

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM

METEOROLÓGIAI TANSZÉK

EUMETSAT CM-SAF sugárzás produktumok validálása felszíni globálsugárzás adatokkal



KÉSZÍTETTE:

Pátkainé Rusznyák Renáta
Meteorológus Msc, II. évfolyam

Témavezetők:

Wantuchné dr. Dobi Ildikó, dr. Kerényi Judit
Országos Meteorológiai Szolgálat

Tanszéki konzulens:

dr. Barcza Zoltán
ELTE TTK Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2014

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	2
2. Szakirodalmi áttekintés	3
3. A sugárzásmérés elméleti alapjai	6
3.1 Elektromágneses spektrum és sugárzási törvények.....	6
3.2 A sugárzás-átviteli egyenlet	13
3.3 EUMETSAT	14
3.4 A meteorológiai műholdak.....	14
3.5 Műholdas produktumok és az azokat előállító munkacsoportok	16
3.6 Éghajlat-megfigyelő munkacsoport	16
4. Felhasznált adatok.....	19
5. Vizsgálati módszerek	21
6. Eredmények.....	23
6.1 Műholdas mérések összehasonlítása	23
6.2 Műholdas adatok validálása felszíni mérésekkel	26
6.3 Térképes megjelenítés	31
7. Statisztika	35
7.1 Felszíni és műholdas adatok külön-külön való és együttes szórása	35
7.2 Négyzetes középérték hibák és átlagos abszolút hibák számítása.....	42
8. Összefoglalás.....	45
9. Köszönetnyilvánítás	47
Irodalomjegyzék.....	48

1. Bevezetés

A napsugárzás az élővilág, a légkör, az időjárás életetője, mozgatórugója. Más megújuló energiaforrások is a napsugárzás következtében keletkeznek, pl. a szélenergia, a biomassa. A napsugárzás globális léptékben működteti a légkört.

A sugárzás földrajzi eloszlását alapvetően felszíni sugárzásmérőkkel és műholdakon elhelyezett műszerekkel mérik. A műholdas mérések az egész Földről adnak információt, olyan területekről is, amelyeken nem folynak közvetlen felszíni megfigyelések (pl. az óceáni, tengeri területek, a sarkvidékek és a nagy kiterjedésű sivatagok területei). A három évtizednél hosszabb műholdas mérések statisztikailag elegendő hosszú adatsorokat szolgáltatnak klímavizsgálatok céljára is. A távérzékeléssel detektált méréseket pedig a felszínen mért értékekkel verifikálják. A globálsugárzás a napenergia becslésének alapvető paramétere.

A dolgozat célja, hogy a műholdak mérési technikáinak megismerésével a távérzékeléssel mért adatokat a felszíni sugárzásértékekkel összehasonlítsuk. Megvizsgáljuk, hogy a műhold alapú mérések eredményei mennyire fedik a felszínen mért értékeket, mennyire megbízhatóak a rácsponti értékek, illetve változik-e a mérések megbízhatósága az idők folyamán.

A dolgozatban a 2001-2005. közötti műholdas sugárzásmérések validációját mutatom be felszíni referencia mérések segítségével. Munkámban az EUMETSAT Éghajlat-megfigyelő Munkacsoportja (The Satellite Application Facility on Climate Monitoring – CM-SAF) által előállított, illetve a felszínen mért sugárzási értékeket használom fel. Válasz keresek arra a kérdésre, hogy milyen kapcsolatban állnak egymással az egyes mérések, mekkora a mérések közötti eltérés, és a felszíni adatokhoz képest az eltérések időbeli trendje hogyan és miért változik? Majd statisztikai vizsgálatokat végzek az egyes mérésekre, meghatározva az értékek szórását, átlagos abszolút hibáját és négyzetes középérték hibáját. A kérdések megválaszolására az EUMETSAT oktatóanyagát, és korábban külföldön végzett vizsgálatokat, tapasztalatokat is felhasználok. Az eredmények alapján megbízható következtetéseket tudunk levonni a műholdas mérésekkel kapcsolatban.

2. Szakirodalmi áttekintés

A következőkben röviden összefoglalom a hazánkban történt vizsgálatokat, a felszíni mérések eredményeit a műholdas mérések kezdeteivel összekapcsolva, továbbá a nemzetközi szakirodalom néhány, a feladathoz szorosan kapcsolódó eredményét.

Hazánkban az 1880-as évek végétől folytak alkalomszerűen sugárzásmérések (Major, 1976). Rendszeres sugárzásméréseket 1907-től végeztek, először Ógyallán, majd Kalocsán is. A méréshez az Angström-féle pirheliométert használták, amely a legkorszerűbb sugárzásmérő műszer volt akkoriban. A mért adatok regisztrálása azonban csak 1937-től kezdődött el az Országos meteorológiai Szolgálatnál egységesen Robitzsch-féle műszerekkel. Ahhoz, hogy az ország teljes területére vonatkozóan legyen sugárzás információnk, hálózatban kell méréseket végezni. A műholdak megjelenését követően fontos alkalmazási területté vált a meteorológiai monitoring és a műholdképek időjárás előrejelzésben történő felhasználása. A meteorológiai műholdfelvételek vétele az Országos Meteorológiai Szolgálatnál 1967-ben kezdődött el.

Dobosi Zoltán és Takács Lajos (1959) készítette el az első országos globálsugárzási térképet a felszíni mérések felhasználásával Magyarország területére. Az értékeket 45 állomáson mért napsütéses órák számából Angström formulák felhasználásával számolták ki. Takács Lajos 1974-ben publikálta a globálsugárzás területi eloszlásának első térképét Magyarországra vonatkozóan, amelyet direkt sugárzásmérésekből készített el. A térképek és táblázatok elsődleges célja az volt, hogy a mezőgazdasági, vízgazdasági, építészeti területeknek nyújtsanak kellő információt a sugárzási viszonyokról. Két évvel később az Országos Meteorológiai Szolgálat jelentette meg Major György tanulmányát (1976) a Robitzsch műszer globálsugárzás méréseiből származó klíma adatbázis elemzésének témakörében. A sugárzásméréseken kívül 33 állomás napsütéses óráinak számából, empirikus formula segítségével meghatározott sugárzási értékeket is felhasználtak. 1972-től a Robitzsch műszert a Kipp&Zonnen típusú piranométerek váltották fel, amellyel az ország 6 pontján végeztek folyamatos méréseket. Budapest-Lőrincen a sugárzási egyenleg minden komponensét regisztrálták. Major és Takács 1985-ben elkészítette az 1958-1982 közötti időszakra vonatkozó 25 éves globálsugárzási térképeket. Majd 1990-ben Dávid és munkatársai publikálták a globálsugárzás, a felszíni albedó, a rövidhullámú sugárzási egyenleg és a nettó sugárzás 30 éves (1951-1980) térképeit. Major György további kutatásai a napenergia-hasznosításban rejlő lehetőségekre irányultak. Ezen belül a globálsugárzás spektrális összetételét, és a növények számára hasznosítható

fotoszintetikusan aktív sugárzást korábban vizsgáló kutatások eredményei összegezte (*Felméry, 1974; Hunkár, 1984; Pinker és László, 1992*), valamint alkalmazta a 20. században Hegyhátsálon, Bugacon, és Sopronban végzett mérésekre. Ennek alapján megvizsgálta a fotoszintetikusan aktív sugárzás és a globálsugárzás kapcsolatát is. Rimócziné Paál Anikó a 80-as évek elejétől publikálta sugárzással kapcsolatos vizsgálatainak eredményeit. Egy 2003-as cikkében felszíni sugárzásértékeket verifikált műholdas mérésekből származtatott értékekkel az 1994-1996 közötti időszakra (*Rimóczy-Paál, 2003*). A két mérés közötti eltéréseket vizsgálta, átlagos értéket, hibastatisztikát, korrelációt számolt ezek alapján a nettó és globálsugárzásra, az eredményeket térképeken is megjelenítette.

1994-ben kezdődött meg az OMSZ hálózatában az automata meteorológiai állomások telepítése. Jelenleg kb. 110 OMSZ automata meteorológiai mérőállomás működik az ország területén, amelyből 40 mér globálsugárzást.

A nemzetközi szakirodalomban számos cikk jelent meg a műholdas sugárzásmérő eljárások verifikálásáról. Egyebek közt a Belgiumi Meteorológiai Intézet (Royal Meteorological Institute of Belgium) a belga felszíni mérésekre vonatkozóan hibastatisztikákat számolt, összehasonlítva az MSG műhold által mért, azonban különböző algoritmusokat használó munkacsoportok (Földfelszín-megfigyelő Munkacsoport, Éghajlat-megfigyelő Munkacsoport) eredményeit és a felszínen mért értékeket a 2008-2009-es időszakra (*Bertrand, Sröckli, Journée, 2010*). A Benelux államok területére a CM-SAF sugárzási értékeiből országos sugárzástérképet készítettek (*Journée, Müller, Bertrand, 2011*). Ehhez a Meteosat 1995-2005-ös napi sugárzási adatait használták fel, amelyet Belgium és Hollandia 45 állomásáról származó felszíni mérésekkel hasonlítottak össze, amely alapján havi, évszakos és éves sugárzási térképeket készítettek. A Spanyol Meteorológiai Intézet (AEMET – Agencia Estatal de Meteorología, Spanish State Meteorological Agency) Spanyolország területére vizsgálta meg a felszíni sugárzásértékek és a felszínre érkező rövidhullámú sugárzás (SIS) hasonlóságát. A SIS számítási algoritmus alapján kiszámolt sugárzási értékeket összehasonlították a felszíni mérőállomások adataival 2006-ban (*Sancho, Sánchez de Cos, Jiménez, 2012*). A cikkben megvizsgálták a mérések közötti eltéréseket, és ennek értékeit százalékban adták meg, amelyet térképeken is megjelenítettek minden hónapra. Az AEMET is az első generációs Meteosat műholdról származó, az EUMETSAT (Meteorológiai Műholdak Hasznosításának Európai Szervezete) CM-SAF SIS és SID (felszínre érkező közvetlen/direkt sugárzás) adatainak havi átlagos értékeit felhasználva készített egy szoláris sugárzási atlaszt az

ország területére az 1983-2005-ös évek alapján, 0.03x0.03 fokos területi felbontásban.
(*Sancho, Riesco, Jiménez, Sáches de Cos, M^a Carmen, Montero José, López María, 2012*)

3. A sugárzásmérés elméleti alapjai

3.1 Elektromágneses spektrum és sugárzási törvények

Ismeretes, hogy a sugárzás elektromágneses hullámok formájában terjed. A Nap a teljes elektromágneses spektrumban sugároz, a kibocsátott rövidhullámú sugárzás energiájának több mint 99%-a a 0,17 és 4,000 μm közötti tartományba esik.

A sugárzás energiája a sugárzás hullámhosszával fordítottan arányos. A terjedés sebessége azonban független a hullámhossztól és a kisugárzó test hőmérsékletétől, viszont függ annak a közegnek a sűrűségétől, amin a sugárzás áthalad (Márfy, 2004). A sugárzás az energiacsere egyik módja, ezért a sugárzási alaptörvényeket termodinamikai, ill. kvantummechanikai megfontolásokkal kaphatjuk. A Kirchoff-törvény a termodinamikai egyensúly állapotában kialakuló elektromágneses teret írja le (Nagy, 1991). Az abszorpció és az emisszió mennyisége között teremt összefüggést. Az ilyen egyensúlyi állapotban valamely közeg, vagy felszín abszorpciója és emissziója megegyezik. Az emisszió megmutatja, hogy egy felületről kilépő hőmérsékleti sugárzás hányszorosa az ugyanolyan hőmérsékletű egyensúlyi sugárzásnak. Az abszorpció pedig megadja, hogy egy anyagrétegben vagy felületen elnyelt sugárzás áram hányszorosa a belépő sugárzásnak. Eszerint, ha valamely test T hőmérsékleten és λ hullámhosszon $e(\lambda, T)$ mennyiségű energiát bocsát ki magából és ugyanilyen feltételek mellett $a(\lambda, T)$ mennyiségű energiát nyel el:

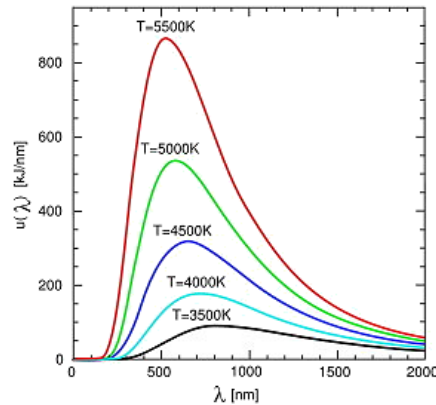
$$\frac{e(\lambda, T)}{a(\lambda, T)} = E(\lambda, T) \quad (1)$$

A hányados értéke minden testre vonatkoztatva állandó, ha ugyanakkora hőmérsékletet és hullámhosszat tételezünk fel. Vagyis a kibocsátott és elnyelt energiák hányadosa nem függ a test anyagi minőségétől, csak a test hőmérsékletétől és a sugárzás hullámhosszától. Fekete testnek nevezzük azt a testet, amelynek abszorpciója 1.

Az életfolyamatok, az energia- és anyagforgalom szempontjából az egyik legfontosabb kérdés az, hogy a különböző hullámhosszakon terjedő sugárzás összessége mekkora energiát szállít. Ismert a Planck-féle sugárzási törvény, amely több alakban is használatos, most azonban csak a hullámhossz függvényében érvényes képletet írjuk fel:

$$E(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (2)$$

ahol c a fénysebesség, h , illetve k az ún. Planck-, ill. Boltzmann-állandó. Ebből a törvényből könnyen levezethető a Stefan-Boltzmann- és a Wien-féle eltolódási törvény.



1. ábra. Különböző hőmérsékletű testek a Planck-törvény alapján számított sugárzási energiaspektruma

Stefan – Boltzmann törvénye szerint az időegység alatt egységnyi felület által kisugárzott energia nagysága a sugárzó felszín hőmérsékletének negyedik hatványával arányos:

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad [\text{Wm}^{-2}] \quad (3)$$

ahol T a felszín abszolút hőmérséklete (K), σ a Stefan – Boltzmann-féle állandó ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$), ε a felszín emissziós együtthatója, amely fekete test esetén $\varepsilon = 1,0$, természetes felszínekre $\varepsilon = 0,90 - 0,98$. A törvény azt az energiamennyiséget határozza meg, amelyet a felszín kisugárzásának valamennyi hullámhosszán a kvantumok együttesen szállítanak.

A spektrum jellemzése során fontos kérdés az is, hogy melyik hullámhossz szállítja a legnagyobb energiamennyiséget. Egy adott hőmérsékletű testre vonatkozó Planck-függvényt leíró görbe maximum értékét adja meg a Wien-féle törvény. E törvény szerint

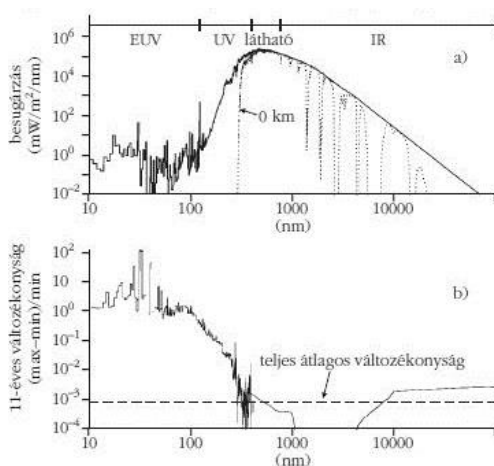
$$\lambda_{max} = \frac{2898}{T} 10^{-3} \text{ nm} \quad (4)$$

ahol a λ_{max} a maximális energiát szállító hullámhossz nm-ben kifejezve, T pedig a kisugárzó felület hőmérséklete.

Azt a sugárzásmennyiséget, amely a légkör külső határára merőlegesen, egy négyzetcentiméteres felületére időegység alatt érkezik, napállandónak nevezzük. Értéke közel állandó, azonban a szakirodalomban az idők folyamán a műszerek és becslési módszerek pontosságának változása következtében eltérő értékeket publikáltak. 1978 óta végzik a napállandó műholdas mérését. A napállandó változásának jelenleg ismert periódusa 10-11 éves (*Opitz, 2001*). Ismeretes, hogy a napállandó értékének meghatározásához kapcsolódó napfoltgyakoriság maximumaihoz és minimumaihoz tartozó teljes sugárzási intenzitásban mindössze 0,1% eltérés tapasztalható (1. ábra, vízszintes vonal). A különböző műholdak műszerei közötti eltérés 3-4 wattot is eredményezett (*Bencze et al, 1982*). A szoláris állandó azonban kiszámítható, ha ismert a Napból kiinduló energiaáramsűrűség ($F \sim 6,27 \cdot 10^7 \text{ Wm}^{-2}$), a Nap sugara ($r \sim 0,7 \cdot 10^6 \text{ km}$) és a Nap-Föld közepes távolsága ($R=150 \cdot 10^6 \text{ km}$). Az összefüggés a következő alakban írható fel:

$$S = \frac{f_{Nap}}{4\pi R^2} = F_{Nap} \cdot \left(\frac{r_{Nap}}{R}\right)^2 \quad (5)$$

A behelyettesítés után megkapjuk az $1365,5 \text{ Wm}^{-2}$ értéket a napállandóra (*Ács, órai jegyzet*).

