

AZ EUMETSAT ÉGHAJLAT-MEGFIGYELŐ MUNKACSOPORTJÁNAK (CM SAF) TEVÉKENYSÉGE ÉS ALKALMAZÁSAI

ACTIVITY AND APPLICATIONS OF EUMETSAT SAF ON CLIMATE MONITORING (CM SAF)

Dobi Ildikó, Kerényi Judit

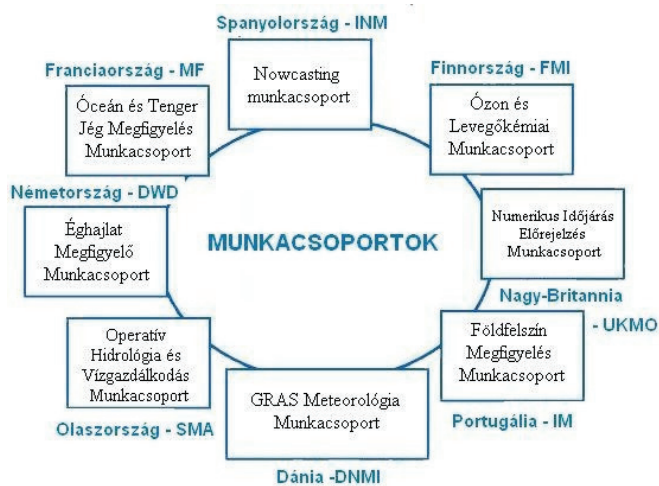
Országos Meteorológiai Szolgálat, 1024 Budapest Kitaibel Pál utca 1., *dobi.i@met.hu, kerenyi.j@met.hu*

Összefoglalás. Az időben és térben finom felbontású műholdas idősorok az előrejelző, éghajlati és hatásvizsgáló modellek fontos adatforrásává váltak. A cikk áttekintést nyújt a műholdas mérésekből származó klíma adatok és produktumok előállításáról, archiválásáról, és közzétételéről foglalkozó klíma munkacsoport (CM SAF) tevékenységeiről. Bemutatja, hogyan lehet elérni a publikus adatokat és a feldolgozásukhoz szükséges szabad felhasználású szoftvereket. A felszínre érkező rövidhullámú sugárzás (SIS) példáján keresztül néhány alkalmazás illusztrálja a napenergia hasznosítással összefüggő fejlesztéseket.

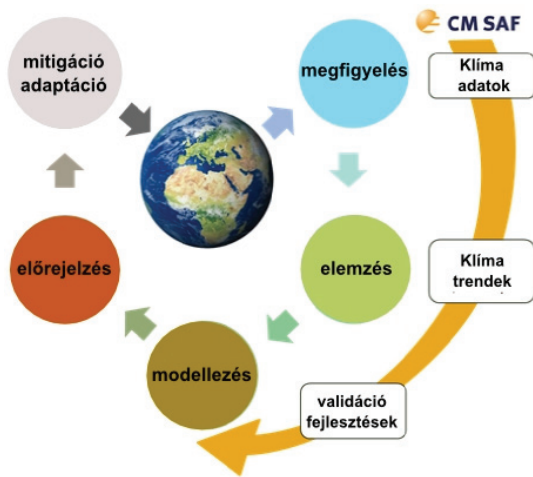
Abstract. High resolution satellite images has become an important source of forecasting-, climate- and impact assessment models. The paper provides an overview of CM SAF activities on satellite monitoring based climate data and products evaluation, archiving and dissemination processes. It summarizes shortly how to access the free data, products and tools. Some examples based on Surface Incoming Shortwave radiation (SIS) products illustrates the developments on solar energy utilization.

