás és a naperőmű teljesítményadatainak összehasonlítása órás időlépcső esetén 2015. március 17–23-ig, lineáris illesztéssel

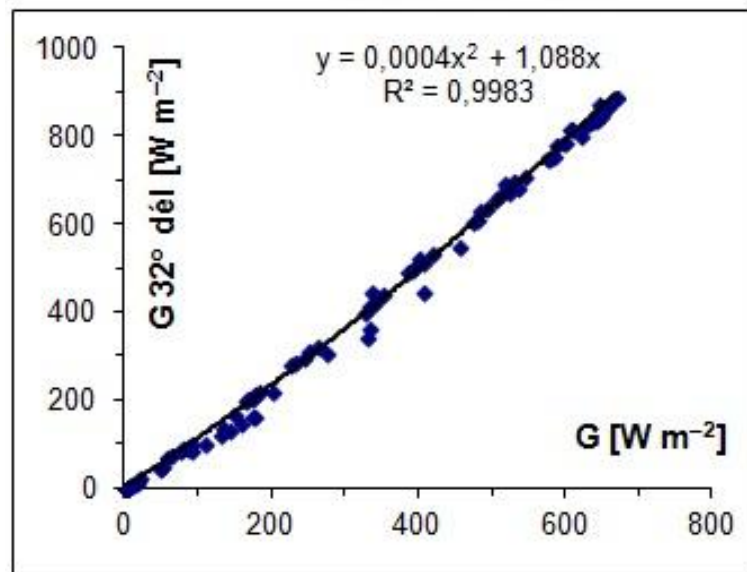


19. ábra: a lejtőre számolt globálsugárzás és a naperőmű teljesítményadatainak összehasonlítása 5 perces időlépcső esetén 2015. március 17–23-ig, lineáris illesztéssel

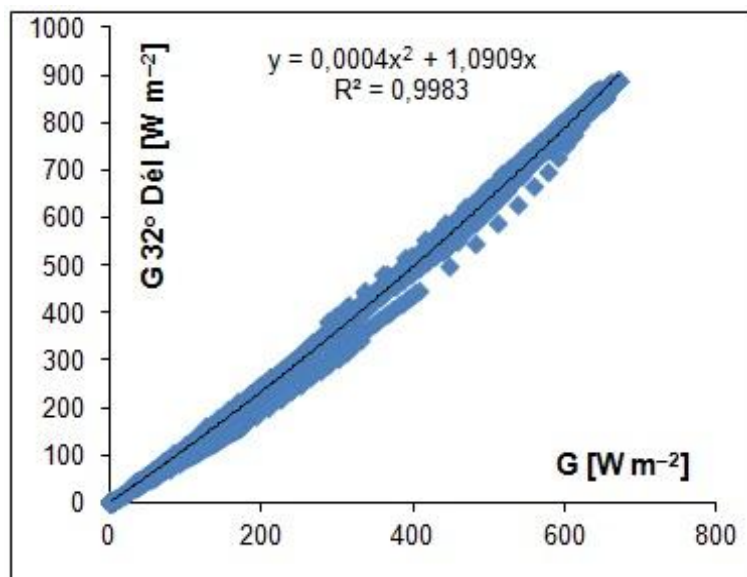
A következő, 20. ábrán a vízszintesre számolt globálsugárzás és a naperőmű 5 perces teljesítményadatainak a kapcsolatát tüntetjük fel lineáris illesztéssel. A 21. ábra és a 22. ábra hasonló módszerrel, de nem lineáris, hanem polinomos illesztéssel mutatja a kapcsolatot a vízszintesre és a lejtőre számolt globálsugárzás között, órás illetve 5 perces időlépcső esetén. Az korrelációs együtthatóban jelentkező különbségek elhanyagolhatók.



20. ábra: a vízszintesre számolt globálsugárzás és a naperőmű teljesítményadatainak összehasonlítása 5 perces időlépcső esetén 2015. március 17–23-ig, lineáris illesztéssel