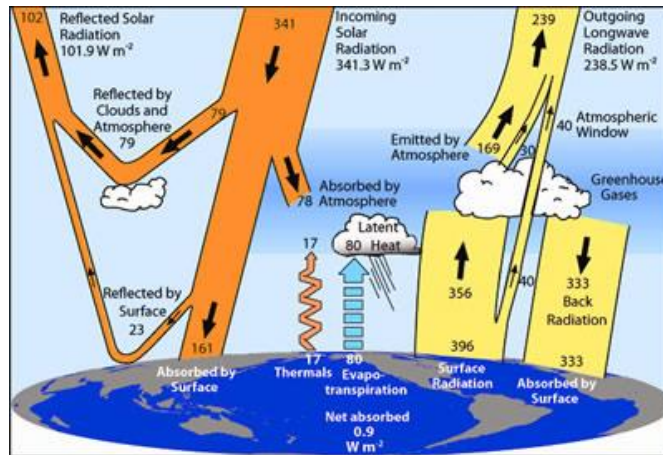


2. ábra. a) A Napból érkező elektromágneses sugárzás energiasűrűségének eloszlása a légkörön kívül (folytonos vonal), illetve a Föld felszínén (pontozott vonal) a hullámhossz függvényében.

b) A 11 éves napfoltciklus során mért spektrális változékonyság.

<http://wwwold.kfki.hu/fszemle/archivum/fsz090708/janosi0907.html>

A fenti összefüggések a világrön át a légkör felső határára érkező energia mennyiségére vonatkoztak. Amennyiben közegben halad, a sugárzás veszteséget szenved, ezt nevezik sugárzásátvitelnek. A légkör, mint közeg a beérkező rövidhullámú sugárzást csak részben engedi át, ugyanis az atmoszférán áthaladó sugárzás a légköri összetevőkön szóródik, visszaverődik, illetve az elnyelődik (3. ábra).



3. ábra: A Föld sugárzási egyenlege

(<http://www.cgd.ucar.edu/cas/Topics/energybudgets.html>)

A szakirodalmak eltérő adatokat adnak meg a sugárzási veszteségekről, illetve a beérkező sugárzás mennyiségéről. Az energia-megmaradás elvét alkalmazva felírható a következő egyenlet:

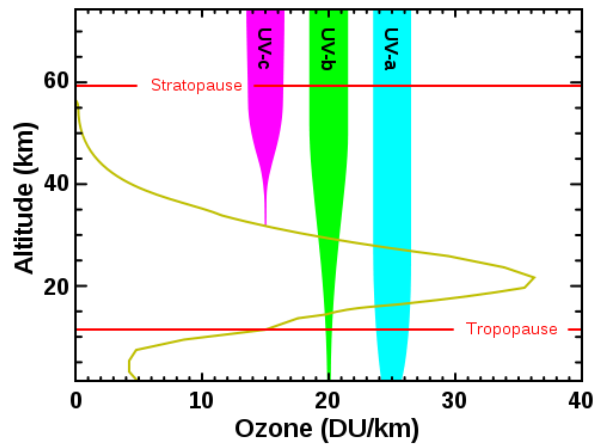
$$E_I(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_S(\lambda) \quad (6)$$

ahol E_I a beérkező energiamennyiség, E_R a visszavert energia, E_A az elnyelt energia, E_S pedig a szóródott energia. Mindegyik energia-összetevő a hullámhossz függvénye. A különböző légköri összetevők (gázok, aeroszolok, vízgőz stb.) által elnyelt, reflektált és szóródott energia aránya eltérő. Mindhárom energia mennyisége függ a vizsgált objektum anyagának típusától, állapotától. Minden hullámhosszon fellépnek ugyan veszteségek a légkörön való áthaladás közben, de ezek nem egyformák, hanem egyes sávokban különösen erősek. A napsugárzásban (a meteorológiai szakzsargonban csak rövidhullámú sugárzásnak említik) a következő fontosabb gyengülések következnek be (Czelnai, 2002):

- Az ózonpajzson való áthaladáskor a spektrumból szelektív elnyelés (abszorpció) folytán kiszűrődik az ultraibolya sugárzás 0.29 μm -nél rövidebb hullámhosszú része és emellett a 0.5- 0.7 μm - es sávban is fellép egy kisebb veszteség. Az ezektől még rövidebb hullámhosszú sugarakat az oxigén, nitrogén és más gázok molekulái, illetve atomjai akadályozzák meg, hogy lejussanak a földfelszínre
- A sugárzás hullámhosszához képest sokkal kisebb méretű levegőmolekulákon fellépő szóródás (ún. „Rayleigh- szóródás”) folytán bekövetkező extinkció.
- A levegőben lebegő nagyobb részecskéken (aeroszolokon, vízcseppeken, stb.) fellépő szóródás (ún. „Mie- szóródás”) miatt bekövetkező gyengülés.
- Vízgőz által okozott szelektív elnyelés.

A távérzékelésben különösen fontosak ezek a gyengülések, ezért néhányat részletesebben megvizsgálók. Az első jelentős abszorpciós veszteség, amely a légkörbe jutó napsugárzást éri, az ózonpajzson való áthaladásakor következik be. Főként ennek köszönhető, hogy az ultraibolya sugárzás 0,29 μm -nél rövidebb hullámhosszú része, amely a földi élet szempontjából rendkívül veszélyes, nem jut le a felszínre. Pontosabban az ózon csak az ultraibolya sugárzás 0,22 μm -tól 0,29 μm -ig terjedő sávját nyeli el. Emellett még a 0,5-0,7 μm közötti sávban is fellép egy kisebb veszteség. Az ezektől még rövidebb hullámhosszú sugarakat az oxigén, nitrogén és más gázok molekulái, illetve atomjai akadályozzák meg, hogy lejussanak a földfelszínre (Czelnay, 2002).

Az ultraibolya tartományba tartozó további hullámhosszakon az ózon elnyelési hatékonysága gyengül, de így is az UV-B sugárzást nagyobb mértékben, míg az UV-A sugárzást kisebb mértékben képes gyengíteni (4. ábra). Az ózon nagyobb hullámhosszú fény hatására elbomlik, így ezeken a hullámhosszakon már nincs sugárzáselnyelő hatása.



4. ábra. Az ultraibolya tartományból érkező sugárzás gyengülése

A vízgőz is képes elnyelni a sugárzást. Ez a képessége főleg a hosszuhullámú tartományban jelenik meg, azonban néhány abszorpciós sáv a látható tartományban is megjelenik.

Ha összehasonlítjuk az egyes tartományok elnyelési arányát, megállapítható, hogy a légkörön át megtett út során a látható fény intenzitása csökken a legkevésbé. Ezzel szemben az infravörös, de kiváltképp az ultraibolya tartományban nagyarányú csökkenés tapasztalható. Következésképpen a Nap rövidhullámú sugárzása – az ultraibolya tartomány kivételével – viszonylag kis veszteség árán jut le a Föld felszínére.

A szóródás vagy diffúzió sajátos módosulást hoz létre a spektrum szerkezetében. A szóródás olyan részecskéken következik be, amelyeknek az átmérője kisebb, mint a ráeső sugárzás hullámhossza. Szóródáskor a sugárzás iránya változik meg, a sugárzás energiamennyisége ugyanannyi marad. Ezen irányváltoztatások csak attól függenek, hogy milyen a molekulák, aeroszolkok és felhőelemek mérete a sugárzás hullámhosszához képest. Az egyenes vonalon haladó sugárzás a légköri részecskékbe ütközve megváltoztatja eredeti terjedési irányát, vagyis szóródik. Ez a légkör molekuláin (Rayleigh-szórás), vagy a légkörben lebegő mikroszkopikus méretű szilárd részecskéken (Mie-szórás) léphet fel. A szóródás mértéke, különösen a Rayleigh szórás esetében, nagyban függ a sugárzás hullámhosszától. A Mie szórásnál ez a mérték sokkal kisebb. A részecskékkel való többszöri ütközés után azonban a sugárzás lejuthat a földfelszínre.

A szóródás a napsugárzást két összetevőre bontja: a direkt sugárzásra, amely a Naptól egyenes úton jut le a légkör alsó határára, és a szórt vagy diffúz sugárzásra, ami irányváltoztatásokkal éri el a földfelszínt. A direkt és diffúz sugárzás összege a teljes vagy globálsugárzás. A direkt és diffúz sugárzás egymáshoz viszonyított aránya a nap folyamán

változik. Magas napállás idején, a déli órákban a szórt sugárzás mennyisége elenyésző, a napmagasság csökkenésével nagyobb arányban részesedik a közvetlen sugárzáshoz képest. A szóródás során többszörösen is irányt változtató sugarak egy része anélkül távozik a légkörből, hogy a földfelszín elérte volna.

A sugárzás irányát meghatározó folyamat a visszaverődés vagy reflexió is. Visszaverődés olyan testeken jöhet létre, amelynek az átmérője nagyobb, mint a ráeső sugárzás hullámhossza. A reflexió főként a légkör szilárd szennyezőanyagain, kisebb részben pedig a levegőben lebegő vízcseppeken (felhő- és csapadékelemek) játszódik le. A kiterjedt felhőzetről jelentékeny mennyiségű sugárzó energia verődik vissza a világűr felé.

A szóródás és a visszaverődés során tekintélyes mennyiségű energia jut vissza a bolygóközi térbe. Az általuk és az elnyelés okozta együttes sugárzási veszteséget extinkciónak (kioltás) nevezzük. Az extinkció nagysága elsősorban a légköri szennyeződésektől és a felhőzet mennyiségétől függ, de az úgynevezett ideálisan tiszta légkör (ebben csak az alapgázok vannak jelen) is okoz kisebb mértékű kioltást. Ideálisan tiszta légkörnek nevezzük az olyan légkört, amelyben csak az alapgázok vannak jelen. Az extinkció nagysága a Bouguer – Lambert-törvény segítségével határozható meg.

$$I_f = I_0 q^z \quad [Wm^{-2}] \quad (7)$$

ahol I_f a földfelszínre jutó energiamennyiség W/m^2 -ben mérve, I_0 a szoláris állandó, z a sugárzásnak a légkörben megtett útja, q pedig a légkör komplex átbocsátási együtthatója (értéke ideálisan tiszta légkör esetén a 360-780 nm sugárzási tartományra, a merőleges beeséskor megtett fényút hosszát egységnyiinek tekintve 0,93). Az átlagosan szennyezett légkör komplex átbocsátási együtthatója 0,7-re tehető.

A légkör sugárzást kioltó képességének a jellemzésére Linke bevezette a homályossági tényező fogalmát, amely azt fejezi ki, hogy hány ideálisan tiszta légkört kell egymásra helyezni ahhoz, hogy a ténylegessel azonos sugárzáskioltást eredményezzen. A Linke-féle homályossági tényező az alábbi összefüggés szerint határozza meg a kioltás nagyságát:

$$I = I_0 \cdot q^{Tz} \quad [Wm^{-2}] \quad (8)$$

ahol T a homályossági tényező értéke, míg a többi megegyezik a Bouguer – Lambert

egyenleténél használtakkal, ideálisan tiszta légkör esetén. T havi átlagértéke Közép-Európában 2,1 és 3,6 között ingadozik. A homályossági tényező nyáron és lakott területek fölött általában nagyobb, télen pedig – különösen a nagy kiterjedésű pusztafelszínek fölött – kisebb. Mind a homályossági tényező, mind az átbecsátási tényező a különböző eredetű légtömegek elkülönítésére, illetve azok jellemzésére szolgálhat (Szász, 1988).

3.2 A sugárzás-átviteli egyenlet

Amint az előző fejezetben említettük a Napból érkező elektromágneses sugárzás a Föld optikailag sűrű légkörébe jutva változásokon megy keresztül. Az elektromágneses sugárzás gyengülését a légkörben a Beer – Bouguer – Lambert törvénnyel írjuk le (Bartók, 2013). A ds vastagságú réteg esetén a λ hullámhosszú belépő sugárzás a ds út megtétele után dL_λ csökkenése:

$$dL_\lambda = -\sigma_\lambda L_\lambda ds \quad (9)$$

ahol σ_λ (m^{-1}) az ún. spektrális extinkciós együttható, s az úthossz, L_λ a λ hullámhosszú monokromatikus sugárnyaláb radianciája. Mivel az extinkció az abszorpciós és szórás folyamatok együttes eredménye, ezért

$$\sigma_\lambda = \sigma_\lambda^a + \sigma_\lambda^s \quad (10)$$

ahol σ_λ^a ill. σ_λ^s abszorpciós ill. szórás együtthatók. Az extinkciós, szórás és abszorpciós együtthatók mértékegysége m^{-1} , ami a kölcsönhatás valószínűségét kifejező hatáskeresztmetszet (m^2) egységnyi térfogatra (m^{-3}) vonatkoztatott értéke. A (6) egyenletet, mint szétválasztható típusú, elsőrendű közönséges differenciál-egyenletet megoldva kapjuk a következőt:

$$L_\lambda(s) = L_\lambda(0) \cdot \exp \left[- \int_0^s \sigma_\lambda(s') ds' \right] \quad (11)$$

ahol s a közegben megtett út.

A fenti összefüggés alapján meghatározott monokromatikus optikai mélység azt jellemzi, hogy a λ hullámhosszú sugárzás milyen mértékben gyengül a z vastagságú rétegen való áthaladás esetén. Minden λ hullámhosszra kiszámítható az adott komponens abszorpciója és szórása okozta gyengülés mértéke, amelyet az optikai mélység ad meg. Egy adott gáz abszorpciós optikai mélysége az adott gáz légoszlopban mérhető teljes mennyiségének és abszorpciós együtthatójának a szorzata. Ugyanígy számolható a szórás optikai mélység is. A különböző gázok és aeroszol részecskék eltérően abszorbeálnak és szórnak a különböző hullámhosszakon. Egy adott hullámhosszon a teljes optikai mélységet a különböző gázok adott hullámhosszon kiszámított abszorpciós optikai mélysége és az aeroszol extinkciós optikai mélységének összege adja.

3.3 EUMETSAT

Az EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites – Meteorológiai Műholdak Hasznosításának Európai Szervezete) az európai meteorológiai műholdakat fenntartó szervezet. Elsődleges feladata megtervezni, felépíttetni, fenntartani és hasznosítani az operatíván működő meteorológiai műholdak európai rendszerét. Célja az időjárás analízisének és előrejelzésének támogatása, továbbá az éghajlat és a környezet folyamatos megfigyelésének elősegítése, beleértve a globális klímaváltozás nyomon követését is (www.eumetsat.int). Az EUMETSAT 1986-ban alakult, napjainkban 29 teljes jogú és 2 társult tagja van. Magyarország 1999. július 1-től társult, 2008. október 9 óta teljes jogú tagja a Szervezetnek.

3.4 A meteorológiai műholdak

Az EUMETSAT első geostacionárius meteorológiai (MFG) műholdját, a Meteosat-1-et 1977-ben állította pályára, melyet hat hasonló típusú műhold követett. 2002-ben kezdték meg a második generációs Meteosat holdak felbocsátását (Meteosat-8), majd 2005-ben az MSG-2-t (Meteosat-9). A második generációs Meteosat holdakat technikailag fejlettebb műszerekkel szerelték fel. Arra fejlesztették ki, hogy mind az időjárás-előrejelzés (nowcasting, numerikus-időjárás előrejelzés), mind a klímakutatás igényeit magas szinten elégítsék ki. A geostacionárius műholdak keringési ideje

megegyezik a Föld tengelykörüli forgásának idejével, emiatt mindig ugyanarról a területről készítenek felvételeket. Folyamatos méréseket végeznek, a régebbi műholdak 30 percenként, az MSG a legnagyobb felbontású képkészítésekénél már 5 percenként szolgáltat adatokat az adott területről. Egy-egy geostacionárius műhold a Föld felszínének mintegy negyed részét látja nagy torzítás nélkül. Az Egyenlítő felett jelenleg 4 geostacionárius műhold helyezkedik el. Ezek közül egy műhold mindig az Egyenlítő és a 0 hosszúsági kör (kezdő meridián) metszéspontja felett helyezkedik el. A dolgozatban felhasznált MFG műholdak 3 hullámhossz tartományban működtek: a látható, az infravörös és a vízgőz elnyelési sávban. Az infravörös és vízgőz sávban egy-egy képpont a földfelszín 5 km x 5 km -es területének felel meg a műhold alatti pontban. Ettől távolodva a felbontás már romlik, így Magyarország területén csak 6 km x 7,5 km-esek a képpontok. A látható sávban jobb az érzékelők felbontása: 2,5 km x 2,5 km a műhold alatt, hazánk térségében pedig 3 km x 3,75 km.

A műholdak másik csoportja, a kvázipoláris műholdak közel a meridiánok mentén keringenek a Föld körül. Ezek a műholdak a teljes földfelszínre képesek megfigyelni. A műhold megfelelő keringési sebessége esetén két egymást követő műhold-fordulat során a leképezett területek az Egyenlítőn érintik egymást, így lehetőség nyílik a globális megfigyelésre. A műhold pályája következtében mindig ugyanabban a helyi időben halad át az Egyenlítő felett.