Az éghajlatváltozás példátlan összefogásra készíti a tudományt. A meteorológia működésének alapfeltétele a megfigyelő, modellező és előrejelző hálózatok összekapcsolódása. Az aktuális fejlesztési irányok szerint a szakmai nemzetközi szervezetek globális hálózatai sorra kapcsolódnak más tudományterületek rendszereihez. A ko-

Az európai hálózatnak kulcs szereplője az EUMETSAT¹. Nyolc olyan kiemelt témakör van, amely köré nemzetközi munkacsoportok (SAF-ok) algoritmusokat és szoftvereket fejlesztenek (1. ábra). Közülük az éghajlattal összefüggő fejlesztések a CM SAF² munkacsoportéhoz tartoznak. A CM SAF feladata az éghajlat megfigyelések tá-



1. ábra: Az EUMETSAT nemzetközi munkacsoportjai (SAF-ok), (Putsay és Kocsis, 2009)



2. ábra: A CM SAF filozófiája az éghajlati megfigyelésben és kutatásban betöltött szerepéről (http://www.cmsaf.eu/EN/Overview/Philosophy/Philosophy_node.html)

rabbinnál jóval komplexebb új hálózatok a légkör megfigyeléstől az éghajlati szolgáltatásokig minden rendelkezésre álló információt egységbe szervezve fogják segíteni a megelőzést és a felkészülést.

A műholdas megfigyeléseknek fontos szerepük van a monitoring fázisban, mivel a térben és időben nagyfelbontású adatok a különféle modellek input adatbázisául szolgálnak.

mogatása olyan hosszú, verifikált, nagy felbontású és jó minőségű adatsorokkal, melyek az éghajlat változékonyságának és változásának megértését, modellezését segítik (2. ábra). Emellett a klíma modellek verifikációs igényeit és a társ tudományok hatásvizsgáló modelljeit is kiszolgálják. Végül olyan információs bázis kifejlesztése a stratégiai cél, amely infrastruktúrák tervezésére

¹ EUMETSAT – Meteorológiai Műholdak Hasznosításának Európai Szervezetében (www.eumetsat.int)

² CM SAF – Éghajlati-megfigyelő Munkacsoport (http://www.cmsaf.eu/EN/Home/home_node.html)

vagy politikai döntésekhez egyaránt felhasználható. Ugyancsak lényeges szempont, hogy minden adat és a produktum a világhálón publikusan elérhető.

A CM SAF a hosszú távú fejlesztési céljait az éghajlati adatokat gyűjtő és felhasználó legfontosabb nemzetközi programokkal összehangoltan alakítják ki. Ezek közé tartozik a WMO³ három klíma programja: a tagállamok éghajlati adatait összesítő GCOS⁴ és a két klíma kutatási program a WCP⁵ és a WCRP⁶ műholdas adatigénye, továbbá a környezeti adatokat rendszerező GEO⁷ és az Európai Bizottság Föld Megfigyelési és Monitoring Programja, a Copernicus⁸. A GCOS-on keresztül az IPCC⁹ és a klímapolitikai testület a UNFCCC stratégiai törekvéseit is támogatják az éghajlati adatsorokkal és produktumokkal.

A CM SAF munkacsoport 1999-ben a német szolgálat (DWD) vezetésével kezdte meg a tevékenységét. Tagjai a holland, az angol, a belga, a svájci, a svéd és a finn meteorológiai szolgálatok. Az Európai Középtávú Előrejelző Központ (www.ecmwf.int) közreműködik az operatív produktumok előállításában. A program 3 és 5 éves szakaszokból épül fel, jelenleg a 2012-2017 időszakot lefedő, a második fejlesztési és operatív fázisban tart. A csapat gondoskodik az adatminőség és produktum fejlesztésekről, valamint az archiválás és elosztási munkafázisok folyamatos működtetéséről.

A CM SAF legfontosabb terméke a klíma adatbázis, amely a GCOS (GCOS 138) által meghatározott, a globális energia és víz ciklus tanulmányozását megalapozó meteorológiai paramétereket (ECV)¹⁰ foglalja magába. A produktumok két csoportja különítendő el. A környezeti adatok¹¹ (EDR) melyek a mérés követő néhány hónapon belül „Operatív Products” címszó alatt válnak hozzáférhetővé. Fontos megjegyezni, hogy ezeken az adatokon csak gyors eljárásokkal elsődleges kalibrációt végeznek, ezért nem alkalmasak trend vizsgálatokra.