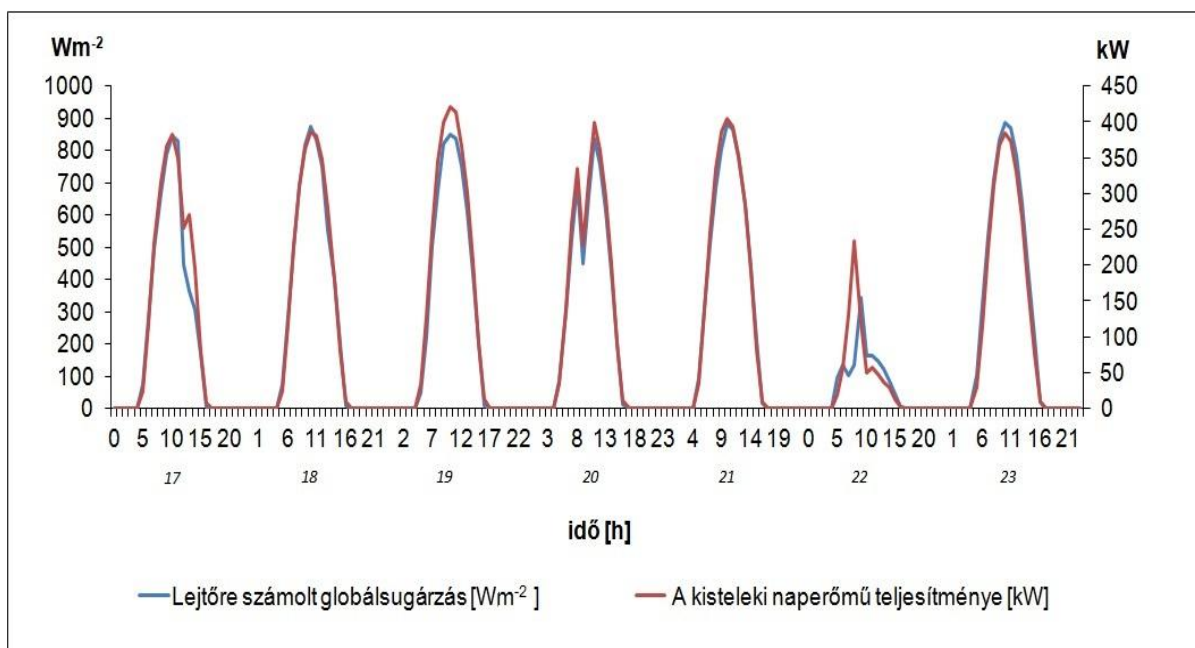


21. ábra: a vízszintesre számolt globálsugárzás és a 32°-os déli lejtőre számolt besugárzás órás értékeinek összehasonlítása polinomos illesztéssel