Az adatok összehasonlításához a NOAA-16 és NOAA-17 adatait használtam fel, ugyanis ezek a műholdak rendelkeztek adatokkal az összehasonlításokhoz kiválasztott 2001-2005-ös időszakban. A NOAA műholdak 100 perc alatt kerülnek meg a Földet. Egy keringési ciklus alatt a Föld 25 hosszúsági foknyit fordul el. Ennek eredményeként egy-egy műhold naponta kétszer halad át ugyanazon terület felett. Az operatíván üzemelő két műhold egymáshoz képest időben eltolva, de egy rendszert alkotva kering, tehát mindennap négy műhold kép készül megközelítően ugyanarról a területről, így hazánk területéről is. A NOAA műholdakon két fő mérő berendezés üzemel, az AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) és a TOVS (TIROS-N Operational Vertical Sounder). A sugárzásméréshez az AVHRR műszert használják, amely 5 hullámhossz-tartományban készít képeket: a látható tartományban, két közeli infravörös és két távoli infravörös tartományban. Az AVHRR képek pontjai 1,1 x 1,1 km-es területnek felelnek meg a műhold alatti pontban, ettől távolodva a felbontás romlik. A NOAA/AVHRR képek előnye, hogy felbontásuk sokkal jobb a METEOSAT képekhez viszonyítva (www.wmo-sat.info, noaasis.noaa.gov).

3.5 Műholdas produktumok és az azokat előállító munkacsoportok

Az EUMETSAT munkacsoportjainak feladata, hogy a meteorológiai műholdadatokat magas szintű, egységes feldolgozása érdekében algoritmusokat, szoftvereket állítsanak elő. A kész szoftverek és a velük előállított produktumok a tagállamok rendelkezésére állnak.

A munkacsoportokat két csoportba sorolhatjuk, nemzetközi munkacsoportok és az EUMETSAT központjában dolgozó szakemberek. A nemzetközi munkacsoportok (Satellite Application Facility – SAF) különböző témakörökre szakosodtak azzal a céllal, hogy az adott témához kapcsolódóan műholdas produktumokat fejlesszenek a felhasználók részére. A csoportok számos nemzeti meteorológiai intézet szakembereiből állnak, vezetésüket pedig egy-egy nemzeti meteorológiai intézet látja el.

A központi munkacsoport és a SAF-ok az EUMETSAT földi bázisához az ún. Ground Segment-hez tartoznak. Jelenleg nyolc munkacsoport működik: Nowcasting Munkacsoport (NWC SAF), Numerikus Időjárás-előrejelzés Munkacsoport (NWP SAF), GRAS Meteorológiai Munkacsoport (GRAS Meteorology SAF), Éghajlat-megfigyelő Munkacsoport (CM SAF), Ózon és Levegőkémiai Munkacsoport (O3M SAF), Földfelszín-megfigyelés Munkacsoport (LSA SAF), Operatív Hidrológia és Vízgazdálkodás Munkacsoport (HSAF), Óceán és Tengerjég-megfigyelés Munkacsoport (OSI SAF). A következőkben csak az Éghajlat-megfigyelő Munkacsoport jellemzőire, tevékenységét részletezem.

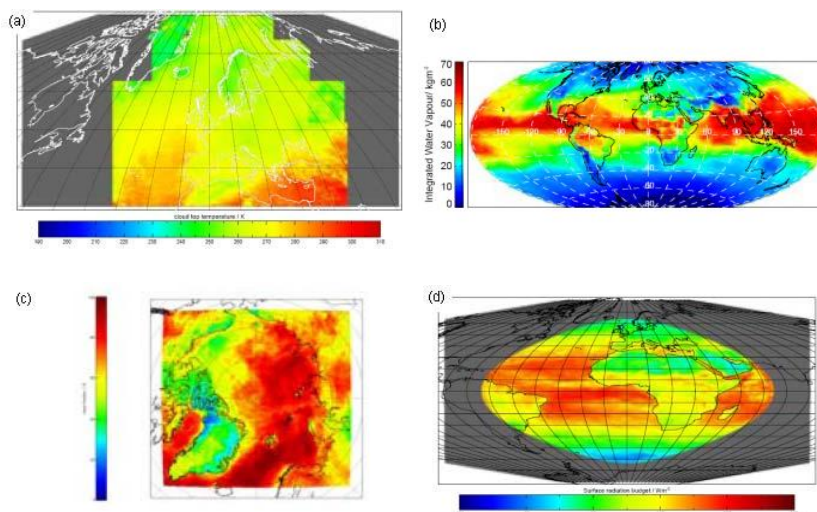
3.6 Éghajlat-megfigyelő munkacsoport

A CM SAF konzorcium jelenleg a Német Meteorológiai Szolgálatból (Deutscher Wetterdienst – DWD), mint központi intézetből, és partnereiből áll, amelynek tagjai a Belga Királyi Meteorológiai Intézet (RMI), a Finn Meteorológiai Intézet (FMI), a Holland Királyi Meteorológiai Intézet (KNMI), a Svéd Meteorológiai és Hidrológiai Intézet (SMHI), a Svájci Meteorológiai Szolgálat (MeteoSwiss), és az Egyesült Királyság Meteorológiai Szolgálat (UK MetOffice) (www.cmsaf.eu).

A munkacsoport fejleszti, előállítja, archiválja és mások számára is elérhetővé teszi az éghajlat megfigyeléséhez szükséges műholdas produktumokat. A produktum csomag főleg azokat a paramétereket tartalmazza, amelyek az energia és víz körforgásához

kapcsolódnak és az alapvető klímaváltozókhoz tartoznak. Környezeti és klímaadatokat is előállítanak. A környezeti adatok (Environmental Data Records – EDR) olyan időben meghatározott, térben elhelyezett geofizikai paraméterek, amelyeket szenzor adatokból állítanak elő. A klímaadatokat (Climate Data Records – CDR) pedig az éghajlat változásának vizsgálatához szükséges sok évtizedes időtartamú mérések sorozatából származnak. Minden produktumot nemzetközi szakértők tekintenek át (www.cmsaf.eu).

A munkacsoport által létrehozott produktumokat négy csoportba sorolhatjuk: felszíni sugárzási komponensek, légkör tetején lévő sugárzási komponensek, nedvesség- és felhő karakterisztikák. Ezeket más és más területre állítják elő, attól függően, hogy melyik műszer adataiból készülnek a produktumok. A négy vetületet, amelyre a CMSAF produktumai elkészülnek, az 5. ábra mutatja be.



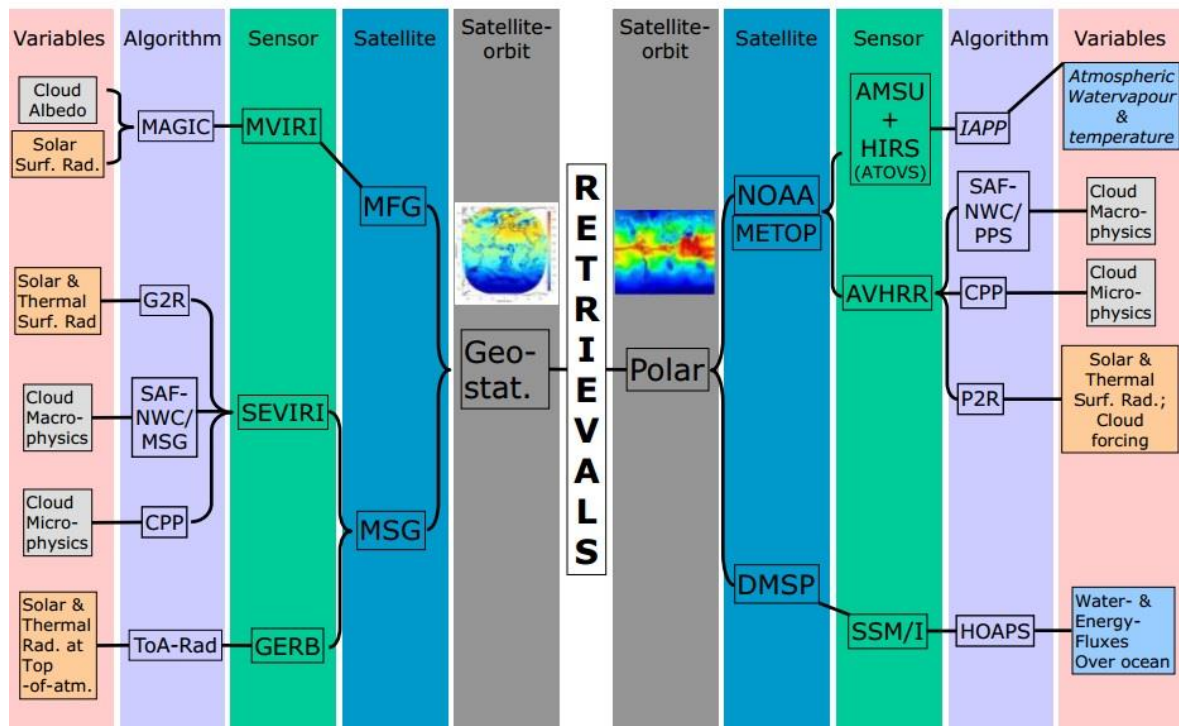
5. ábra: A CM SAF produktumai által lefedett területek: európai alapterület (a), a teljes földfelszín (b), Arktisz (c), Meteorológiai tartomány (d). (Forrás: EUMETSAT)

A felhőzeti produktumokat a Nowcasting Munkacsoport állítja elő. Ebből az Éghajlat-megfigyelő Munkacsoport egy általuk kidolgozott algoritmus alapján számít sugárzási adatokat. A munkacsoport két szoftvercsomagot használ. A SAFNWC/MSG programcsomag az Meteorológiai adatainak feldolgozására alkalmas. A felszínre érkező sugárzás az energia-megmaradás elvén alapuló ún. Heliosat módszer segítségével számítható ki. Ehhez szükséges a felhőmentes területre beérkező sugárzás és a felhőzet effektív albedójának (CAL) ismerete. Ahhoz hogy az optikailag vastag felhőzetben belül a telítettséget és az abszorpciós hatást is figyelembe vegyünk, módosítani kell az egyenletet. Amennyiben ismerjük a CAL értékét, a felhőmentes területre érkező sugárzásból

kiszámítható a SIS értéke. A légkör tényleges állapotának SIS értéke az állapotok közötti interpolációval számítható ki.

Ahhoz, hogy napi átlagot lehessen számolni egy adott pixelre, legalább 3 képre van szükség naponta. Havi átlagot pedig akkor számolnak, ha legalább 10 napi átlag érték felhasználható hozzá.

A másik programcsomag a SAFNWC/PPS, amely a NOAA és MetOp adatokat dolgozza fel. Ennek a csomagnak az outputjai megegyeznek az MSG csomag első négy produktumcsoportjával. Mindegyik produktumhoz tartozik a produktum pontosságát mutató index is, amelyet képen ábrázolnak. A műhold megkülönbözteti a borult és felhőmentes területeket, és ahol nincsen felhőzet, ott az ún. Mesoscale Atmospheric Global Irradiance Code (MAGIC) segítségével kiszámítják a felszínre érkező sugárzás mennyiségét. Azokon a pixeleken, ahol felhőzet van jelen, a légkör tetején mért albedó alapján határozzák meg a légkör áteresztőképességét. Ebből pedig meghatározható a beérkező sugárzásmennyiség. Minden rácson belül legalább 20 megfigyelés szükséges ahhoz, hogy az adatokból napi átlagot számoljanak, továbbá legalább 20 napi átlagos érték alapján számolnak havi átlagot (*Product User Manual*).



6. ábra: Meteorológiai paraméterek előállítás geostacionárius és kvázipoláris műholdakkal. (Forrás: CM SAF Online Event 2013)

4. Felhasznált adatok

A dolgozatom célja, hogy műholdas sugárzás adatokat és a felszíni sugárzásmérőkből származtatott globálsugárzás adatokat összehasonlítsam. Ehhez választottam az MFG geostacionárius műholdjai által mért adatokat, a kvázipoláris NOAA adatait, illetve az OMSZ által mért felszíni sugárzási adatokat.

A Meteosat globálsugárzási adatai a CM SAF webes felhasználói felületéről (wui.cmsaf.eu) tölthetők le, itt megadható a letölteni kívánt időszak, az adatok mennyisége (órás, napi, havi adat) stb. Az 1983-2005 közötti időszakról ad sugárzási információkat. A felbontás 3x3 km-es, amely a vizsgált adatok közül a legnagyobb felbontású. A poláris műhold adatai 25x25 km-es rácsfelbontású globális lefedettségű adatok, amelyek 1982. január 1-jétől állnak rendelkezésünkre.

Az OMSZ mérőhálózatában Magyarország negyven városában is végez a nemzetközi előírásoknak megfelelő módon, rendszeresen kalibrált műszerekkel sugárzásméréseket. Ezek közül nyolc város adatait használom fel az összehasonlítás alapjául. A kiválasztás szempontja egyrészt az volt, hogy a legmegbízhatóbb adatokat használjam fel, másrészt hogy közel egyenletesen fedje le az országot. A kiválasztott állomások a következők: Debrecen, Szeged, Eger, Kecskemét K-pusztá, Budapest-Lőrinc, Nagykanizsa, Győr, Baja. (7. ábra)

1. táblázat: A CM-SAF adatbázisokra vonatkozó információk.

Adatsor	Produktum	Terület	Időbeli felbontás	Területi felbontás	Lefedési időszak
Meteosat	SIS (Surface Incoming Shortwave Radiation)	Meteosat 7 által bemért terület	havi	0,03x0,03	1983-2005
Poláris műholdak	SIS	Globális	havi	0,25x0,25	1982-2009

2. táblázat: Az OMSZ felszíni megfigyelő állomások adatai (INDA adatbázis, OMSZ)

Állomás	Szélesség	Hosszúság	Tengerszint f. m.
Debrecen	47.49	21.61	105 m
Szeged	46.26	20.09	76 m
Eger	47.90	20.39	188 m
Kecskemét K-puszta	46.97	19.55	132 m
Budapest-Lőrinc	47.43	19.18	131 m
Nagykanizsa	46.46	16.97	151 m
Győr	47.71	17.67	110 m
Baja	46.18	19.01	106 m



7. ábra: A felszíni mérőállomások elhelyezkedése.

Annak érdekében, hogy a műholdak által mért paraméterekre használt algoritmus megbízhatóságát és pontosságát becsülni tudjuk, a felszínen mért beérkező globálsugárzás értékének és a CM-SAF SIS adatoknak a hasonlóságát kell megvizsgálnunk azonos időszakban. A különböző műholdak által szolgáltatott adatok mérései különböző időszakokról adnak információt számunkra, ezért olyan időszakot választottam, amelyhez mindhárom adatsor rendelkezésre állt, így a 2001.01.01 és 2005.12.31 közötti havi adatokon végeztem el a vizsgálatokat. Először leválogattam a magyarországi adatokat, majd – mivel az adatsorok különböző rácsfelbontásban érhetőek el – rácsillesztést végeztem. Ezt követően került sor a vizsgálatokra.

5. Vizsgálati módszerek

A pixelillesztést saját fejlesztésű program segítségével végeztem. Leválogattam a magyarországi koordinátákat, a Magyarországot lefedő műhold pixeleket, majd az állomás koordinátáit felhasználva azonosítottam, hogy melyik nagy felbontású képkockában található az állomás, és azt illesztettem a kisebb felbontású műholdképen. Így az egymást lefedő, megfelelő képkockákban levő értékeket össze lehetett hasonlítani.

A műhold és a felszíni műszerek által mért értékek közötti eltérést számszerűsítettem, és az eredményeket diagramok segítségével is elemeztem. Megvizsgáltam a sugárásmérések eltéréseinek éves menetét, a műholdak nyolc állomás pixelére eső átlaga közti eltérést, egy-egy állomásra vonatkozóan összevettem a felszíni és a műholdak által mért értékeket. Megnéztem, hogy hogyan alakulnak az eltérések az évek ugyanazon hónapjában, illetve hogy milyen a műholdmérések közti különbség menetének alakulása a kiválasztott időszakban.

A statisztikai vizsgálatok közül a négyzetes középérték hiba (RMSE), az átlagos abszolút hiba (MAE) és a szórás értékeit határoztam meg. Az RMSE-t olyan adatok közötti eltérések vizsgálatához használják, amelynél az egyik adat ismert, közvetlen mérésből származik, a másik pedig interpolációval vagy becsléssel lett meghatározva. Az RMSE a következőképpen határozható meg:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (12)$$

ahol x_i a becslés, y_i a mérés, n pedig a megfigyelések száma. A MAE az előrejelzés és a megfigyelés közötti különbség abszolút értékének átlaga, képletben kifejezve:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (13)$$

ahol x_i a becslés, y_i a mérés, n pedig a megfigyelések száma. Az átlagos abszolút hiba egy olyan mennyiség, amellyel azt fejezik ki, hogy milyen közel van abszolút értékben az előrejelzés a megfigyelés értékéhez. A folytonos változók diszkrét pontokban vett

értékének pontosságát méri. A szórás számértéke pedig azt mutatja meg, hogy egy csoportban levő értékek milyen tartományban oszlanak el. A torzítatlan szórás az alábbi közismert képlet segítségével számolható:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (14)$$

ahol x_i az egyes értékek, \bar{x} az értékek átlaga, n pedig a megfigyelések száma.