A másik csoport átlagosan két évvel a mérés után válik hozzáférhetővé. A „Climate Data Records” (CDR) megfelelnek az éghajlati idősorok elé állított szigorú kritériumoknak. Ismert, hogy az éghajlat megbízható statisztikai vizsgálatához hosszú idősorok szükségesek, ami a WMO ajánlása szerint legalább 30 évnyi megfigyelést jelent. Az első *Meteosat* műholdat 1977-ben állították pályára, így több adatsorra már elméletileg teljesül ez a kritérium.

A kalibráció és a homogenizálás hosszadalmas, összetett feladat, amelyet reprezentatív felszíni mérésekkel történő verifikációk felhasználásával végeznek a szakértők. A minőségileg ellenőrzött klíma adatsorok egyesítik a szárazföldi nagy pontosságú ám sporadikus pontszerű mérések és a műholdakról végzett háromdimenziós, időben és térben nagy felbontású, de kevésbé pontos mérési technikák előnyeit.

A mérések két geostacionárius (MFG, MSG) és öt poláris pályán mozgó (METOP, az amerikai NOAA, Aqua, Terra és DMSP) műholdcsalád kilenc műszerének az adatait használják fel. Mint ismeretes a geostacionárius műholdak átlagosan 35 786 km magasságban keringenek, és 15 percenként áll rendelkezésre felvétel. A poláris műholdak pályája lényegesen alacsonyabb (850 km), adott hely felett naponta jellemzően két alkalommal haladnak át.

A munkacsoport produktumai alapvetően négy csoportba sorolhatók (*Putsay és Kocsis*, 2009). A felszíni és a légkör tetején lévő sugárzási komponensek együtt a sugárzási egyenleg összes paraméterét tartalmazzák, készülnek továbbá különféle nedvesség és felhőzet karakterisztikák.

Az adathozzáférés a nyilvános Produktum Navigátor (Web User Interface, www.wui.cmsaf.eu) felhasználóbarát felületén keresztül lehetséges. Az említett regisztrációt követően bárki megrendelheti a számításaihoz szükséges operatív (EDR), vagy klíma (CDO) adatokat. Jelenleg 41 produktum közül lehet válogatni, melyek különféle hosszúságú időszakokat fednek le. A leghosszabb (CLARA-A1) adatbázis jelenleg 28 évre tartalmaz sorokat. Szintén produktumtól függően hat féle idő léptékben (napi, heti, pentád, havi pillanatnyi és órás) adatokat lehet lekérni. A műhold pályája és a szenzora meghatározza a tíz féle térbeli kivágatot, ez pedig megszabja mekkora a produktum térbeli felbontása, jellemzően 3 és 90 km közötti érték. Minden produktum elkészül *netCDF* formátumban.

1. táblázat: A klíma adatbázisban rendelkezésre álló havi SIS produktumok

Műhold	Szenzor	Térbeli felbontás	Időszak	Időbeli felbontás	Adatbázis
MFG	MVIRI	0,03 ⁰ *0,3 ⁰	1983.01.01-2005.12.31	órás, napi, havi	MAGICSOL
MSG	STA/GERB	0,05 ⁰ *0,05 ⁰	2006.01.01-2011.12.31	napi, havi	TOA
NOAA	AVHRR	0,25 ⁰ *0,25 ⁰	1982.01.01-2009.12.31	napi, havi	CLARA-A1

A CM SAF sajátossága, hogy az adatok feldolgozását és megjelenítését nyílt forráskódú szoftverek támogatják (pl. CDO és a statisztikai számításokra kifejlesztett „R” programcsomag, letöltés www.cmsaf.eu/tools), a munkacsoport szakértői által kidolgozott szkriptek úgyszintén publikusak. Az EUMETSAT oktatási felületén (<http://training.eumetsat.int/>) keresztül érhető el a CM-SAF közösségi oldala, ahol videók és szakanyagok segítik az érdeklődőket az alkalmazásban, egyéni kérdésekre a fórumon lehet választ kapni. A tréning anyagok bizonyítják, hogy a globálislól a lokális skáláig az oktatásban, az éghajlatkutatásban, és operatív előrejelzésben is sokrétűen felhasználhatóak az adatok. A WUI használatát értékelő statisztikák szerint a legtöbben a globálsugárzással kapcsolatos feldolgozásokat végeznek. Az alábbiakban erre mutatunk be néhány példát.

