

GERHÁTNE KERÉNYI JUDIT

A műhold-meteorológia hazai története 1991-től napjainkig

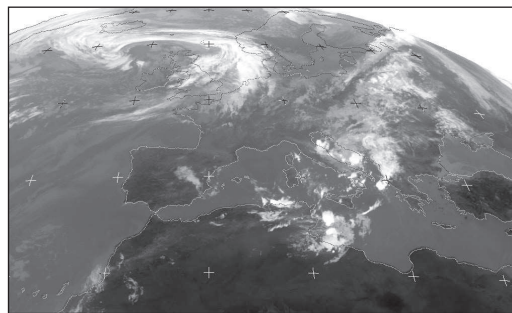
Tánczer Tibor „A műhold-meteorológia hazai története (1961–1990)” cikkében [Tánczer, 2014] részletesen olvashattunk arról, hogy az Országos Meteorológiai Szolgálatnál (OMSZ) milyen fejlődésen ment keresztül a műhold-meteorológia az 1961–1990 közötti években, mind a műszaki fejlesztés terén, mind szakmai szempontból. Ebben a cikkben az ezt követő időszak eseményeiről nyújtunk rövid áttekintést.

Az EUMETSAT (Európai Meteorológiai Műhold-hasznosítási Szervezet) az Európai Űrügynökséggel (ESA) együttműködve közösen irányítja az európai műholdas meteorológiai programot. Az ESA hatásköre maguknak az űreszközöknek a kifejlesztése, elkészítése és felbocsátása, az EUMETSAT feladata az operatíván működő meteorológiai műholdak európai rendszerének megtervezése, felépítése, fenntartása és hasznosítása. Célja a meteorológiai műholdas adatokat a meteorológia, az időjárás előrejelzése, a klímakutatás és a környezetvédelem szolgálatába állítása.

A műholdas adatok vétele

A digitális METEOSAT (EUMETSAT által működtetett) és az amerikai NOAA adatok vétele az 1980-as évek végén indult el az OMSZ-nál de ezen adatok folyamatos archiválása a Műholdas Kutató Laboratórium – mint külön szervezeti egység az OMSZ-on belül – létrejöttével szinte egy időben indult el.

A geostacionárius METEOSAT műhold negyedóránként 3 spektrális tartományban sugározta az adatokat a Föld ugyanazon területéről. A kvázipoláris NOAA műhold 5 spektrális tartományban mér. Egy NOAA műhold azonos terület felett naponta kétszer halad át. Rendszerint egyszerre 2 műhold kering a Föld körül. E műholdképek a felbontása a műhold alatt egy km, míg a METEOSAT műholdnál ez 3 km. Archivált METEOSAT kép 1991. szeptember 16 óta, NOAA kép esetén 1991. december 13. óta van (1., 2. ábra). A műholdadatokat archiválása, gyűjtése ekkor még igen nehézkes volt. Az adatokat vétel után floppyra mentettük (1 floppyra 1 kép fért fel), majd egy másik gépre másoltuk fel, ahol a feldolgozások folytak. A floppyval való átközlés miatt a METEOSAT és NOAA képekből pont akkora kivágatokat készítettünk,



1. ábra. Első METEOSAT infrakép (1991. szeptember 16.)

tünk, amekkora még éppen elért a lemezen, így születtek meg a képméretek. Ekkor még csak naponta négy METEOSAT képet archiváltunk. A NOAA képekből eleinte rendszertelenül, majd 1992 júniusától már napi két képet mentettünk. A NOAA képeket eleinte nem tudtuk teljes felbontásban elmenteni, 10 bites pixel értékekből csak 8 bitnyit tároltunk el, a teljes adatmentésre következő évben tértünk át.

1992-ben Nemzetközi Űr Év keretében az évente megrendezésre kerülő Meteorológiai Tudományos Napok témája a műhold-meteorológia volt, ahol számos előadásban nyújtottunk betekintést a digitális műholdas adatok feldolgozásáról.

Még szintén 1992-ben Közép-európai Kezdeményezés tudományos-technológiai együttműködésének a keretében a műhold-meteorológia témával foglalkozó szakemberek számára májusban munkaiülést tartottunk Budapesten.

A technika gyors fejlődésével a METEOSAT képeket 1994 novemberétől már félóránként gyűjtöttük, először DAT kazettára, majd később CD-re. Ekkor már

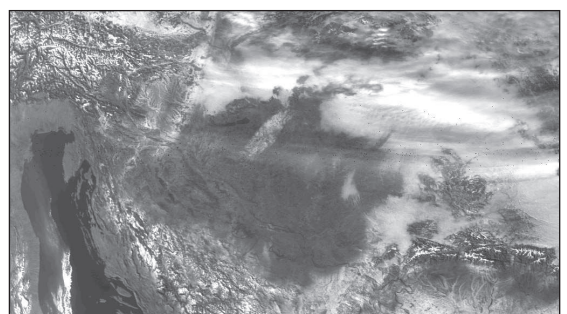
az OMSZ dolgozói számára való időben (real-time) elérhetővé tettük a digitális műholdképeket az OMSZ belső honlapján.