6. Eredmények

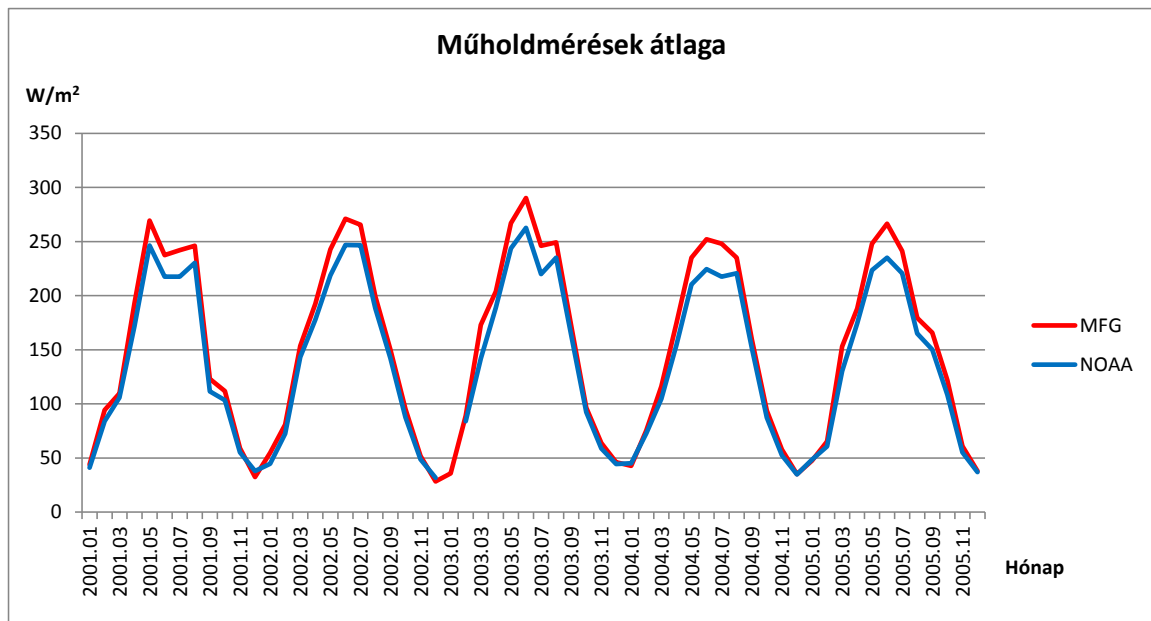
6.1 Műholdas mérések összehasonlítása

Az összehasonlításhoz szükség volt a mértékegységek egyeztetésére. A műholdas adatok W/m^2 , a felszíni adatok viszont J/cm^2 egységben vannak megadva. A műhold ún. sugárzási áramsűrűsége mér, amely tulajdonképpen a felületegységre érkező, onnan távozó, vagy azon áthaladó sugárzási teljesítmény (Major, 1982). Mivel naponta csupán kétszer mér, ezért egyfajta számítási módszer segítségével ad közelítő értéket a beérkező sugárzásmennyiségről. Ezzel szemben a sugárzási energia egy energia jellegű mennyiség, amely az egységnyi felületre érkező sugárzás energiáját adja meg. A beérkező sugárzás mennyiségét folyamatosan mérik a felszíni állomások, tehát egy integrálmennyiséget számolnak ki. A számítások W/m^2 egységben történtek. A két mértékegység közötti átszámítást a következőképpen végeztem el: $W/m^2 = J/cm^2 * 60 * 60 * 24 / 10000$. Mivel a $J = W * s$, így az $1/m^2$ egyenlő s/cm^2 -rel.

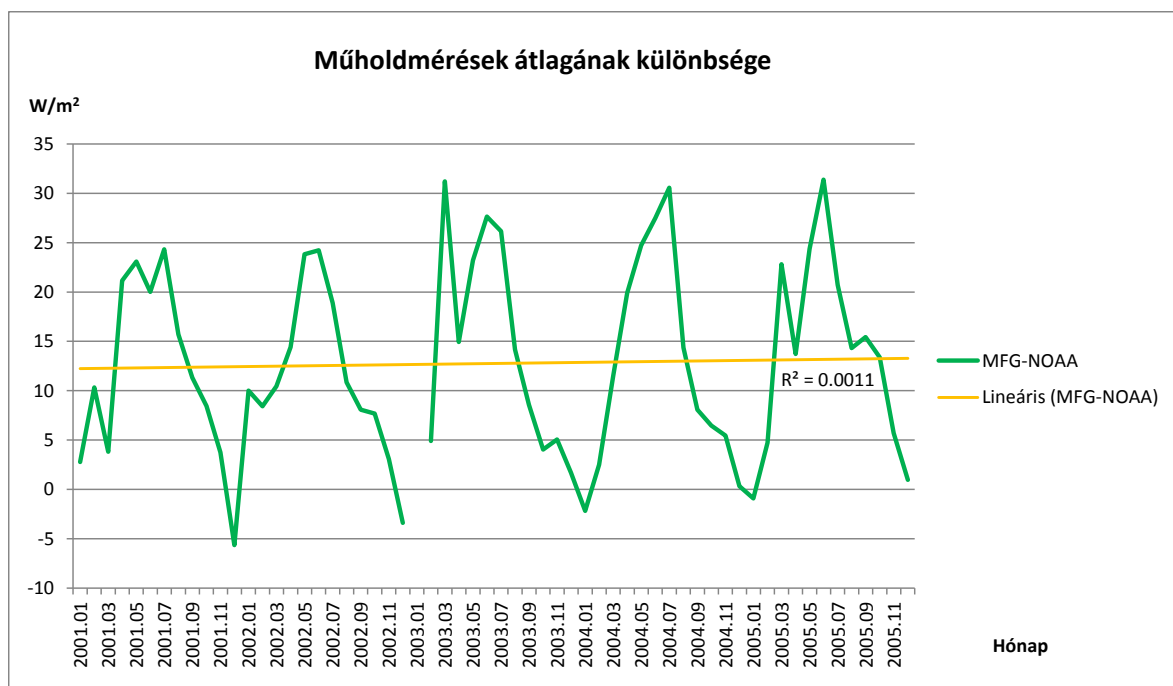
A geostacionárius Meteosat műholdak által előállított adatok jelenleg a legnagyobb felbontásúak ($0,03^\circ$, azaz kb. 3 km), a vizsgálatok során a többi adat rácspontjait ehhez közelítettem, azaz megkerestem más adatbázisban a ponthoz legközelebb eső koordinátákat, amihez hozzá kellett illeszteni a Meteosat koordinátáit. A geostacionárius műholdak pixel középpontjai a felszíni koordinátaikhoz képest mindössze $0,01$ fokkal tértek el, amelyek szélességben $1,1113$ km-t, hosszúságban pedig $0,78848$ km-t jelentenek. A továbbiakban a kvázipoláris NOAA műhold felbontása alapján megvizsgáltam, hogy a Meteosat adott rácspontjai az előző adathalmaz mely rácspontjaiban található, és az itt megjelenített értékeket vettem alapul.

A következőkben megvizsgáltam a két műhold méréseinek egymáshoz viszonyított értékeit. A vizsgált időszakban a geostacionárius műhold átlagosan nagyobb értékeket regisztrált az állomásokra az év nagy részében, mint a kvázipoláris hold (8. ábra). A műholdak összehasonlításához az állomások értékeinek átlagát számoltam ki az egyes hónapokra a különböző műholdak eredményei alapján, majd ezeknek a különbségét vettem. A maximális eltérések értékében jól látható, hogy 2001 júniusában $23 W/m^2$, míg 2005 júniusában már $31 W/m^2$ a két műhold mért értékének különbsége. A minimum értékekben is hasonló, de csupán $6 W/m^2$ értékű a növekedés. A vizsgált időszakban a különbség alakulásában kirajzolódik egy csekély mértékű növekvő trend (9. ábra). Télen van a legnagyobb hasonlóság a mérések között. Az idő folyamán a téli mérések egyre

jobban megközelítették egymást, a nyári mérések között pedig egyre nagyobb lett a különbség.



8. ábra: A műholdak sugárzasmérései a 2001-2005 közötti időszakban.

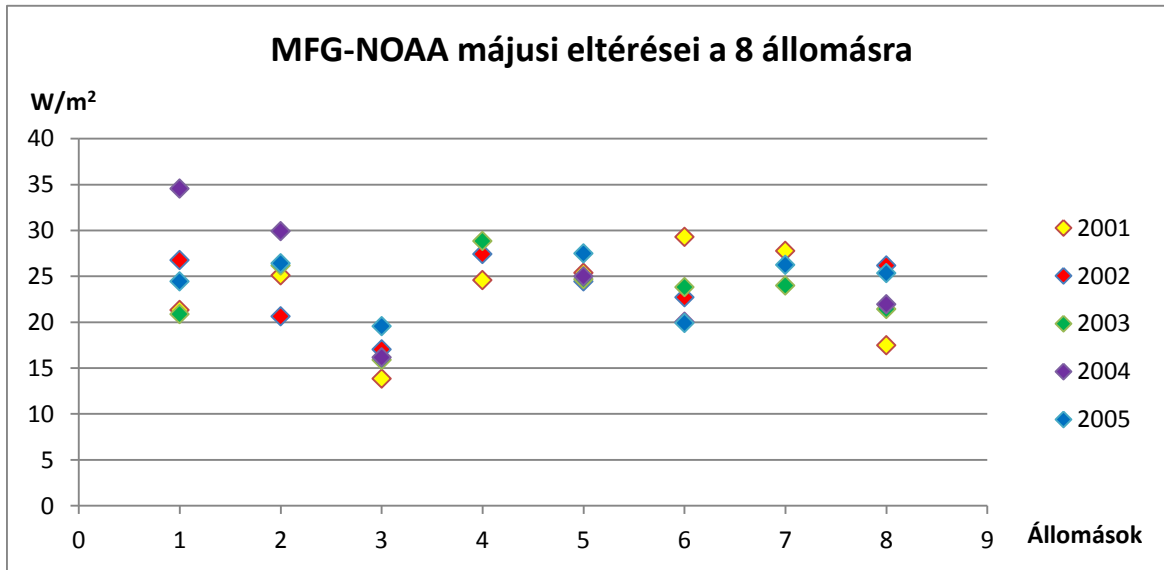


9. ábra: A műholdmérések nyolc állomásra vett átlagának különbsége 2001. és 2005. között.

Ezt követően a műholdas méréseket összevettem a felszíni mérésekkel. Az adott időszakban a geostacionárius műhold legtöbbször felülbecsli, a kvázipoláris műhold pedig

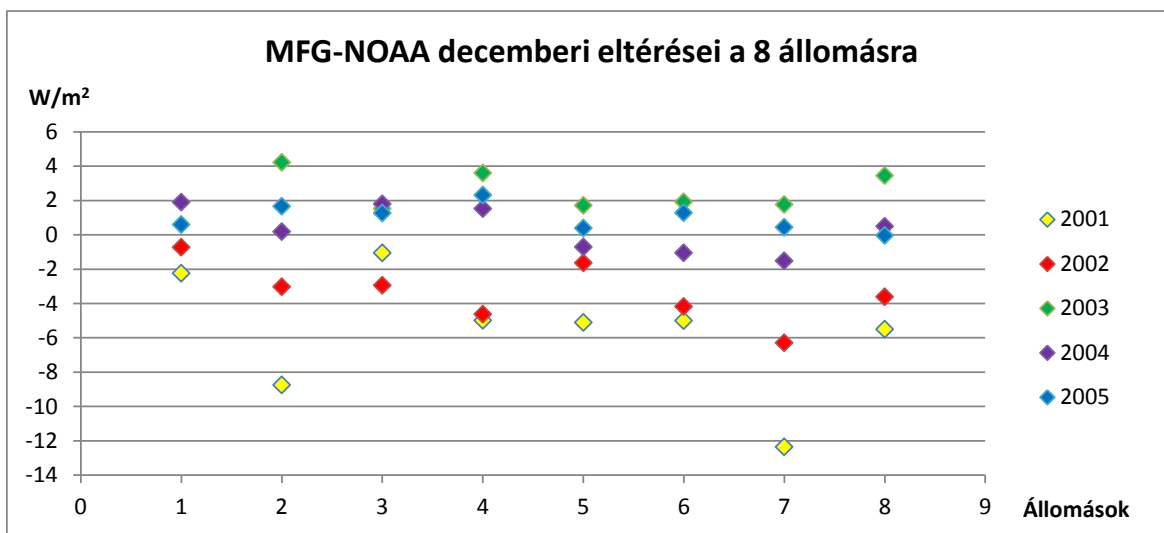
alulbecsli a felszíni sugárzásmennyiséget. Az eltérések éven belüli eloszlása sem egyenletes. A legnagyobb eltérés nyáron, június-július hónapban jelentkezett, a legkisebb december-január környékén. A legnagyobb különbség a műholdas méréseknél az Egerre vonatkozó adatok között található, a két érték közti különbség $38,7 \text{ W/m}^2$, ezt 2005 júniusában mérték a holdak. A legkisebb eltérések a nagykanizsai és a győri adatsorban találhatóak, mindössze $0,01 \text{ W/m}^2$, az első eset egy 2001. márciusi mérésből származik, a második eset pedig 2004. február hónapjának sugárzásméréséből. Szintén elhanyagolható a mérési különbség 2004 januárjában, Kecskemét K-Pusztá sugárzásértékénél ($0,02 \text{ W/m}^2$). Az adatok feldolgozása után megállapítható, hogy az összes mérést figyelembe véve mind a nyolc állomásra összesen 376 esetben mért magasabb értéket a Meteosat, mint a NOAA, 29 esetben azonban a relációjel megfordult.

A műholdas értékek nyolc állomásra vett eltérését mutatja a 10. és 11. ábra a vizsgált 5 évre külön-külön. A májusi eltérések átlaga (10. ábra) a hónapok közül a legnagyobb, több mint 25 W/m^2 volt, a decemberi átlag pedig a legkisebb, mindössze 1 W/m^2 , amikor általában nem az MFG, hanem a NOAA becsült magasabb értékeket. (11. ábra)



10. ábra: Az MFG és NOAA különbségének májusi eltérései.

(OMSZ állomások: 1: Debrecen, 2: Szeged, 3: Eger, 4: Kecskemét K-Pusztá, 5: Budapest-Lőrinc, 6: Nagykanizsa, 7: Győr, 8: Baja)

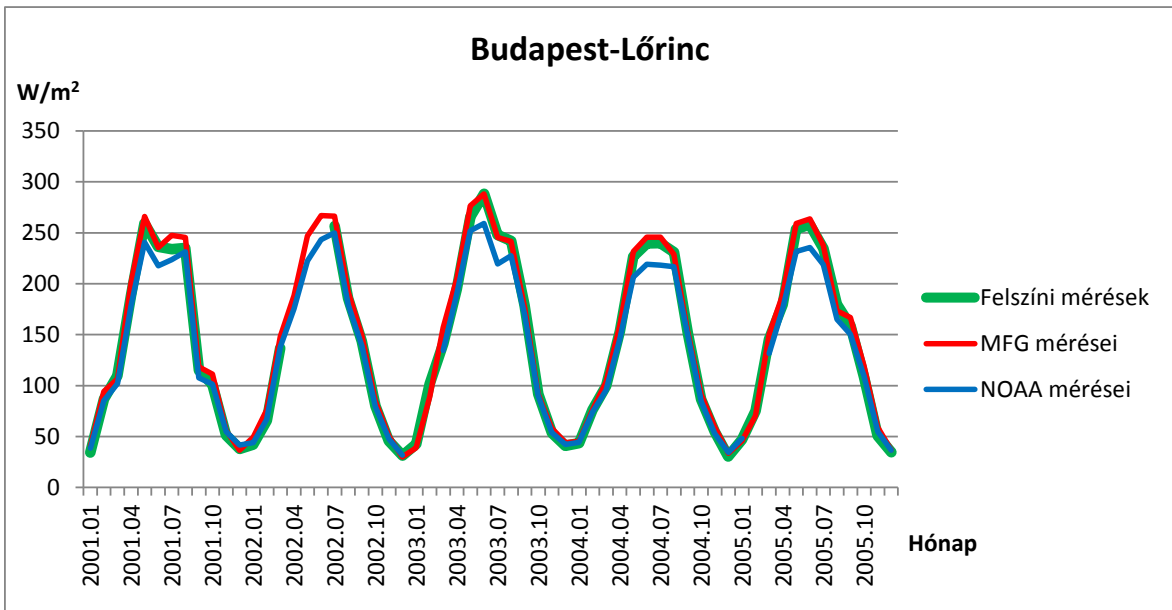


11. ábra: Az MFG és NOAA különbségének decembéri eltérései.
 (OMSZ állomások. 1: Debrecen, 2: Szeged, 3: Eger, 4: Kecskemét K-Pusztá,
 5: Budapest-Lőrinc, 6: Nagykanizsa, 7: Győr, 8: Baja)

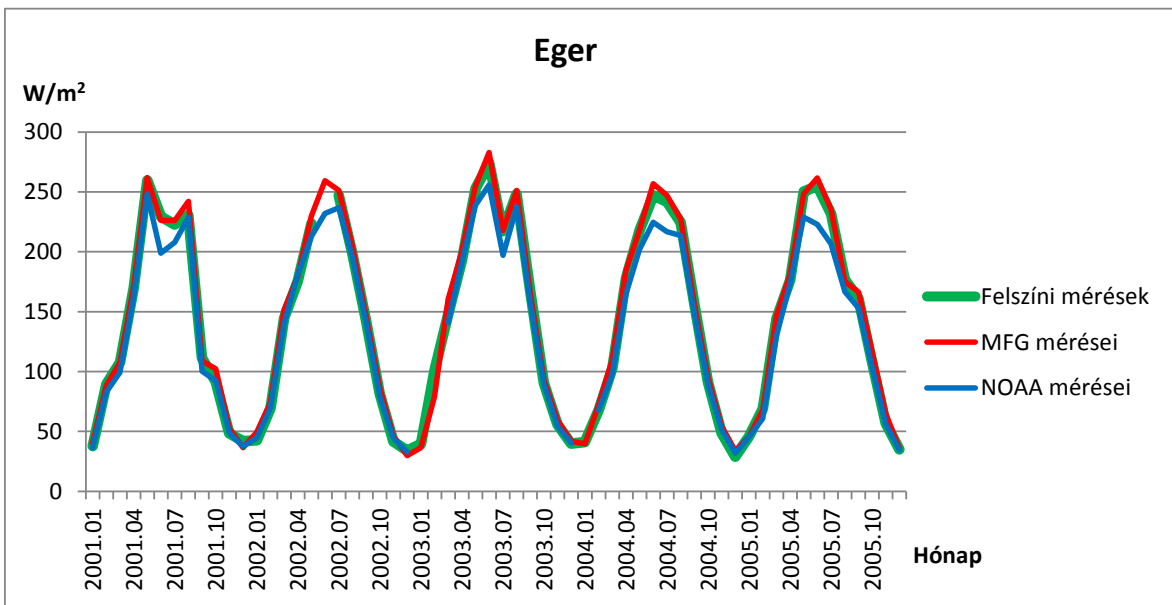
Az évek során a májusban mért értékek növekedését nem lehet minden állomásra nézve pontosan megállapítani, decemberben azonban már látszik, hogy a mérési időszak kezdetén az MFG-NOAA különbség értéke negatív szám volt minden állomáson, ami az idő múlásával nőtt, és át is lépte a 0 határvonalat.