A felszínre érkező rövidhullámú sugárzás (SIS) idősorokat az első generációs *Meteosat* műholdak (MFG) MVIRI, a második generációs műholdak (MSG) SEVIRI és GERB érzékelői, valamint a (NOAA) AVHRR mérésekből állítják elő az 1. táblázatban látható időbeli, és térbeli felbontásban.

³ WMO – Meteorológiai Világszervezet (www.wmo.int)

⁴ GCOS – Globális Klíma Megfigyelési Rendszer

⁵ WCP – Világ Klíma Program

⁶ WCRP – Világ Klíma Kutatási Program

⁷ GEO – Föld Megfigyelési Csoport

⁸ korábbi GMES (Global Monitoring for Environment and Security)

⁹ IPCC – Klímaváltozás Kormányközi Testület

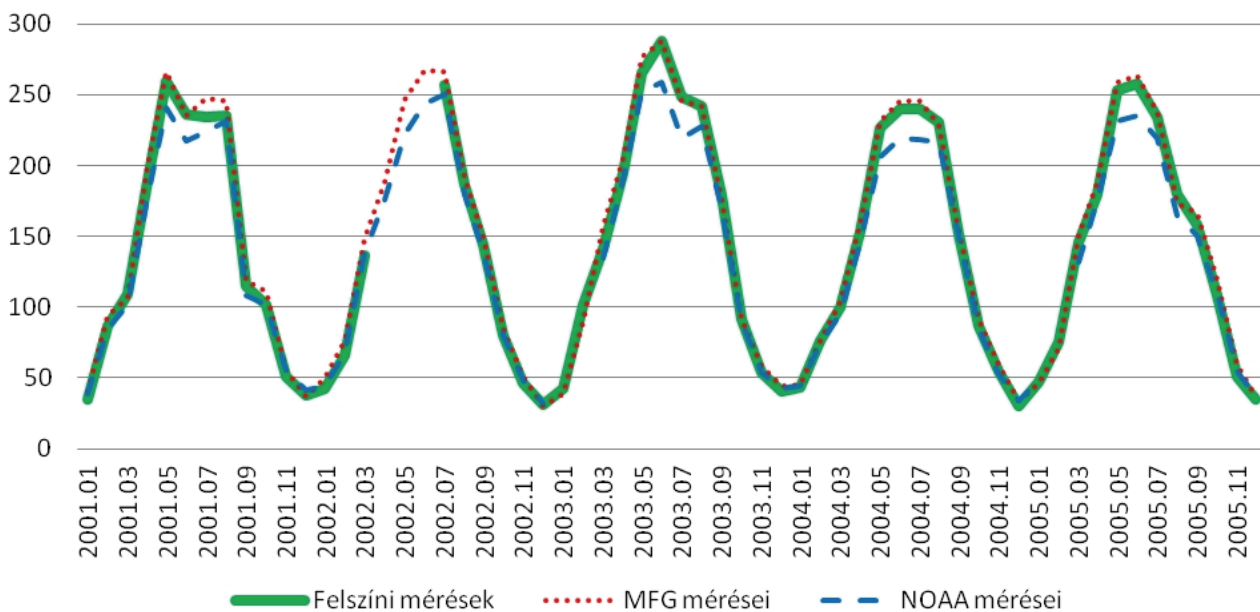
¹⁰ ECV – Essential Climate Variables

¹¹ EDR – Environmental Data Records

A felszíni mérések nyilvánvalóan pontosabbak, perces időbeli felbontásban is rendelkezésre állnak, azonban előfordulhat, hogy a mérés során az érzékelőt szennyeződés, pára vagy hó borítja, esetenként tereptárgyak árnyékolása torzíthatja az adatot (JRC). A területi interpoláció szintén tartalmazhat becslési hibákat.

ját nem reprezentálja a mérés. A harmadik ok az alacsony napállás, különösen a magas földrajzi szélességeken okozhat jelentős hibát.