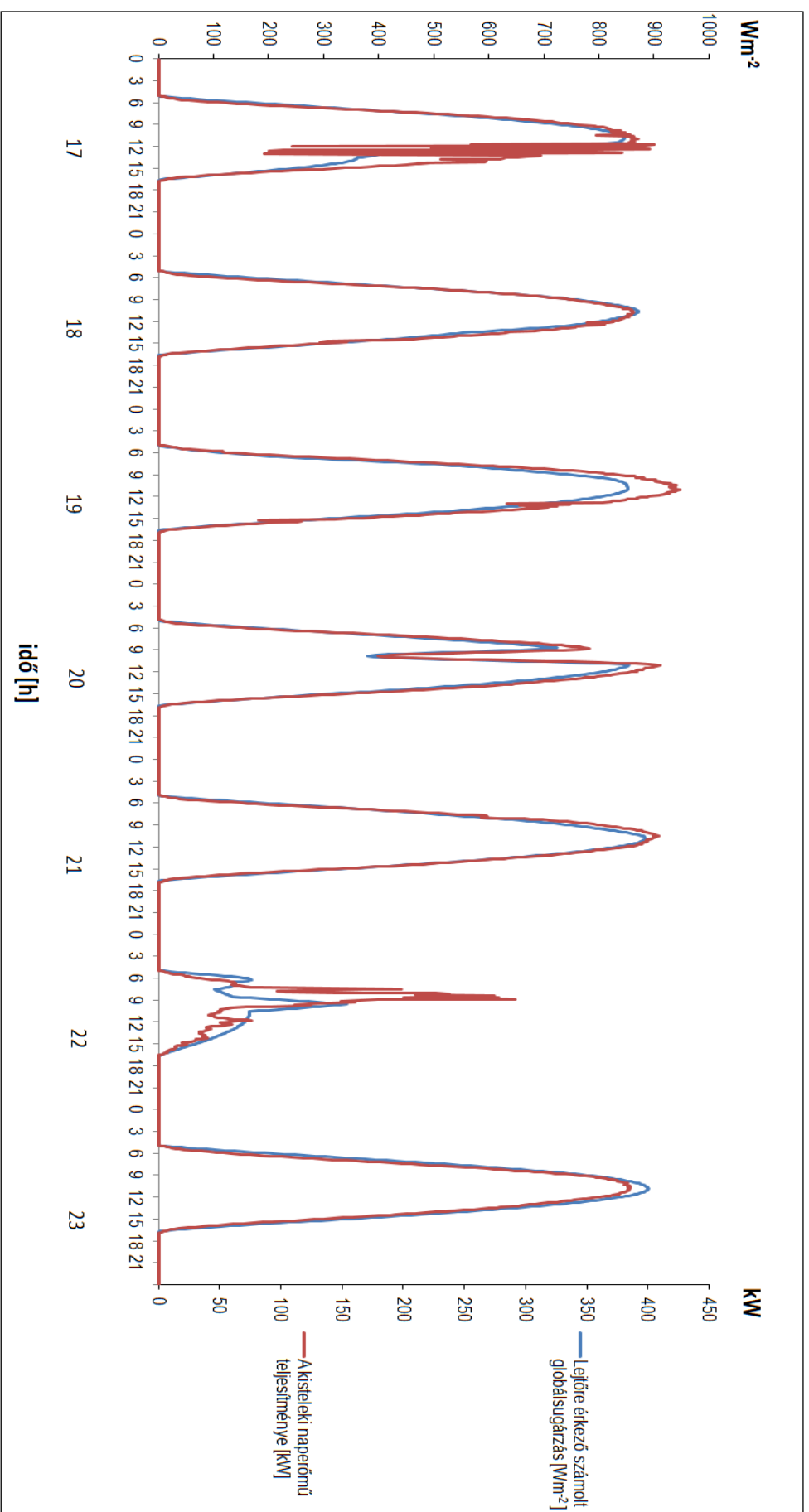


22. ábra: a vízszintesre számolt globálsugárzás és a 32°-os déli lejtőre számolt besugárzás 5 perces értékeinek összehasonlítása polinomos illesztéssel

Következő lépésként az órás időlépcsőben kapott sugárzási és termelési adatsorokat ismertetem. A termelési adatok (kW-ban) és a számított globálsugárzás (W/m^2) értékei között jó egyezést láthatunk a 23. ábrán. 2015. március 22-én látható eltérés a felhőzet becsléséből származhat, ugyanazon elv alapján, amit a fejezet elején kifejtettem. Valószínűleg Szegeden nagyobb volt a felhőzet mennyisége, mint Kisteleken. Ugyanez látszik 5 perces felbontásban a 24. ábrán. Még akkor is, ha az égbolt tiszta, a maximális hasznosítható sugárzási intenzitás változik a nap folyamán. Kevesebb a hasznosítható sugárzás kora reggel, és késő délután, miután a sugárzás hosszabb utat tesz meg az atmoszférán keresztül. Legerősebb sugárzás délben tapasztalható (Soltrain – G03 előadás).

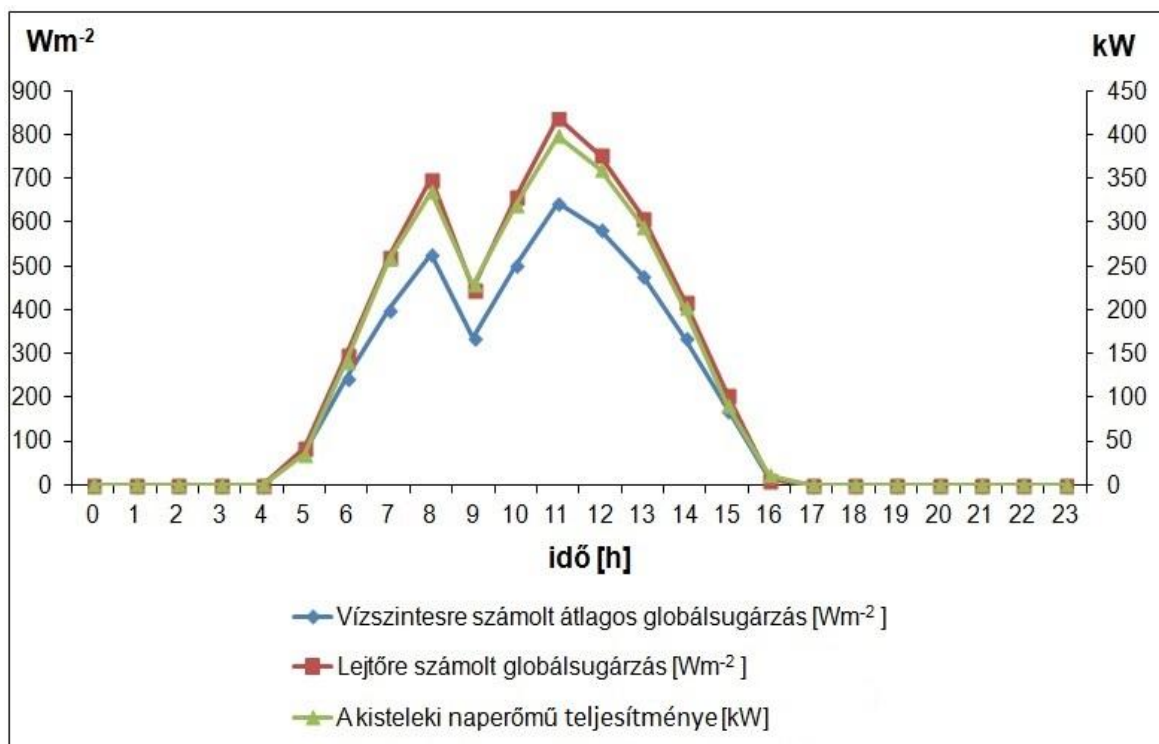


23. ábra: a lejtőre számolt globálsugárzás és a kisteleki naperőmű órás teljesítményének összehasonlítása a 2015. 03. 17–23-ig tartó időszakra. Az időt UTC szerint adtuk meg.