6.2 Műholdas adatok validálása felszíni mérésekkel

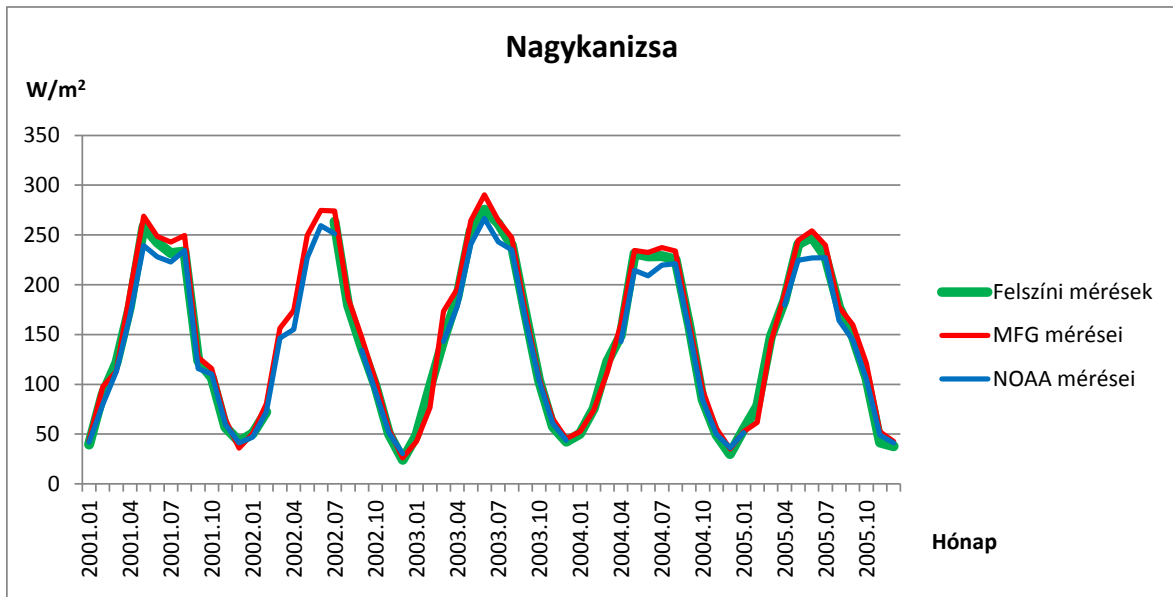
A műholdas sugárzásmérések felülről detektált, adott területre vett átlagértéket ad meg, ezért jellegében eltér a felszín közelében mért, diszkrét pontszerű megfigyelésektől. Az adatok vizsgálatából megállapítható, hogy a különböző műholdak által mért és a felszínen megfigyelt értékek hasonlósága az év nagy részében (nyár kivételével) mutatkozik meg. Jellemzően a geostacionárius műhold mért adatai nagyobbak, a NOAA műholdé pedig kisebbek a felszíni adatoknál, ezeknél az eltérés gyakran 10 W/m^2 -nél kisebb mértékű. Ez illusztrálják az alábbi ábrák (12-14. ábrák).



12. ábra: A különböző sugárzásmérések alakulása Budapest-Lőrincen
2001. január és 2005. december között



13. ábra: A különböző sugárzásmérések alakulása Egerben
2001. január és 2005. december között

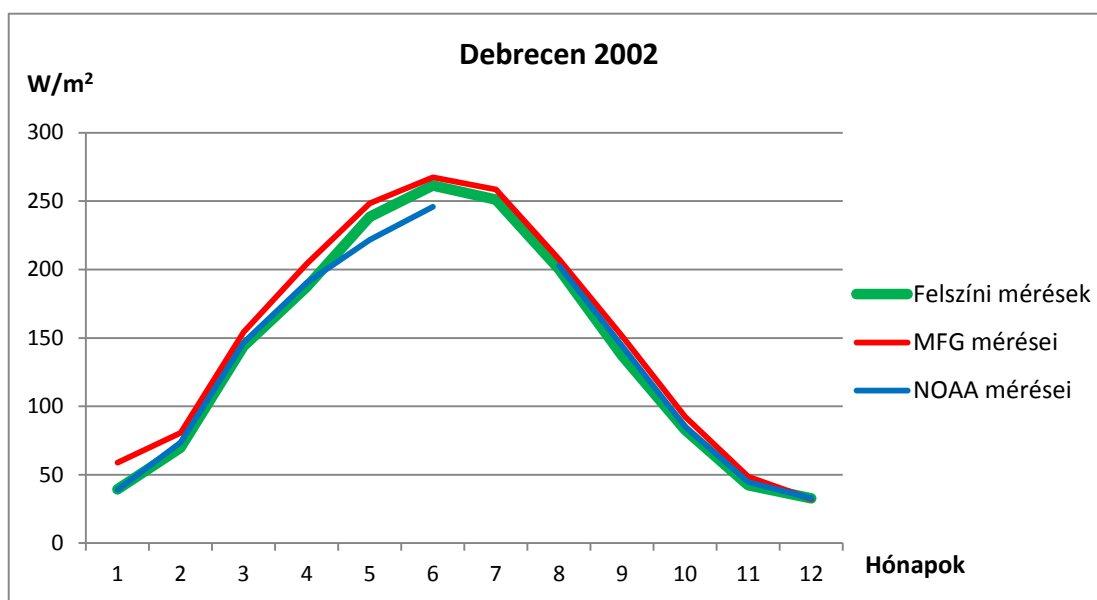


14. ábra: A különböző sugármérések alakulása Nagykanizsán
2001. január és 2005. december között

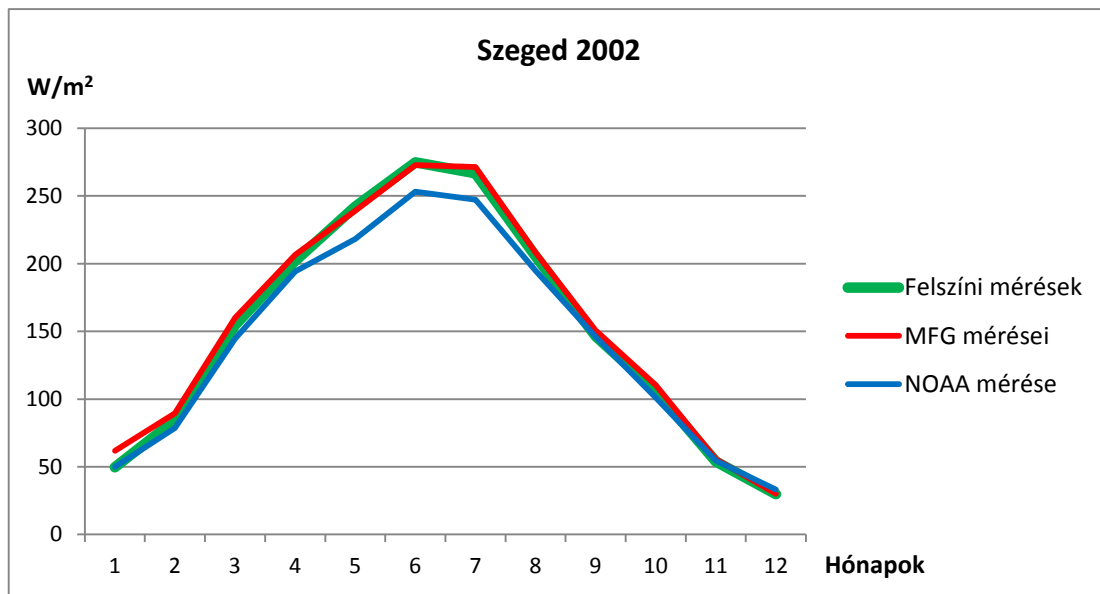
A vizsgált adatoknál a NOAA adatsora több helyen hiányos, az MFG adatai ezzel szemben hiánytalanok. A felszíni mérések között is előfordul olyan hónap, amelyről nincs információnk. Ez a Budapest-lőrinci, egri és nagykanizsai diagramon is látható. Azért ezt a három állomást emelem ki, mert ezek az állomások rendelkeznek a legmegbízhatóbb adatsorral. Lőrincen a 2002. év április-június időszakról nem rendelkezünk mért adattal. Nagykanizsa esetében a mérés nélküli időszak a 2002. év március-június hónapjai, Egernél pedig csupán a 2002. júniusi érték hiányzik. A mérések során a legnagyobb eltérések a nyári hónapokra adódtak, ekkor rendszerint a Meteosat műholdja mérte a legnagyobb értéket, a NOAA műhold a legalacsonyabbat, a felszíni mérés eredménye pedig a kettő között helyezkedik el a felhozott példák alapján, és ezek mind a nyolc állomásra nézve hasonlóan alakultak. A legnagyobb különbség a MFG és a felszíni értékek között $31,96 \text{ W/m}^2$, ez a 2003. év márciusában adódott, ekkor volt a legnagyobb különbség a nyolc állomásra vett eltérések átlagában is ($22,24 \text{ W/m}^2$), a leggyakoribb magas értékek átlagosan 10 és 20 W/m^2 között ingadoztak. A NOAA műhold és a felszíni értékek között nagyobbak az eltérések a nyári időszakban, mint az MFG-hez viszonyított eltérés. 2005 júniusában Baján $32,48 \text{ W/m}^2$ -rel kevesebb sugárzást mért a kvázipoláris műhold, mint a felszíni sugármérő. A mért értékek $269,84$ és $237,36 \text{ W/m}^2$ voltak. A legnagyobb átlagos eltérés is szintén ekkor a legnagyobb: $26,65 \text{ W/m}^2$. A vizsgált időszak nyári hónapjaiban az átlagos eltérés a legtöbb esetben meghaladta a 20 W/m^2 értéket. A NOAA Kecskeméten $16,24 \text{ W/m}^2$ -rel nagyobb értéket regisztrált 2003 augusztusában, mint a

felszíni állomás. Ez a legnagyobb eltérés azoknál az adatoknál, amelyek esetében a kvázipoláris műhold mért nagyobb értéket. 2001 és 2005 között mindössze 94 alkalommal adott magasabb értéket a műhold a 8 állomásra, szemben a 229 esettel, amikor ennek értéke a felszínen regisztrált érték alatt volt.

Az éven belüli sugárzásmérések eloszlása a következő két ábrából (15-16.) jobban kivehető. Példaként a debreceni és a szegedi mérések 2002-es alakulását hozom fel. Ezeknek a felszíni és Meteosat adatsorai hiánytalanok. Debrecen 2002-es sugárzásmennyiségének eloszlásában jól követhető az MFG magasabb, illetve a NOAA alacsonyabb mérései nyáron. Ezen állomás esetében a kvázipoláris műhold egészen a 4. hónapig, majd a 8. hónaptól ismét nagyobb értékeket mért a felszíni állomások értékeinél, az alacsonyabb értékek kifejezetten a késő tavaszi, nyári hónapokra koncentrálnak.



15. ábra: Sugárzásmérések Debrecenben 2002-ben

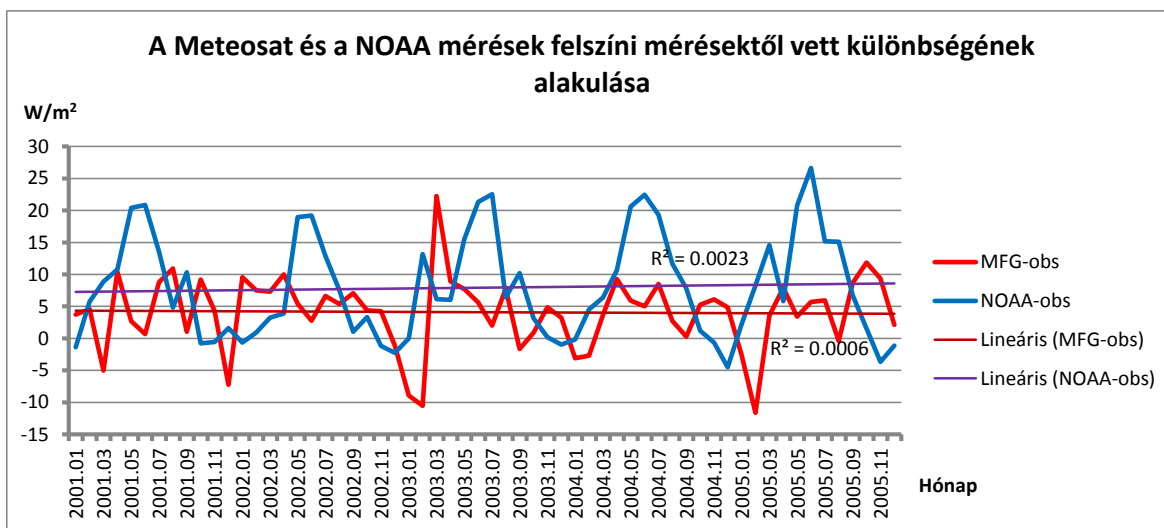


16. ábra: Sugárzásmérések Szegeden 2002-ben

Szegednél már a jellemző futás látszik, amikor a NOAA csak a téli hónapokban mér nagyobb értékeket. A Meteosat és a felszíni mérések viszont végig közel haladnak egymáshoz, és nyáron el is távolodnak a NOAA értékgörbétől. Az állomásokra vonatkozó sugárzásértékek alakulása eltérő lehet ugyanazon időszakokban, ez azonban nagyban függ a terület földrajzi elhelyezkedésétől, helyi adottságaitól is.

A műholdas mérések eltérésén felül szükséges a felszíni közvetlen sugárzásméréshez viszonyított eltérést is megvizsgálni, ebből a műhold sugárzásmérésének időbeli változását, így állapotát is nyomon követhetjük. A 17. ábra a műholdak 2001. és 2005. közötti időszakban mért havi értékeinek a felszíni értékektől való eltéréseit mutatja be. A geostacionárius műhold egy nagyon kismértékű csökkenést mutat, a kvázipoláris pedig ennél valamivel nagyobb mértékű növekedést. A trendvonalak és R^2 értékei is ezt szemléltetik.

Kerestük a választ arra a kérdésre, hogy miért növekszik a műholdak mérései között az eltérés nagysága. Konzultáltunk a fejlesztő szakemberekkel (Jörg Treantmannal és munkatársaival), akik javasolták, hogy hosszabb adatsorra ismételjük meg a vizsgálatot. Valóban az öt éves időtáv rövid ahhoz, hogy statisztikailag megbízható következtetést tudjunk levonni a trend jellegét és nagyságát illetően. Ehhez egy hosszabb adatsor vizsgálatára van szükség, aminek elvégzésére a dolgozat keretében már nem jutott idő, de későbbi vizsgálatok során ezt pótoljuk.