A felszíni és műholdas adatok összehasonlítását Pátkainé (2014) vizsgálatában az OMSZ nyolc legmegbízhatóbb globálsugárzás adatsor (Debrecen, Szeged, Eger, Kec-



3. ábra: Felszíni és műholdas SIS havi értékek különbsége Budapest-Lőrincre



4. ábra: MFG és NOAA mérésekből származó SIS havi átlagok eltérései 2001 és 2005 között

A műholdak érzékelői a sugárzásnak a világűrbe visszavert részét érzékelik. A paramétereket érzékelőktől függően eltérő koncepciójú algoritmusokkal határozzák meg, melyek részletes leírása és verifikációja az adatlekerő felületen érhető el. A műholdas távérzékelés során a három legjellemzőbb hibaforrás a hóborítottság, mivel a fényességi értékek alapján a havas területeket felhőnek érzékeli a műszer. Hegyvidéki területeknél adott pixelen belül eltérő magasságú helyekre jutó sugárzás kontraszt-

kemét K-puszta, Budapest-Lőrinc, Nagykanizsa, Győr és Baja) felhasználásával végezte el. A talajközeli mérésekhez viszonyítva a geostacionárius műholdnál szignifikáns felülbecslést, a kvázipoláris műholdnál alulbecslést figyelt meg (3. ábra).

A magyarországi pixelekre vonatkozóan az MFG és NOAA műholdas méréseiből származó havi SIS adatok eltérése a nyári hónapokban jellemzően 6–30 W/m² kö-

zötti értéknek adódott. A különbségre a vizsgált 2000 január és 2005 december időben enyhén növekedő trend jellemző (4. ábra). Az MFG felülbecslésének és a NOAA alulbecslésének a szakirodalmak szerint több oka lehet. Az MFG validációs tesztjei a teljes (23 évnnyi) adatsorra +8,19 W/m² átlagos abszolút hibát (MAB) mutatnak a felszíni (GEBA) adatbázishoz képest.

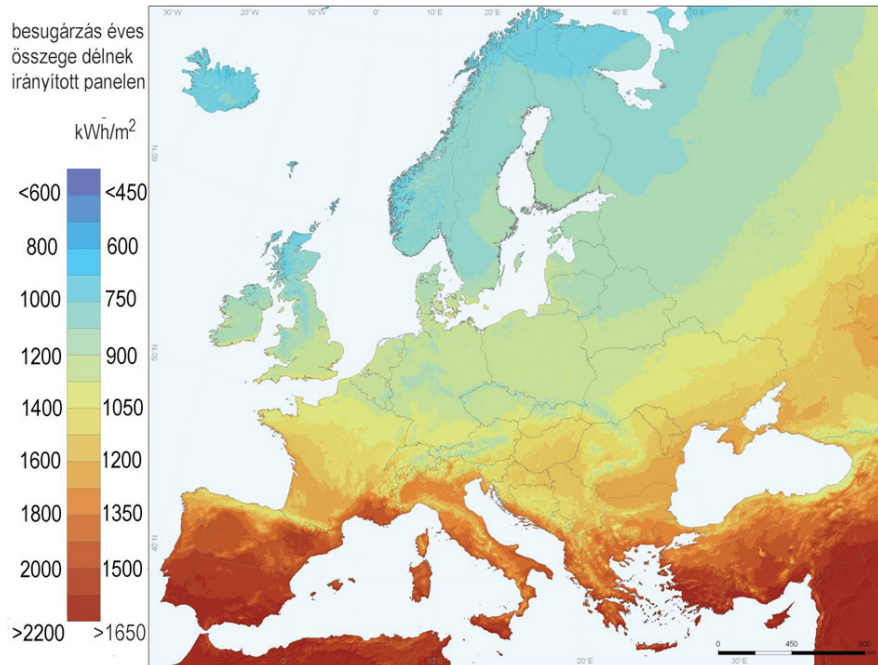
A pozitív eltérést az aeroszol koncentrációidőbeli változásának elhanyagolása, és a műhold pixel és a pontszerű mérés közötti illesztési hiba válthatja ki (Sanches-Lorenzo et al., 2013). Másik oldalról a NOAA műholdak napi négy átvonulása kevés az átlagképzéshez, emellett gyakoriak az adathiányok, mindez a kvázipoláris műhold adatokból származtatott trend becslések bizonytalanságát növeli. Emellett a verifikációs vizsgálatok szerint a felhőzet mennyisége túlbecsült