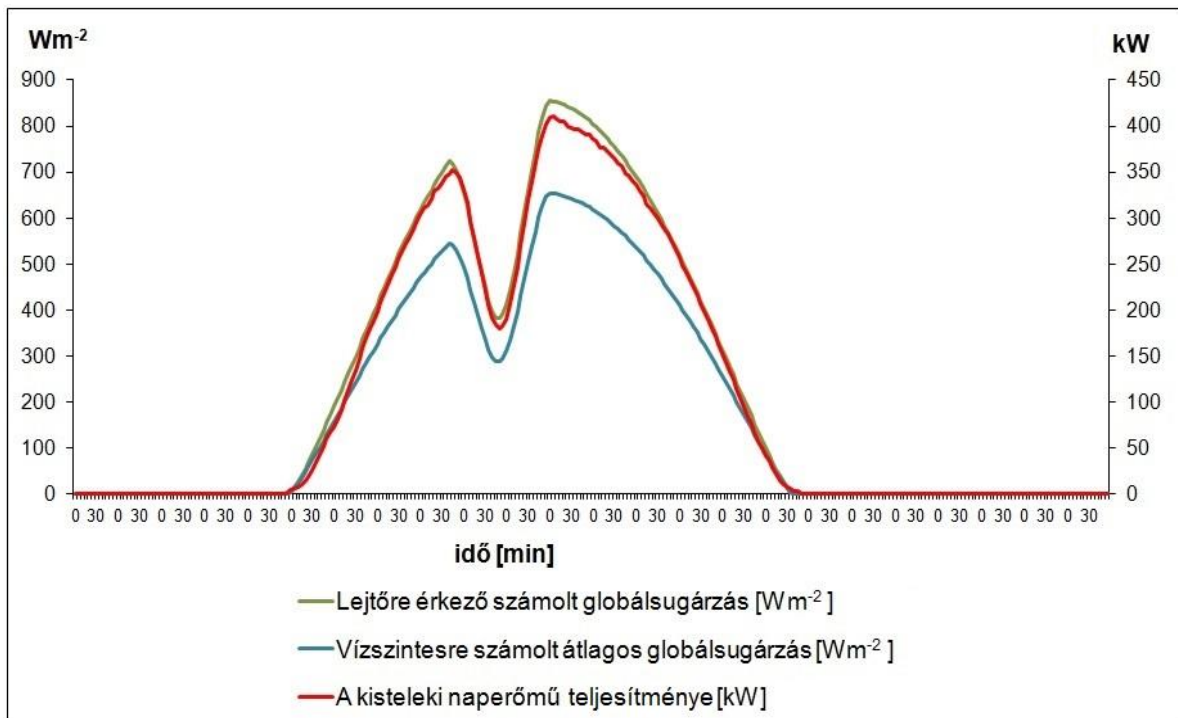
24. ábra: a lejőre számolt globálisugárzás és a kisteleki naperőmű 5 perces teljesítményadatainak összehasonlítása a 2015. 03. 17 - 23-ig tartó időszakra. Az időt UTC szerint adtuk meg.

A 25. ábrán egymás mellett ábrázoltuk a vízszintesre és a lejtőre jutó számolt globálsugárzást, valamint a kisteleki adatokat. Megfigyelhető, hogy mennyivel több globálsugárzást képes a napelem befogni, ha déli irányba van tájolva, s meg van döntve 32° -al. A 26. ábrán ugyanez látszik 5 perces felbontásban.