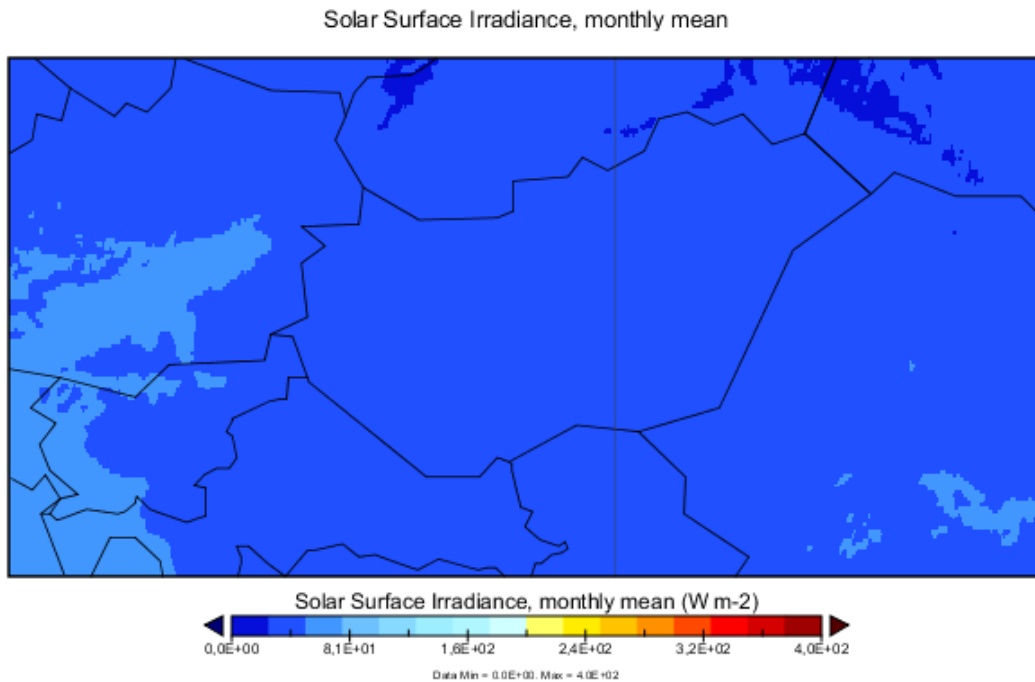
17. ábra: A Meteosat és a NOAA mérések OMSZ felszíni mérésektől vett különbségének alakulása 2001. és 2005. között.

6.3 Térképes megjelenítés

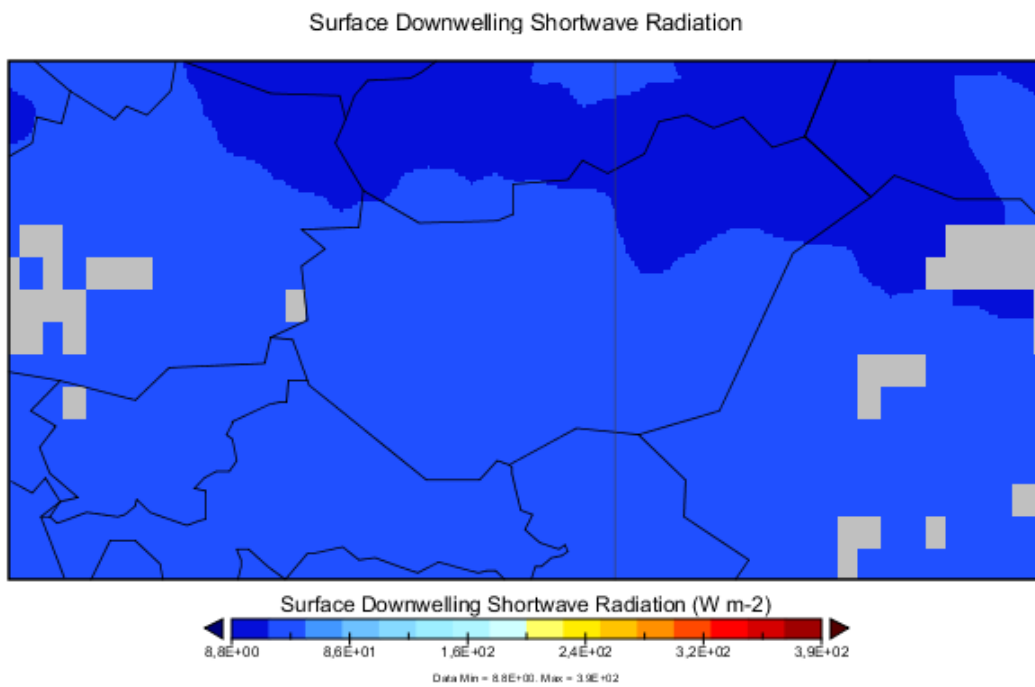
Ahhoz, hogy a műholdas mérések egymáshoz viszonyított eltéréseinek legnagyobb és legkisebb értékeit ne csak pontszerűen ábrázoljuk, az adott hónapra, Magyarországra vonatkozó sugárzásmennyiség térképes megjelenítéséhez a CM-SAF által javasolt Panoply software-t használtam fel. A software a globális rácsú netCDF adatbázisokat grafikusán jeleníti meg. Az állomásokon összehasonlított értékek eredményeinek átlagát vettem, majd megvizsgáltam, hogy mely hónap értékeinél van a legnagyobb és a legkisebb különbség. Az eredmény alapján a legnagyobb eltérés 2005 júniusában tapasztalható, itt az állomásokra vonatkozó mérések eltéréseinek átlaga $31,54 \text{ W/m}^2$. Ebben a hónapban a poláris műhold nyolc állomásra vonatkozó adatai közül kettő ismeretlen, az eltérések átlaga a maradék 6 állomásérték alapján lett kiszámolva. Emiatt vizsgáltam a 2. legnagyobb eltérést mutató hónapot is, 2004 júniusát. Itt az eltérés $27,41 \text{ W/m}^2$, azonban ezek között is van egy olyan állomás, amelyről nincs adatunk.

A legjobb egyezés az átlagértékekben a várakozásoknak megfelelően a téli hónapokra adódott. Itt a legkisebb eltérés $0,17 \text{ W/m}^2$. Ezt csupán 3 állomás adataiból számoltam ki, mivel a maradék négy állomás poláris műholdas mérései hiányoznak. Ezért megnéztem a soron következő legkisebb értéket is, a 2004 decemberének $0,31 \text{ W/m}^2$ -es értékét, amelyet már ki lehetett számolni mind a nyolc adat felhasználásával. Az adatsorban hiányzik a 2003.-as januári érték, ugyanis ebben a hónapban a kvázipoláris

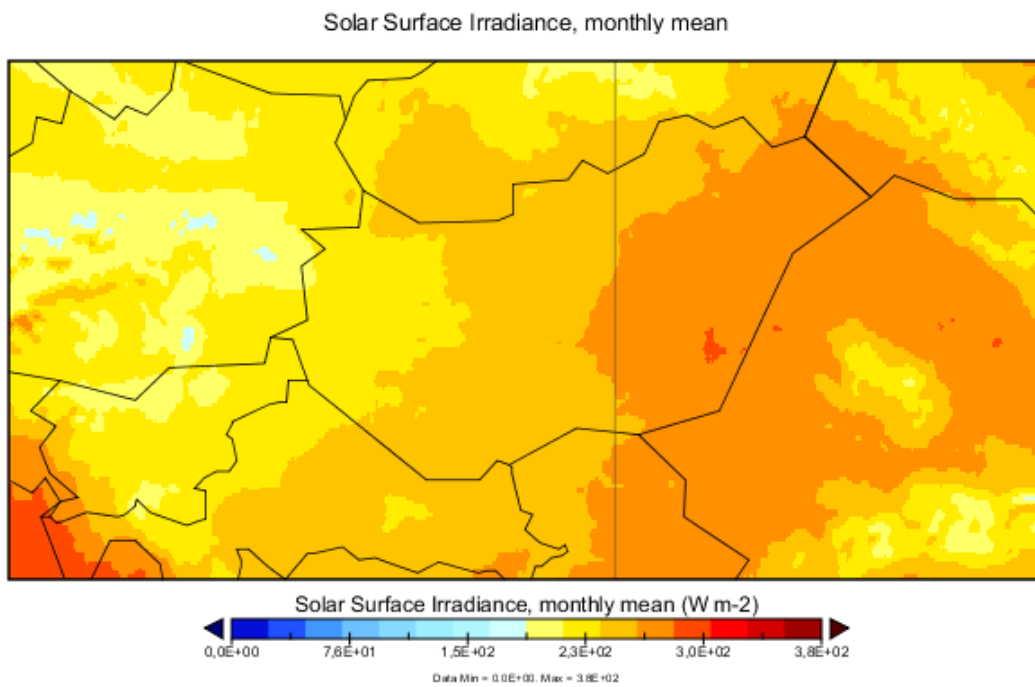
műhold nem adott meg egyetlen állomásra sem sugárzásmennyiséget.



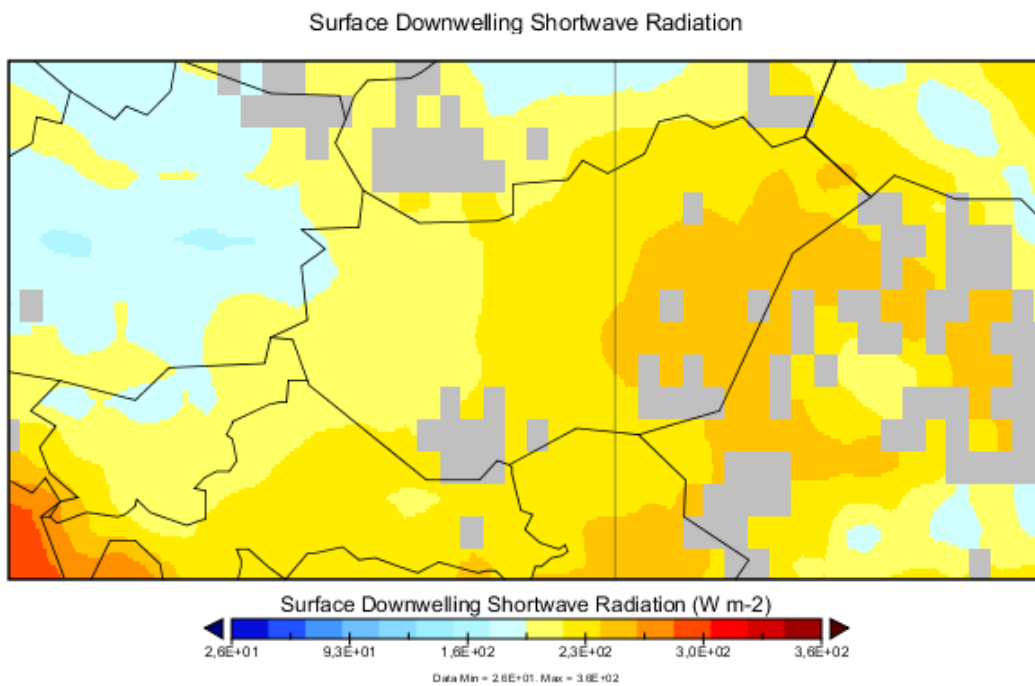
18. ábra: A Meteosat műhold méréseinek második legnagyobb hasonlósága 2004. decemberben.



19. ábra: A NOAA műhold méréseinek második legnagyobb hasonlósága 2004. decemberben.



20. ábra: A Meteosat műhold méréseinek második legnagyobb eltérése 2004. júniusában.



21. ábra: A NOAA műhold méréseinek második legnagyobb eltérése 2004. júniusában.

A Meteosat mérései nem csak a kiválasztott nyolc állomásra mutat hasonló értékeket 2004 decemberében, de a 18. ábra alapján az egész országra hasonló eloszlási képet ad. A NOAA mért értékeiben már van némi eltérés az ország északkeleti részeire, itt valamivel alacsonyabb értékeket adott a többi területhez képest, ám így is ez az a hónap, amelyben a geostacionárius és kvázipoláris műholdak mérései a legnagyobb hasonlóságot mutatják.

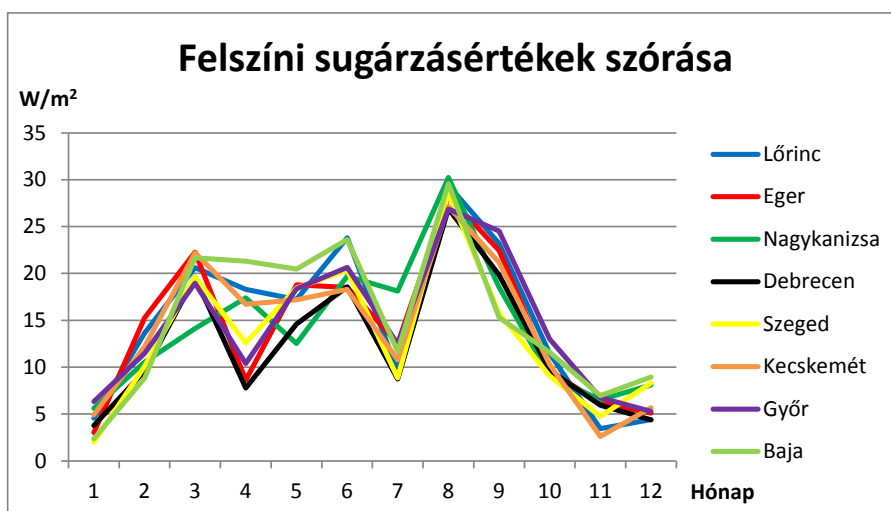
A legnagyobb eltérés a műholdak 8 állomásra vonatkozó mérései között a 2004. júniusi adatoknál van. Minden nyáron nagyok a mérések eltérései, itt azonban a legnagyobbak ezek az eltérések, amelyet az erre a hónapra vonatkozó térképek színárnyalatai is jeleznek (20., 21. ábra). A területi eloszlást mindkét térkép hasonló elrendezésben mutatja, azonban a sugárzás mennyisége nagyobb mértékben tér el. A nyári nagy eltérések a korábban bemutatott 8. 9. és 16. ábrák alapján számszerűen is kimutathatók.

7. Statisztika

7.1 Felszíni és műholdas adatok külön-külön való és együttes szórása

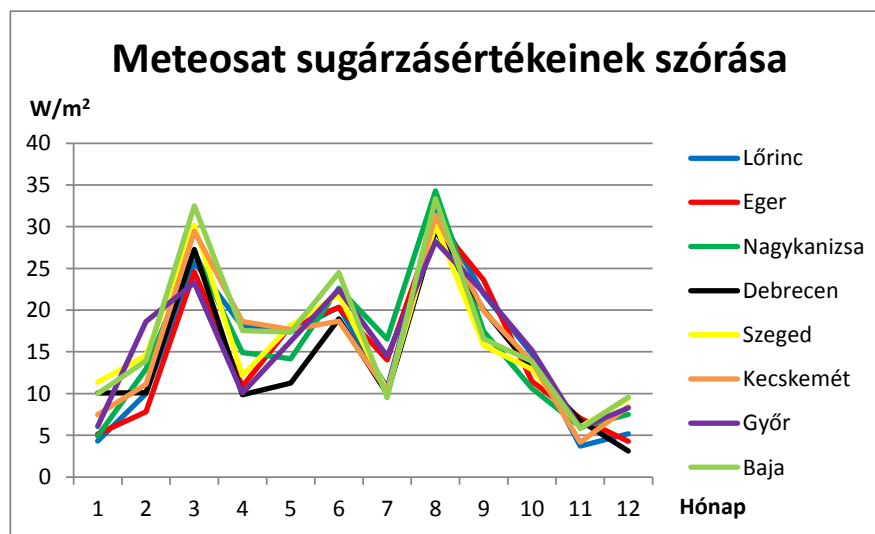
Az 5. fejezetben ismertetett statisztikai módszerek használatával hasonlítottam össze a felszíni méréseket, a geostacionárius és a kvázipoláris műholdak méréseit. Ezeket a vizsgálatokat olyan adatok esetében használják, amikor a két összehasonlítandó adatsor egyike mérések sorozata, a másikat pedig valamilyen eljárással történő becslés során kapunk egy adott paraméterre. Jelen esetben a mérésből adódó értékek a felszíni értékek, a becsült paraméterek pedig a MFG műhold által mért, algoritmus segítségével becsült sugárzásértékek.

A további elemzésekhez a Meteosat műhold adatokat választottuk, mert az ismertetett elemzések szerint jobban megközelítik a vizsgált időszakban a felszíni méréseket és hiánytalan az adatsora. A felszíni sugárzási értékek szórását minden hónapra külön-külön a 22. ábra szemlélteti. A szórás értékei a különböző állomások esetében a januári, augusztusi és október-decemberi hónapokban hasonlóak, néhány W/m^2 -es eltérésekkel, még júliusban is, itt azonban a nagykanizsai érték elkülönül a többitől, magasabb szórásértékeket mutatva. Ennél az állomásnál a március és május hónap szórása a legkisebb az összes állomás között. Egy másik szembetűnő eset, a Baja szórását jellemző vonal. Itt a január, február, szeptember hónapokban a legalacsonyabb szórású állomások közé tartozik, míg márciustól egészen augusztusig a legnagyobb szórásúak között van, ezen belül is az április, május és június értékei a legmagasabb értékeket mutatják.



22. ábra: A felszíni sugárzásmérések értékeinek szórása az OMSZ 8 állomására.