(Karlsson et al., 2008), ebből következik, hogy a rövidhullámú beeső sugárzás értékei alulbecsültek. A gyakorlatban a CM-SAF SIS alkalmazások többsége az időben nagy felbontású, geostacionárius műholdak infravörös és látható méréseit használja fel.

A hibák csökkentése érdekében a műholdképeket a jó minőségű felszíni mérések felhasználásával korrigálják. A JRC elemzése szerint a korrekciót követően az átlagos eltérés 5%-on belül marad. A minőségi műholdas sugárzás adatokat a napenergiát hasznosító rendszerek helyki-választáshoz, költség haszon becsléséhez, monitoring és kontroll célokra alkalmazzák. Évről évre növekszik a napenergia szolgáltatásokat nyújtó szabad felhasználású programcsomagok száma. A Meteosat mérések alapján előállított HelioClim adatbázist használja fel például a SoDA projekt (<http://www.soda-is.com/eng/index.html>) A linken a sugárzási térképek között megtalálható az Európai Bizottság (DG-XII) felkérésére 2000-ben publikált Európai Nap Sugárzási Atlasza (ESRA). Ez utóbbi 691 felszíni állomás (1981–1990) adatai alapján készült havi globálisugárzás térképek sorozatát tartalmazza. A fotovillamos rendszerek elterjedésének támogatására az Európai Kutatási Központ PVGIS platformot hozott létre (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>). A CM-SAF Meteosat adatokból Európa (Áfrika és Dél-Nyugat Ázsia) minden

országára külön-külön publikusan elérhetőek a vízszintes és az optimálisan ferde felületre jutó sugárzás értékek térképes formában (5. ábra). Emellett az interaktív felületen egyedi és hálózatra csatlakozó PV eszközök paramétereinek a beállításával teljesítménybecsléseket számol a szoftver.

A globálisugárzás európai trendjeit elemző disszertáció (Bartók, 2014) eredményei szerint Közép Európa térségére a 2050-2075 időszakra (az ECHAM, GIS-ER és MRI) klíma modellek egyaránt jelentős növekedést prognosztizálnak. A napenergia potenciál növekedése hozzájárul a megtérülési idő rövidüléséhez, ez pedig minden bizonynyal elősegíti a napenergiát hasznosító berendezések elterjedését. Mindez szükségessé teszi a témában a további kutatást, fejlesztést, a hazai igények meteorológiai kiszolgálásának a kidolgozását.



5. ábra: Fotovillamos napenergia potenciál az európai országokban
(http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_cmsaf_opt/PVGIS_EU_201204_publication.png)

Irodalom

- Bartók, B., 2013: A globálisugárzás változásai Európában. *PhD értekezés*
- Karlsson, K-G., Willén, U., Jones, C. and Wyser, K., 2008: Evaluation of regional cloud climate simulations over Scandinavia using a 10-year NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer cloud climatology. *Journal of Geophysical Research* 113, 323-356
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2007JD008658/pdf>
- ESRA, 2000: European Solar Radiation Atlas
- JRC: PVGIS radiation databases (http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/databasehelp_en.html)
- Putsay, M. és Kovács, Zs. (szerk.), 2009: Az EUMETSAT által műholdadatból származtatott légköri és felszíni paraméterek. *OMSZ kiadvány*
- Pátkainé Rusznyák, R., 2014: EUMETSAT CM-SAF sugárzás produktumok validálása felszíni globálisugárzás adatokkal. *MsC szakdolgozat*
- Sanches-Lorenzo, P., Trentmann, J. and Wild, M., 2013: Validation of monthly surface solar radiation over Europe derived from the CM SAF dataset against homogenized GEBA series (1983-2005) *AIP Conference Proceedings*, 1531 (432).