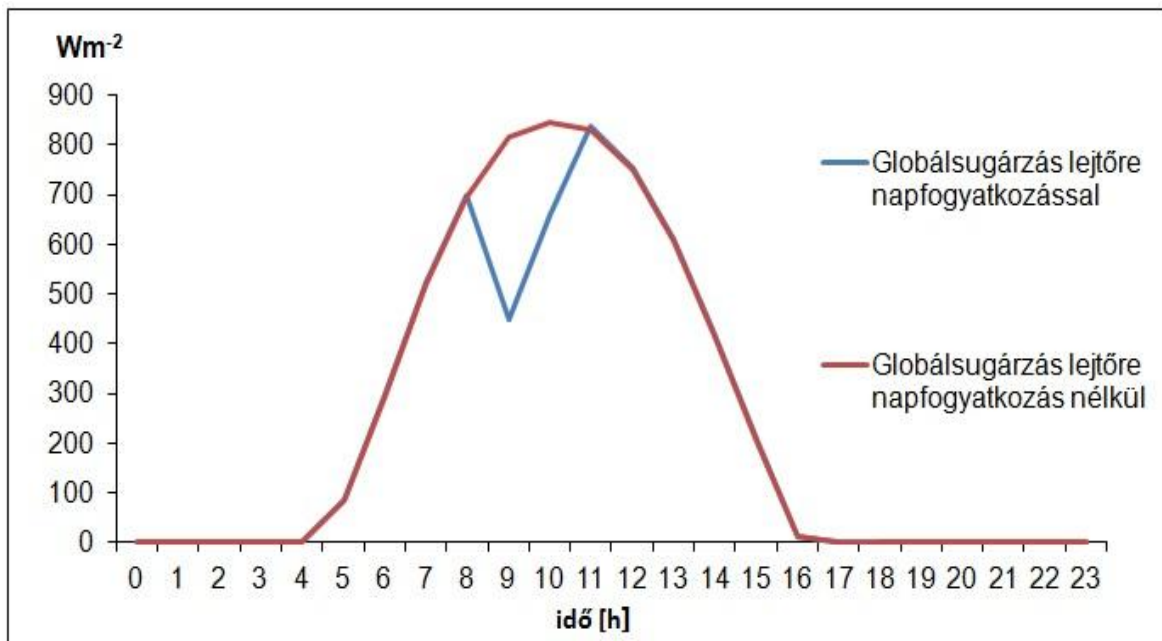
25. ábra: a vízszintesre és a lejtőre jutó számolt globálsugárzás, valamint a kisteleki naperőmű órás termelési adatainak napi menete a napfogyatkozás idején (2015. 03. 20.).

Az időt UTC-ben adtuk meg.



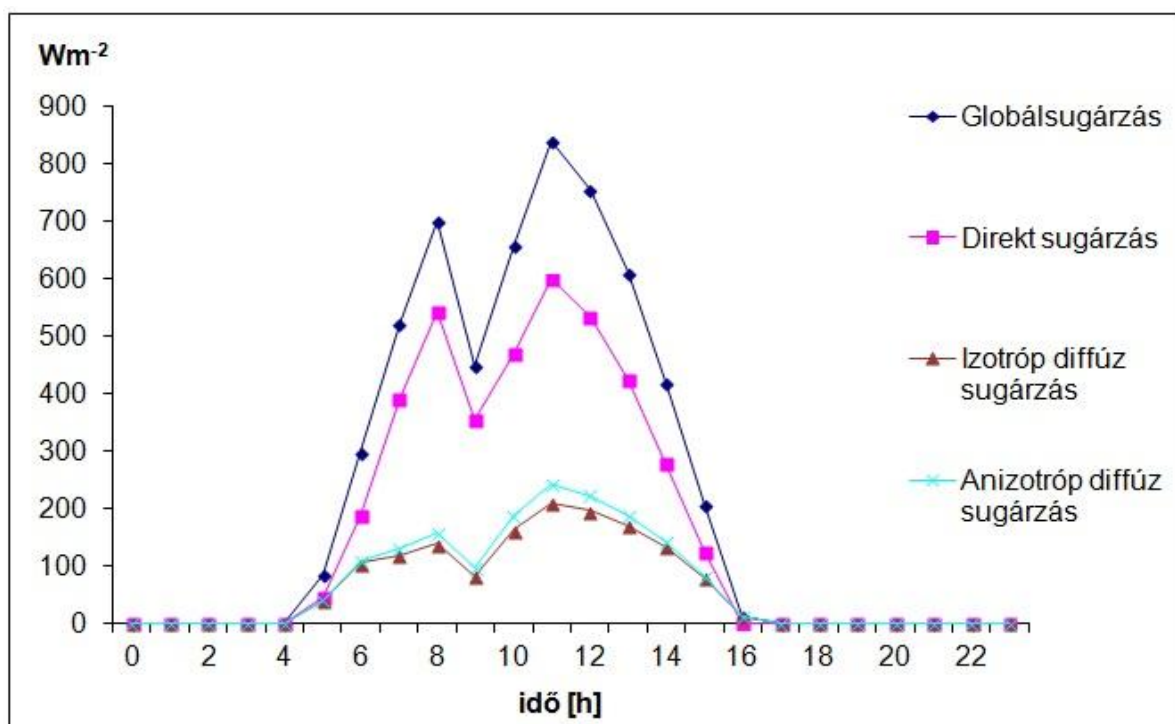
26. ábra: a vízszintesre és a lejtőre jutó számolt globálisugárzás, valamint a kisteleki naperőmű 5 perces termelési adatainak napi menete a napfogyatkozás idején (2015. 03. 20.). Az időt UTC-ben adtuk meg.