A következő ábra (23. ábra) a Meteosat sugárzásértékeinek szórását mutatja szintén a 8 állomásra, mind a 12 hónapra külön megvizsgálva. Itt a nagykanizsai érték a 7-8. hónapokban magasabb értékeket vesz fel, mint a többi állomás szórása, legalacsonyabb értékű az 1. és 10. hónapokban. A debreceni érték itt is ugyanúgy, mint a felszíni értékek között, a 4. és 12. hónapokban mutatja a legkisebb értékeket, azonban a műhold szórásértékeinél májusban is a legalacsonyabb, és júniusban szintén az alacsony értékűek között van. Baja, hasonlóan a felszíni szórásértékekhez, itt is bizonyos hónapokra a legalacsonyabb, másokra pedig a legmagasabb értékeket adja. Kiemelkedő a márciusi, júniusi, augusztusi és decemberi magas érték és a júliusi és szeptemberi alacsony érték.

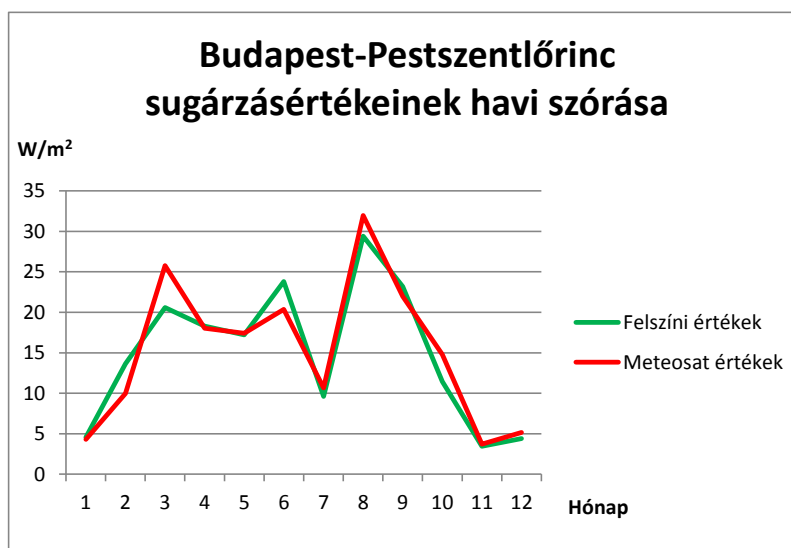


23. ábra: A műholdas sugárzásmérések értékeinek szórása a 8 állomásra.

Az állomások jobb elkülönítésére készültek olyan ábrák is, amelyeknél minden egyes állomásra meg van rajzolva a felszíni értékek szórásának görbéje és a műholdas értékek szórása. Az előzőekben elemzett ábrák kiemelkedő állomásait szeretném egyenként is megvizsgálni, illetve a Budapest-Pestszentlőrinc szórásértékeit is, mint az egyik legmegbízhatóbb felszíni sugárzásméréssel rendelkező állomást.

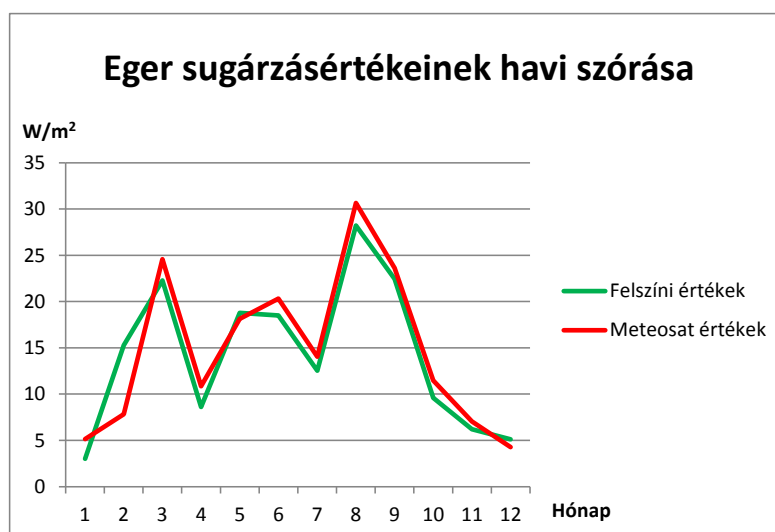
Elsőként a pezsztentlőrinc szórás bemutató görbét jellemezzük (24. ábra). A legnagyobb hasonlóság az 1., 4., 5., 7., 11. és 12. hónapokban van. Kis eltérés van a görbék között a 2., 8., 9. és 10. hónapban. A görbék jelentősebb eltávolodása a 3. és 6. hónapban van, először a Meteosat szórásértékei mutatnak kiugróan magas értéket, míg júniusban a felszíni szórás mülja felül a becsült értékek szórását. Az évi menetben megfigyelhető több maximum érték is (március, június, augusztus), a legnagyobb szórás azonban augusztusban van, itt mind a felszíni, mind a műholdas értékek szórása magas, és

csupán néhány W/m^2 az eltérés közöttük.



24. ábra: Budapest-Pestszentlőrinc sugárzásértékeinek havi szórása.

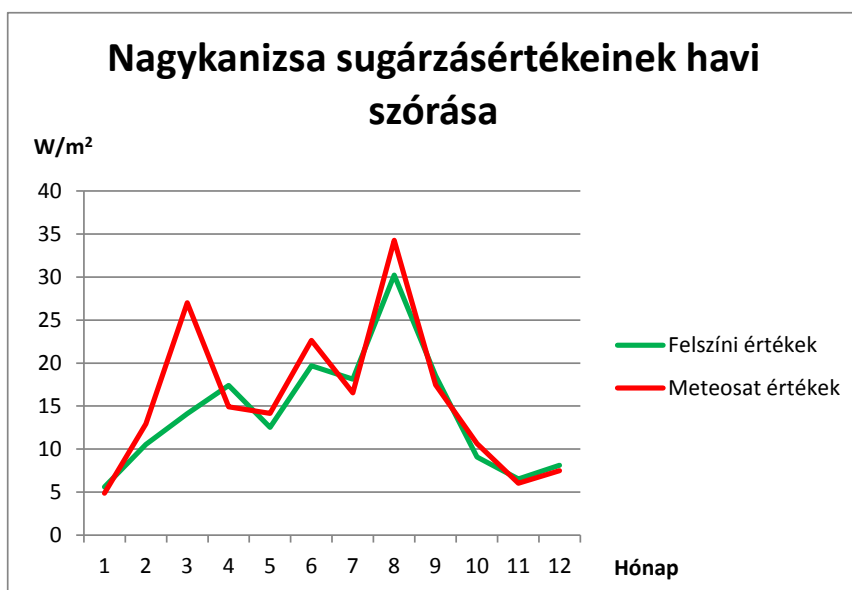
Az Egerre vonatkozó szórás adatok mutatják a legnagyobb hasonlóságot a vizsgált állomások közül (25. ábra). A szórásgörbék szinte minden hónapban együtt haladnak, néhány W/m^2 eltéréssel, a februári adatok szórásában azonban jelentős a különbség. Ekkor a felszíni értékek szórása $7 W/m^2$ -rel is meghaladja a műholdas értékek szórását. A maximum értékek itt is a 3., 6. és 8. hónapokra adódnak, de már az 5. hónapban bekövetkezik a szórásértékek növekedése, különösen a felszíni szórás esetében.



25. ábra: Eger sugárzásértékeinek havi szórása.

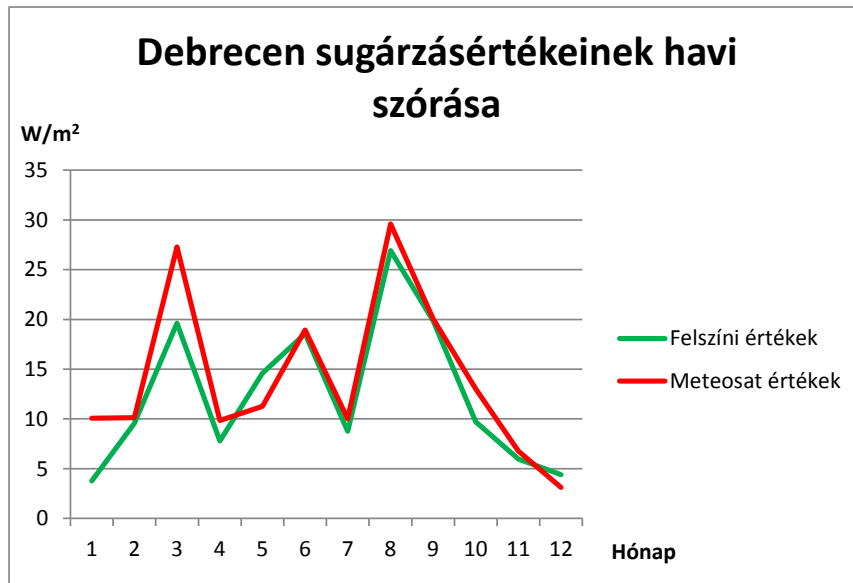
Nagykanizsa az az állomás, amely a felszíni sugárzásmennyiségek szórását

vizsgálva néhol a legalacsonyabb, máskor a legmagasabb szórást mutatta a 8 állomás szórását egyszerre megjelenítő ábrán (22. ábra), míg a becsült szórást mutató ábrán (23. ábra) nagyjából a többivel együtt haladt, a 7-8. hónapokban azonban a legmagasabb értékeket adta. Mint az előzőknél is, a legalacsonyabb szórás a januárt, novemberet és decembert jellemzi, a magas szórásúak továbbra is a március, június és augusztus. A szórásértékek legnagyobb eltérése márciusban van, meghaladja a 12 W/m^2 -t. A többi hónapban nincs jelentősebb eltérés az értékek között.



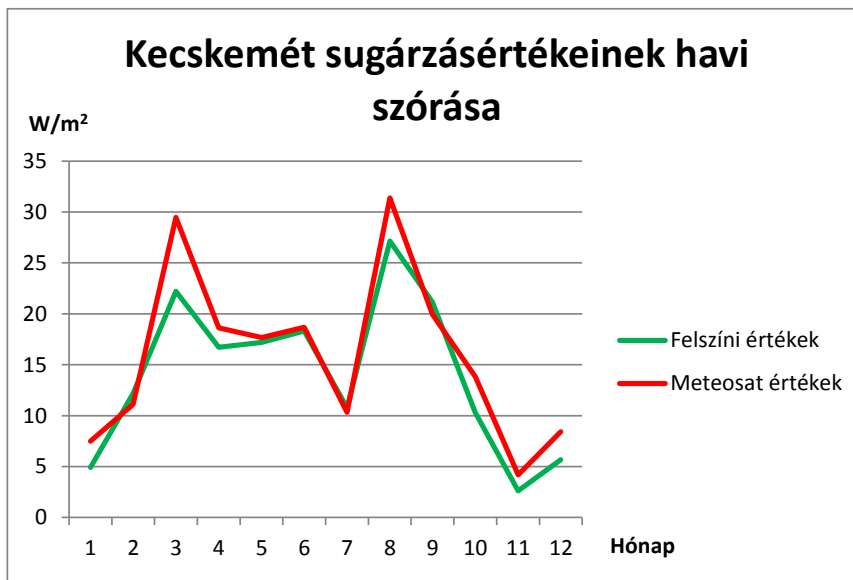
26. ábra: Nagykanizsa sugárzásértékeinek havi szórása.

Debrecen sugárzásmennyiségének havi szórása a többi állomás szórásával együtt haladt a felszíni és a műholdas szórás esetében is, azonban az április-május hónapokban a legalacsonyabb értékeket mutatta mindkét esetben. Az állomást külön megvizsgálva a Meteosat szórásában két fő maximum jelenik meg, az egyik továbbra is a 8. hónapban, a másik pedig márciusban, amikor általában egy másodmaximum jellemző. Az első esetben a felszíni és a műholdas értékek szórása is magas, a 3. hónapban azonban csak a műhold mutat kiugróan magas értéket. Legnagyobb hasonlóság itt a június, július, szeptember, november és december hónapok értékeinél van.



27. ábra: Debrecen sugárzásértékeinek havi szórása.

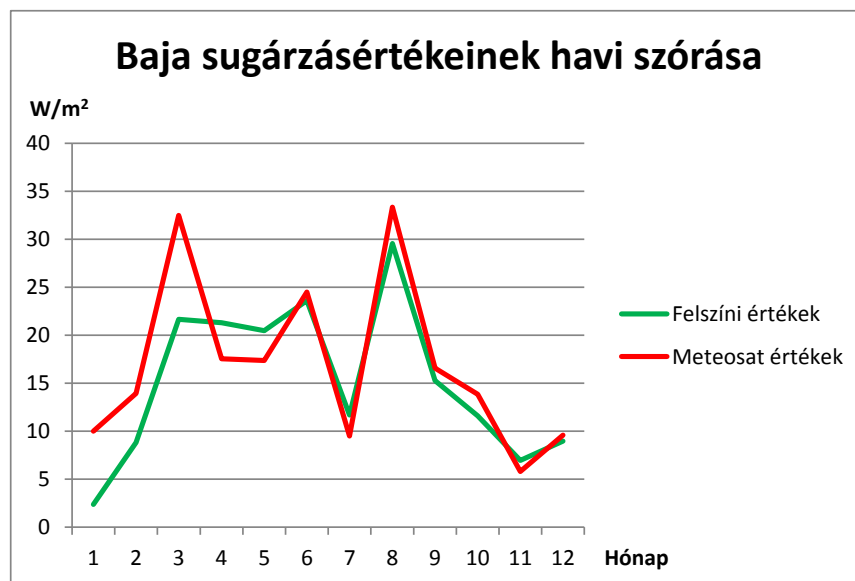
Kecskemét esetében (28. ábra) a júniusi másodlagos maximum nem kiemelkedő, illetve az áprilisi hirtelen szórásérték-csökkenés nem jellemző az állomásra. A Meteosat szórása márciusban és augusztusban egymáshoz közeli, magas értékeket mutat, amely hónapokban, Debrecenre is jellemzően a felszíni sugárzásmennyiség szórása először alacsonyabb, majd magasabb.



28. ábra: Kecskemét sugárzásértékeinek havi szórása.

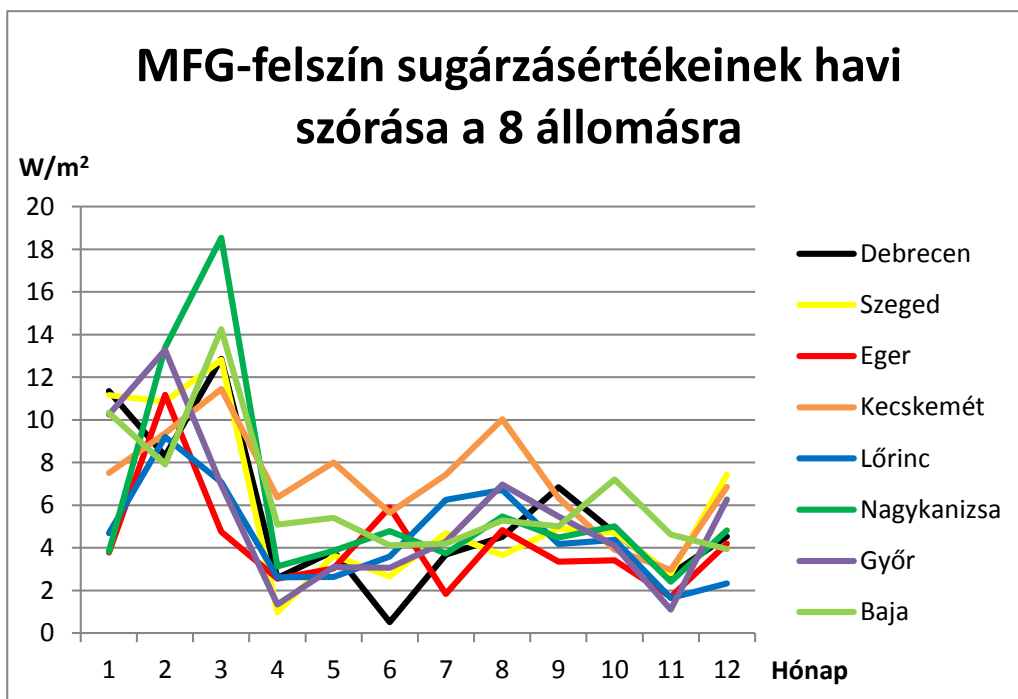
A kiemelt állomások közül utolsóként a Bajára vonatkozó szórásértékek jellemzésére kerül sor. Ennél az állomásnál a Meteosat szórása mutatja a hónapokra

jellemző tendenciát. A fő maximumok itt is ugyanúgy, mint az előző két állomásnál, márciusra és augusztusra adódnak. A felszíni mérések szórása azonban jelentősen eltér az első 5 hónapban. Itt nincs kifejezett másodlagos maximum márciusban, igaz, hogy a következő két hónapban csökken a szórás mértéke, de nem jelentős. Feltűnő még a januári szórásértékek különbözőségének mértéke is, ahol meghaladja a 7 W/m^2 -t. Hasonló eset fordult elő Debrecenben is, ahol az eltérés a szórásértékek között legalább 6 W/m^2 értékű volt.



29. ábra: Baja sugárzásértékeinek havi szórása.