A 27. ábrán láthatjuk a lejtőre számolt globálisugárzás 2015. március 20-i napi menetét, megjelenítve a napfogyatkozással rendelkező (valós) görbét, valamint a napfogyatkozás nélkülit. Az ábráról leolvasható, hogy mikor következett be a takarási maximum, emellett a napfogyatkozás mértéke is látszik. A szép és egyértelmű eredmény annak is köszönhető, hogy aznap szinte derült volt az égbolt, így az alábbi diagramon nem zavar be semmilyen számottevő felhőzeti adat (maximum felhőzet aznap 1 okta volt).

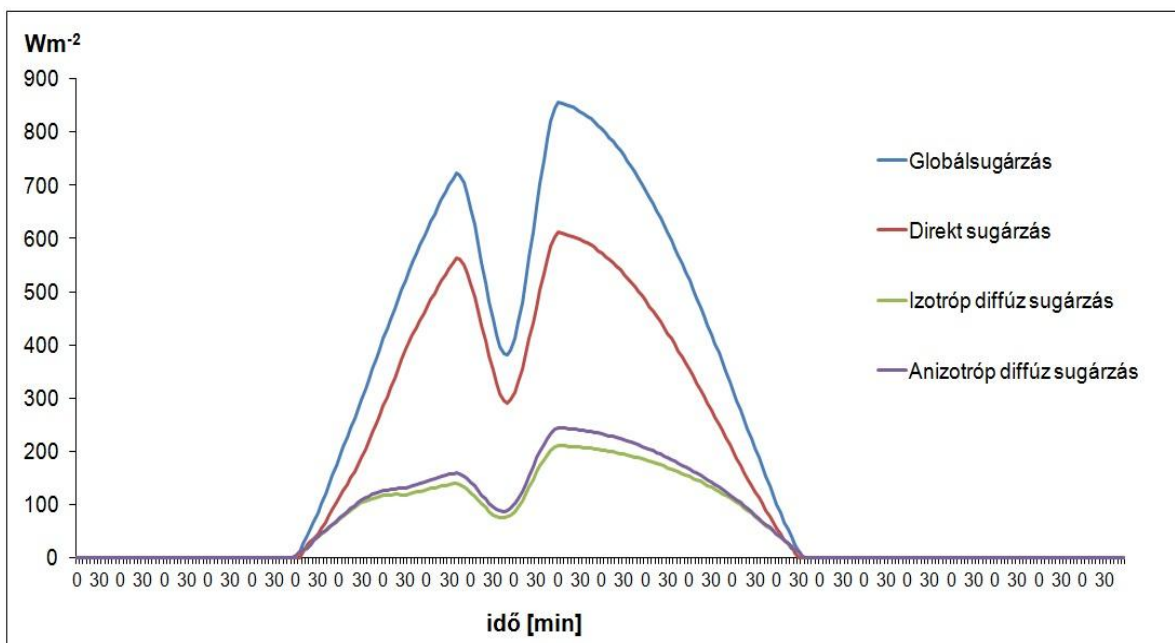


27. ábra: lejtőre számolt globálsugárzás napfogyatkozással és anélkül (2015. 03. 20-án) órás adatok, mindenóra 30. percére számolva. Az időt UTC-ben adtuk meg.

A 28. ábrán és a 29. ábrán megjelenítettem a déli fekvésű, 32°-os lejtőszögű napelemre jutó számolt rövidhullámú sugárzási komponenseket (globálsugárzás, direkt sugárzás és két féle módon számított diffúz sugárzás). A két ábra között annyi a különbség, hogy a 28. ábra órás, a 29. ábra pedig 5 perces adatok alapján, tehát utóbbi pontosabban mutatja a különböző komponensek alakulását a napfogyatkozás napján. Mindkét ábrán egyértelműen kivehető a napfogyatkozás befolyásoló hatása a napi menetre. A globálsugárzás legnagyobb hányadát a direkt sugárzás teszi ki, melyre a felhőzeti adatokból is lehet következtetni (maximum 1 okta), és ezt mind a 28. ábra, mind a 29. ábra visszaadja. Nagy felhőzeti adatok esetén a diffúz sugárzás hányada lenne a nagyobb.



28. ábra: a lejtőre jutó különböző sugárzási komponensek alakulása a napfogyatkozás napján (2015.03.20.), órás adatok alapján. Az időt UTC-ben adtuk meg.



29. ábra: a lejtőre jutó különböző sugárzási komponensek alakulása a napfogyatkozás napján (2015.03.20.), 5 perces adatok alapján. Az időt UTC-ben adtuk meg.

Összefoglalás

Szakedolgozatomban a felszínre jutó napsugárzás modellezésével foglalkoztam felhőzeti adatok felhasználásával. A napenergia hasznosításhoz szükséges becsléseknek, előrejelzéseknek a bejövő rövidhullámú sugárzás ismeretén alapulnak.

Dolgozatomban arra törekedtem, hogy átfogó képet adjak a napenergia hasznosítás lehetőségeiről, előnyeinek és hátrányainak mibenlétéről. Ezt követően bemutattam a direkt, diffúz és globálsugárzást meghatározó excel-makrót, amivel – sík felszínre jutó sugárzás mellett – meghatároztam az adott (déli) tájolású és adott lejtőszögű (a mi esetünkben 32°) napelemekre jutó sugárzást. A kisteleki naperőmű példáján szemléltettem a bejövő sugárzás és az erőmű által leadott teljesítményadatok közötti kapcsolatot.

Az eredményeket 2015. március 17–23-ig terjedő egy hetes időszakra mutattam be. Ide esett a március 20-i részleges (kb. 60%-os) napfogyatkozás. Szerencsék volt a derült (0–1 okta felhőzet) idővel.

A modellezett sugárzási adatok és a kisteleki naperőmű termelési adatai jó egyezést mutattak. A korrelációs együttható négyzete 0,97 felettinek adódott. A napi menetek hasonlósága egyértelműen jelzi a módszer használhatóságát.

Terveim között szerepel több sugárzási parametrizációs eljárás alkalmazása, illetve a WRF modell használata a globálsugárzás meghatározásához, s ezzel egy előrejelzési módszer kidolgozása. Ennek az alapjai már megvannak. Szintén tervezem más naperőmű beruházókkal történő kapcsolatfelvételt is.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Dr. Weidinger Tamás egyetemi docensnek a munkám során nyújtott segítségéért, kitartó türelméért.

Köszönet illeti a Solargate Energetikai Beruházó Kft.-t, hogy a rendszer által megtermelt áram mennyiségét folyamatosan nyomon követhető és bárki számára hozzáférhetővé tette az interneten keresztül.

Továbbá köszönöm a támogatást és a biztató szavakat családomnak, barátaimnak és mindazoknak, akik mellettem álltak és lelkesítettek a dolgozat megírása során.

Irodalomjegyzék

Az Európai Unió Hivatalos Lapja (2010. május 19.): Az Európai Parlament és a Tanács 2010/31/EU irányelve az épületek energiahatékonyságáról.
(www.eeq.hu/data/files/pdf/Epuletek_Energiahatekonysagarol_201031EUIranyelv.pdf)

Binder, M., Faltenbacher, M., Kentzler, M., Schuckert, M., (2006): Clean Urban Transport for Europe Project No. NNE5-2000-00113. Final Report, 85 pp.
http://www.transport.wa.gov.au/mediaFiles/about-us/ACT_P_alt_CUTEreport.pdf

BME OMIKK (2005): A napenergia hasznosítása is károsítja a környezetet? Energiaellátás, energiatakarékosság világszerte. 44. kötet 3. szám, 60–67. oldal
(http://www.omikk.bme.hu/collections/mgi_fulltext/energia/2005/03/0309.pdf)

Barótfi I., (2000): Környezettechnika. Mezőgazda Kiadó.
(<http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/kornyezettechnika-eloszo/ch02s05.html>)

Borsay Z., Kiss Á. és Nagy J., (1973): Csillagászati Földrajz. Tankönyvkiadó, Budapest.

Czelnai R., (1995): Bevezetés a meteorológiába I. Tankönyvkiadó, Budapest.

Farkas I., (2010): A napenergia hasznosításának hazai lehetőségei. Magyar Tudomány 171. évf. 8. szám, 937–946.

Gábris Gy., Marik M. és Szabó J., (1999): Csillagászati földrajz. Tankönyvkiadó, Budapest.

Gööz L., (2007): Energetika Jövőidőben. Bessenyei György Könyvkiadó.

Gyürky Gy., (2011): Héliumatommagok reakciója az ősröbbanásban, a Napban és a laboratóriumban. Fizikai Szemle 61. évf. 2. szám, 37. oldal.

Horváth J., (2011): Megújuló energia.
(http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0021_Megujulo_energia/index.html)

Kasten, F., (1989): Strahlungsaustausch zwischen Oberflächen und Atmosphäre, VDI Berichte NR. 721., 131–151.