A szórásvizsgálat azt a fajtáját is elvégeztem, amikor a Meteosat sugárzásértékéből kivontuk a felszíni sugárzásértéket, így az eltérések alakulására is kiszámoltam a szórást. Az első kiugró szórásérték az eltérésekben a nagykanizsai adatok között jelenik meg. Itt a márciusra vonatkozó szórás $18,54 \text{ W/m}^2$ értékű. A következő hónapokban azonban a többihez hasonló értékeket mutat, nincsen nagy eltérés ezekhez képest. A Bajára vonatkozó eltérések szórásában, ha a többihez képest nem is nagymértékű, de néhol magasabb eltérés tapasztalható bizonyos hónapokban, például március-május, illetve október-november hónapokban. Az előzőnél valamivel nagyobb mértékű szórás jellemzi a kecskeméti eltéréseket a 4-5, és a 7-8. hónapokban. A vizsgált szórásértékek átlaga az egyes állomásokra Egernél a legkisebb, és ez az érték Pestszentlőrinc esetében sem tér el jelentősen. Az állomásokra kiszámolt havi szórásértékek átlagát a 3. táblázat tartalmazza.



30. ábra: A Meteosat műhold és a felszín által mért sugárzásmennyiség eltéréseinek havi szórása a 8 állomásra.

3. táblázat: A műhold és a felszín által mért sugárzáskülönbség szórásértékeinek átlaga.

Állomás	Szórás átlaga
Debrecen	5,54
Szeged	5,86
Eger	4,21
Kecskemét	7,16
Budapest-Pestszentlőrinc	4,61
Nagykanizsa	6,12
Győr	5,51
Baja	6,45

7.2 Négyzetes középérték hibák és átlagos abszolút hibák számítása

Az 5. fejezetben bemutatott statisztikai módszerek alapján a négyzetes középérték hibát és az átlagos abszolút hibát vizsgáltam meg a három legmegbízhatóbb mérésekkel rendelkező állomásra vonatkozóan. Az ezekre vonatkozó eredményeket a 4., 5. és 6. táblázatok tartalmazzák. A pestszentlőrinci adatokra elvégzett statisztika alapján a négyzetes középérték hiba legnagyobb értéke áprilisban, 9,42 lett. Hasonlóan magas érték adódott márciusra is, amely szintén nagy eltérést mutat a legkisebb, decemberi 2,44-es értékhez képest. Átlagosan az RMSE értéke 6,44. Az átlagos abszolút hibát vizsgálva abszolút értékben a becslés a megfigyeléshez képest decemberben van a legközelebb, míg a legtávolabb februárban és májusban van. Ezen statisztikai paraméter Pestszentlőrincre vonatkozó értékeinek átlaga 5,65, amire a számok alakulásából is nagyjából következtetni lehet.

4. táblázat: Pestszentlőrincre vonatkozó statisztikai paraméterek értékei minden hónapra.

Pestszentlőrinc	RMSE	MAE
Január	4,68	3,97
Február	8,23	6,98
Március	9,14	7,70
Április	9,42	9,15
Május	7,34	6,96
Június	4,02	3,09
Július	8,15	6,98
Augusztus	6,21	5,04
Szeptember	4,89	4,23
Október	7,13	5,96
November	5,64	5,45
December	2,44	2,28

Eger állomására a négyzetes középérték hiba februárban lett a legnagyobb, 10,46, és ez az érték a többi hónap mérőszámaitól nagymértékben eltér. A legkisebb érték

szeptember hónapra adódott, azonban más hónapok értékei is ehhez hasonló, alacsony értéket mutatnak (január, május, december). Az átlagos abszolút hiba havi értékei között nincs jelentős eltérés, a legkisebb 2,51, a legnagyobb 7,08, amelyeket két egymást követő hónap, a május és június adatai alapján kaptunk eredményül. Ennél az állomásnál a legalacsonyabbak az RMSE és a MAE átlagos értékei a három vizsgált állomás átlagai között, az elsőre 5,46, a másodikra 4,54 adódott.

5. táblázat: Egerre vonatkozó statisztikai paraméterek értékei minden hónapra.

Eger	RMSE	MAE
Január	3,48	2,72
Február	10,46	6,78
Március	6,98	5,54
Április	5,07	4,53
Május	3,22	2,51
Június	7,52	7,08
Július	3,89	3,52
Augusztus	6,12	4,92
Szeptember	3,06	2,69
Október	6,62	5,88
November	5,23	5,01
December	3,79	3,30

A három állomás havi adataira vonatkozó statisztikai paraméterek közül a nagykanizsai értékeknél szerepelnek a legnagyobb számértékek mind az RMSE, mind a MAE értékei között. A decemberi és januári négyzetes középértékhibák és az átlagos abszolút hibák továbbra is alacsonyak, míg a többi hónapra ennél nagyobb értékek adódtak, amelyek között is a február, a március és az április értéke 10 fölött van. A statisztikák átlagolásával Nagykanizsára a legnagyobb, 8,91 (RMSE) és 7,89 (MAE) értékeket számoltam.

6. táblázat: Nagykanizsára vonatkozó statisztikai paraméterek értékei minden hónapra.

Nagykanizsa	RMSE	MAE
Január	3,47	2,87
Február	12,82	10,96
Március	16,07	13,37
Április	10,44	10,08
Május	7,63	6,86
Június	8,79	7,75
Július	9,55	8,95
Augusztus	9,39	8,02
Szeptember	7,26	6,05
Október	9,15	7,98
November	7,76	7,46
December	4,59	4,29

8. Összefoglalás

A dolgozat célja az volt, hogy a felszíni sugárásmérő műszerek által detektált sugárásmennyiséget összevesse a távérzékeléssel történő megfigyelésekkel. A dolgozat elején néhány a globálsugárással kapcsolatos hazai és külföldi vizsgálatot említettem. A továbbiakban bemutattam a globálsugárázás leírásához szükséges alapfogalmakat, sugárási törvényeket, amelyek a sugárázás fizikáját írják le. Röviden ismertettem az EUMETSAT tevékenységét, majd a klímavizsgálatokhoz alkalmazott meteorológiai műholdak méréseinek jellemzésére, és az EUMETSAT műholdas produktumait előállító munkacsoportok tevékenységére, feladataira is kitértem. A felszíni és műholdas globálsugárázás értékek összehasonlításával és néhány statisztikai vizsgálat segítségével következtetéseket tudtam levonni a különböző időszakokban mért sugárásmennyiség eltéréseiről.

A vizsgálatok során elsőként a geostacionárius és a kvázipoláris műholdak sugárásmennyiség méréseit hasonlítottam össze a 2001. január és 2005. december közötti időszakra vonatkozóan. A műholdmérések összehasonlítása alapján megállapítottam, hogy főként a téli, de az átmeneti időszakokban is hasonló sugárásmennyiséget regisztráltak a műholdak a nyolc kiválasztott állomásra. A legnagyobb eltérések a vizsgált évek nyári időszakaiban fordultak elő, ekkor a Meteosat havi sugárásmennyiség mérései néhányszor tízes nagyságrenddel felülmúlták a NOAA által regisztrált sugárásmennyiséget. A geostacionárius műhold az évek legnagyobb részében magasabb globálsugárázás mennyiséget mért, mint a kvázipoláris műhold, azonban a Meteosat mérései alapján a téli hónapokban a kiválasztott állomásokra kevesebb sugárázás jutott, mint amennyit a NOAA detektált. Az eltérés a műholdak mért értékei között az idő folyamán némileg nőtt. Míg a téli mért értékek közötti különbség csökkent, a nyári eltérések nőttek. A későbbiekben pedig a legnagyobb és legkisebb eltérést mutató hónapok sugárázásértékeit térképek segítségével is szemléltettem.

Ezek után a műholdas adatokat hasonlítottam össze a felszíni mérésekkel. A validáció során kiderült, hogy a Meteosat rendszerint több, a NOAA pedig kevesebb sugárásmennyiséget regisztrált a felszíni állomásokra, mint amennyi a felszínen mért sugárázásérték volt. Az eltérések vizsgálatához a 3 legmegbízhatóbb adatsorral rendelkező állomás (Budapest-Lőrinc, Eger, Nagykanizsa) adatsorát használtam fel. Majd egy adott

éven belüli sugárzáseloszlást és a mért értékek eltéréseit két másik város (Debrecen, Szeged) 2002-es év adatai alapján mutattam be.

A felszíni mérésektől való műholdas sugárzáseltérések változása időbeli menetét is megvizsgáltam, amelyből kiderült, hogy a NOAA műhold eltérése a vizsgált időintervallumban nagyobb mértékben növekszi, mint a Meteosat eltérése. Az egyértelmű növekedés azonban nem állapítható meg a megvizsgált adatsor rövidege miatt. Ehhez egy hosszabb időszak vizsgálata szükséges, amelyet az elkövetkezendőkben szeretnék folytatni.

Statisztikai vizsgálatokat az egyes állomások felszíni és műholdas (Meteosat) havi adatai között végeztem. A szórást azon állomások esetében mutattam be, amelyeknek a hónapok során mutatott értékei valamennyire eltértek a többi állomás értékeitől. Legnagyobb szórás a vizsgált állomások esetében a 8. hónapra adódott, azonban a 3. és 6. hónapokban is megfigyelhető volt egy-egy másodlagos maximum érték, ahol a Meteosat szórásértékei nagyobbak voltak a felszíni értékek szórásánál, különösen márciusban. Majd a geostacionárius műhold és a felszíni mérési eredmények különbségének szórását vizsgálva a legnagyobb értékek az év első 3 hónapjában voltak a legmagasabbak, a továbbiakban alacsonyabbak voltak, azonban mindig volt olyan állomás, amelynek szórása nagyobb, esetenként kisebb értéket mutatott.

A négyzetes középérték hiba és az átlagos abszolút hiba számítását a legmegbízhatóbb mérésekkel rendelkező állomásokra végeztem el. Az RMSE két állomás esetében is a február, március és április hónapokban volt a legnagyobb, legkisebb értékeit pedig a decemberi és januári havi adatokra kaptam. A MAE értékeinél összességében nem lehetett megállapítani, hogy mely hónapokra adódott a legnagyobb és legkisebb érték, ugyanis például a júniusi számadatokat vizsgálva az egyik állomásnál a legmagasabb, másiknál a legalacsonyabb, a harmadiknál pedig a középső értékek egyikét adta. Ezen statisztikai módszerek azonban rendkívül hasznosak a havi adatok kapcsolatának jellemzésére.

A felszíni és műholdas globálsugárzás kapcsolatát külföldi meteorológiai szervezetek jelenleg is kutatják. Szükségesnek tartom, hogy a magyarországi állomásokra vonatkozó adatokra is végezzünk vizsgálatokat, megismerve ezzel a sugárzási viszonyokat, illetve az időbeli alakulásukat, hogy a mérések pontosságának és megbízhatóságának növelésével a jövőben érdemi kutatásokat lehessen folytatni.

9. Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet szeretném kifejezni elsősorban témavezetőimnek, Wantuchné Dobi Ildikónak és Kerényi Juditnak, akik készségesen és önzetlenül segítettek tanácsaikkal, észrevételeikkel a dolgozat létrejöttét. Köszönettel tartozom tanszéki konzulensemnek is, Barcza Zoltánnak, aki tanácsaival, kritikáival javította a dolgozat színvonalát.

Továbbá megköszönöm az Országos Meteorológiai Szolgálatnak, hogy biztosította számomra a diplomamunkámhoz felhasznált felszíni globálsugárzási adatokat. Köszönetemet fejezem ki Jörg Treantmann és munkatársai felé is, akik a műholdas mérésekkel kapcsolatosan felmerült kérdéseinkre adtak választ. Hálás vagyok a családomnak, barátaimnak, hogy mellettem álltak, ha a türelmemet és kitartásomat próbálta a dolgozatírásra kiadott idő.

Irodalomjegyzék

Algorithm Theoretical Baseline Document, Meteosat (MVIRI) Solar Irradiance and effective Cloud Albedo Climate Data Sets, MVIRI – HEL, The MAGIC SOL Method. EUMETSAT Satellite Application Facility on Climate Monitoring, 2013

Az EUMETSAT által műholdadatokból származtatott légköri és felszíni paraméterek. Országos Meteorológiai Szolgálat kiadványa, 2009

Bacsó, N., 1973: Bevezetés az agrometeorológiába. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 17.

Bartók, B., 2013: A globálsugárzás változásai Európában. Egyetemi doktori értekezés, Debrecen.

Bencze, P., Major, Gy., Mészáros, E., 1982: Fizikai meteorológia . Akadémia Kiadó, Budapest.

C. Bertrand, R. Stöckli, M. Journée: Validation of MSG derived surface incoming global short-wave radiation products over Belgium. EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, 19-24 September 2010, Cordoba, Spain.

CM SAF Cloud, Albedo, Radiation dataset, AVHRR-based, Edition 1 (CLARA-A1), Surface Radiation Products, Product User Manual. EUMETSAT Satellite Application Facility on Climate Monitoring, 2013

Czelnai, R., 2002: Bevezetés a meteorológiába I. – Légkörtani alapismeretek. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest. Javított kiadás, 83, 98-100.

Dávid, A., Takács, O., and Tiringér, Cs., 1990: Distribution of the Radiation Balance in Hungary in the Period of 1951-1980. Országos Meteorológiai Szolgálat Kiseb Kiadványai, No.66., Budapest.

Dobosi, Z. and Takács, L., 1959: Spatial distribution of the global radiation in Hungary. *Időjárás* 63, 82-84.

Felméry, L., 1974: A fotoszintetikusán aktív sugárzás mennyisége a tenyészidőszakban. *Időjárás* 78, 235-239.

Hunkár, M., 1984: Egyszerű számítási módszer a fotoszintetikusan aktív sugárzás átlagos vertikális profiljának meghatározására kukorica állományban. Időjárás 88, 139-144.

Hunkár, M., 1984: A napsugárzás és a növényállományok viszonya, különös tekintettel a fotoszintetikusan aktív sugárzás kukorica állományba történő behatolására és hasznosulására. Egyetemi doktori disszertáció, ELTE Meteorológia Tanszék.

M. Journée, R Müller, C. Bertrand: Towards a climatology of surface incoming solar radiation over the Benelux by merging long time – series of Meteosat – derived estimations and ground-based measurements. Proceedings of the EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Oslo, Norway, 2011.

Laszlo, I. and Pinker, R. T., 1993: Shortwave cloud-radiative forcing at the top of the atmosphere, at the surface and of the atmospheric column as determined from ISCCP C1 data. J. Geophys. Res. 98(D2), 2703-2713.

Major, Gy., 1976: A napsugárzás Magyarországon, 1958-1972. Országos Meteorológiai Szolgálat Hivatalos Kiadványa. Magyarország Éghajlata, 10. szám, Budapest.

Major, Gy., 1985: A napenergia hasznosítás meteorológiai megalapozása Magyarországon. Budapest.

Major, G., and Takács, O., 1985: Main characteristics of solar irradiation in Hungary. Int. Agrophysics 1, 67-73.

Meteosat (MVIRI) Solar Surface Irradiance and effective Cloud Albedo Climate Data Sets, Product User Manual. EUMETSAT Satellite Application Facility on Climate Monitoring, 2013

Márfy János, 2004: A Budapest feletti légoszlop sugárzásátbocsátásának vizsgálata az 1967-2002 időszakra különböző napsugárzási paraméterek segítségével. ELTE Meteorológiai Tanszék, Szakdolgozat.

Mészáros, E., 1982: A légkört alkotó gázok fizikai tulajdonságai. Fizikai meteorológia (szerk.: Mészáros Ernő). Akadémia Kiadó, Budapest. 26.

Opitz, A., 2001: Változó napállandó. Tudományos Diákköri Dolgozat, Debrecen.

Pinker, R.T. and Laszlo, I., 1992: Global distribution of photosynthetically active radiation as observed from satellites. Journal of Climate 5, 56-66.

Rimóczi-Paál, A., 2003: Radiation maps of Hungary. Időjárás 108, 195-208.

Sancho, J., M. Carmen Sánchez de Cos, Carlos Jiménez: Comparison of ground based global radiation measurements from AEMET radiation network with SIS (Surface Incoming Shortwave Radiation) from Climate Monitoring-SAF. EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, 3-7 September, 2012, Sopot, Poland.

Sancho, J. M., Rieso, J., Jiménez, C. S. C., M^a Carmen, Montero José, López María: Solar Radiation Atlas for Spain based on Surface Irradiance Data from EUMETSAT Climate Monitoring-SAF. EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, 3-7 September, 2012, Sopot, Poland.

Schmetz, J., 1989: Towards a surface radiation climatology: Retrieval of downward irradiances from Satellite. Atmos. Res. 23, 287-321.

Sellers, P.J., Rasool, S.I., and Bolle, H.J., 1990: A Review of Satellite Data Algorithms for Studies of the Land Surface. B. Am. Meteorol. Soc. 71, 1429-1447.

Szász, G., 1988: Agrometeorológia – általános és speciális. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 27-28. 34-36.

Takács, O., 1974: Spatial distribution of the global radiation using measured data in Hungary. Beszámolók az 1971-ben végzett tudományos kutatásokról. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 251-256.

Tar, K., 2006: Általános meteorológia. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen. 31-32.

Varga-Haszonits, Z., 1987: A napsugárzás. Agrometeorológiai információk és hasznosításuk. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 16-17.

Internetes hivatkozások

http://nimbus.elte.hu/~acs/pdf/OKTATAS/legkori_%20sugarzastan.pdf

<http://www.cmsaf.eu>

<http://www.eumetsat.int>

<http://www.wmo-sat.info>

<http://noaasis.noaa.gov>