Littmann, M., Willocox, K. és Espenak, F., (1999): Napfogyatkozás a maga teljességében. Napvadász Kft. Kiadó, Budapest.

Liu, B.H.Y. and Jordan, R.C., (1960): The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. Solar Energy 10, 72–77.

Magyar Napelem Napkollektor Szövetség (2012): <http://www.mnnsz.hu/napelemes-modulok-ujrahasznositasa-recycling/>

Magyar Napelem Napkollektor Szövetség (2015): <http://www.mnnsz.hu/napelemekre-is-kiszabtak-a-kornyezetvedelmi-termekdijat/>

Major Gy., (2010): Mennyire ismerjük a napállandót és a föld albedóját? Légekör 55. évf. 1. szám, 7–10.

Mészáros G., (2012): Alternatív energia rendszerek elemzése. (http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017_13_alternativ_energia_rendszerek/ch03s02.html)

Mészáros R., (2013): Meteorológiai műszerek és mérőrendszerek. E-jegyzet, Eötvös Loránd Tudományegyetem.

Milus B., (2009): Fókuszált napenergia és annak hasznosítási lehetőségei. Szakdolgozat, ELTE-TTK.

Molnár Cs., (2011): Komplex felszínek sugárzásmérleg komponenseinek modellezése. Szakdolgozat, ELTE-TTK.

Molnár L., Kádár P., (2007): Hidrogén előállítás megújuló szélergiával a közlekedésért. Intelligens Energiarendszerek 2007, Magyar Tudomány Ünnepe Rendezvénysorozat a BMF-en 2007. november 27. (<http://conf.uni-obuda.hu/energia2007/>)

Nemzeti Jogszabálytár 2011. évi LXXXV. törvény 43. §

Pálffy M., (2005): A napenergia fotovillamos hasznosításának potenciálja Magyarországon. Elektrotechnika 98. évf. 11. szám, 293–295.

Pátkainé Rusznyák R., (2014): EUMETSAT CM-SAF sugárzás produktumok validálása felszíni globálsugárzás adatokkal. Diplomamunka, ELTE-TTK.

Práger T., Ács F., Baranka Gy., Feketéné N. K., Mészáros R., Szepesi D. és Weidinger T., (1999): A légszennyező anyagok transzmissziós szabványainak korszerűsítése. III. fázis. Részjelentés 2.

Rajna Sz., (2003): Lejtők sugárzásviszonyainak modellezése. Szakdolgozat, ELTE-TTK.

Räuber A., (2002): SOLTRAIN projekt, 4.1030/Z/02-067/2002 sz. EU Altener program – G04 előadás, Napelem technológiák és jellemzőik. (<http://fft.szie.hu/fizika/Turkalo/napenergiahaszn/G04%20-%20Napelem%20technologiak%20es%20jellemzoik.pdf>)

Roth, W. and Kaiser, R., (2002): SOLTRAIN projekt, 4.1030/Z/02-067/2002 sz. EU Altener program – G03 előadás. A napenergia-hasznosítás alapjai. (<http://www.dolgozniek.hu/upload/files/G03%20-%20A%20napenergia%20hasznositas%20alapjai.pdf>)

Solar Eclipse (2015): Impact Analysis. Regional Group Continental Europe and Synchronous Area Great Britain. European Network of Transmission System Operators for Electricity. ENTSO-E, Brussels, Belgium.

Trenberth, K. E., Fasullo, J. T. and Kiehl, J., (2009): Earth's global energy budget. Bull. Amer. Meteor. Soc. 90(3), 311–324.

Vajda Gy., (2001): Energetika és fenntartható fejlődés. Természet Világa 132. évf. 8. szám. (<http://www.termeszethilaga.hu/tv2001/tv0108/vajda.html>)

Internetes források

Bérces B. (2006): Energiatudatos építkezés-passzív napenergia hasznosítás. (<http://www.ezermester.hu/articles/article.php?getarticle=618>)

<http://www.geosolar-energia.hu/napkollektor/vakuumcsoves-napkollektor.html>

http://www.solarkollektor.hu/napkollektor_rendszerek_felepitesi

<http://solartisnapkollektor.hu/napkollektor-mukodese.php>

<http://www.acrux.hu>

http://www.tananyag.almasi.hu/ojudit/Nap/Nap/a_nap_szerkezete.html

http://szigbp.hu/szigbp/documents/fizika/az_egyenaram.pdf

<http://ttk.nyme.hu/>

<http://www.nimfea.hu/programjaink/zold/napenergia.htm>

<http://www.fke.bme.hu/oktatas/soros.pdf>

<http://solargate.hu/>

<http://www.odh.hu/content/napelem>

<http://www.mcse.hu>

http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/sugarzas/

<http://nvsolar.hu/napelem-ado/>