1999-ben nagy előrelépés történt, ugyanis ekkor csatlakoztunk az EUMETSAT-hoz, társult tagként.

2000 decemberében az EUMETSAT-tal közösen tanfolyamot szerveztünk a kelet-közép-európai országok számára. A tanfolyam témája az EUMETSAT által hamarosan működtetett új generációs

METEOSAT műhold és műholdadatból származtatható produktumok ismertetése volt.

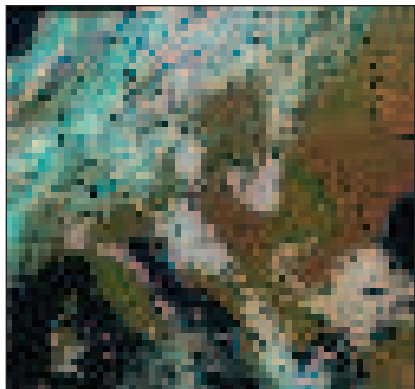
2001 áprilisában az analóg METEOSAT képek operatív használata befejeződött az OMSZ életében. Az előrejelzők számára kidolgozott HAWK (Hungarian Advanced



2. ábra. Első NOAA AVHRR látható kép (1991. december 13.)

WorKstation) megjelenítő rendszerben a többi meteorológia adatokkal együtt (felszíni mérések, radar, numerikus modell eredmények stb.) már a műholdas mérések is megjelentek az általunk kidolgozott programoknak köszönhetően.

2002 augusztusában lőtték fel az első, második generációs METEOSAT (MSG) műholdat. A második generációs műhol-



3. ábra. MSG képekből készített kompozit kép

ak adatainak vétele, feldolgozása számítástechnikai kihívást jelentett, kb. 20-szor annyi adatot kellett kezelni. E műholdakra elhelyezett SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager, optikai és infravörös-képalkotó berendezés) műszer már 12 spektrális tartományban sugározza az adatokat, 15 percnként. Ezekben a műholdakon a SEVIRI mellett a GERB (Geostationary Earth Radiation Budget, sugárzási egyenleget mérő berendezés) műszert is elhelyezték. E műszer a Föld sugárzási egyenlegének mérésére alkalmas. Az új műholdnál egy meghibásodás miatt, az adatok továbbítása nem közvetlenül a műholdról történt, hanem átkerült egy távközlési műholdra (ún. EUMETCast adás). Az adatok továbbítása továbbra is távközlési műholdakon keresztül történik, mivel e módszer sokkal jobban bevált, mintha magáról a műholdokról továbbítanák az adatokat. Az operatív MSG vétel és feldolgozás 2004. január 29-én indult el az OMSZ-nál. Az előrejelzők számára így már időben sűrűbben, jobb térbeli felbontásban tudunk képeket, információkat küldeni. A régi, első generációs METEOSAT képek vételét 2006 júniusában állítottuk le.

Az EUMETSAT 2006 októberében lőtte fel az első kvázipoláris műholdat (METOP-A), melyre számos szondázó berendezést helyeztek el. Így a NOAA műholdakkal együtt már sokkal sűrűbben állnak rendelkezésre nagy felbontású meteorológiai műholdképek Magyarország területére. Mind a METOP, mind a NOAA adatok vétele is az EUMETCast adásán keresztül történik.

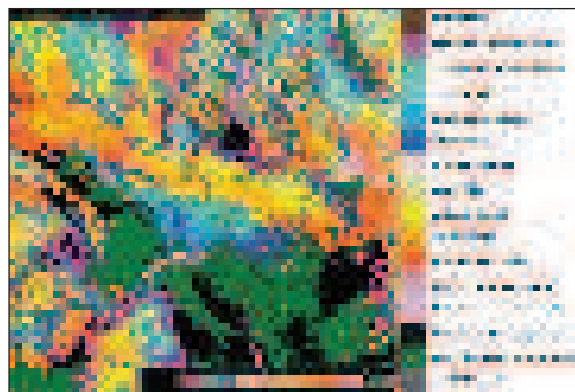
Az EUMETCast adásban az MSG képek mellett számos más műholdas és nem műholdas meteorológiai adat vétele is lehetséges.

Az EUMETSAT nemcsak a nyers adatokat sugározza, hanem származtatott paramétereket (produktumokat) is közzétesz az EUMETCast rendszeren keresztül. Az adatok feldolgozására az EUMETSAT munkacsoportokat (SAF,

Satellite Application Facility) hozott létre, illetve az EUMETSAT dolgozói is előállítanak, és a tagországoknak közreadnak produktumokat. Mi is veszünk operatíván többféle produktumot az EUMETCast rendszeren keresztül.

Tíz év elteltével újabb nagy lépés történt: Magyarország 2009-ben lett teljes jogú tagja az EUMETSAT-nak, így a szervezet döntéshozó, illetve tanácsadó testületeiben teljes szavazati joggal vesz részt, valamint korlátlanul hozzáfér a szervezet műholdjainak adataihoz közszolgálati, illetve tudományos célra. A teljes jogú tagsággal lehetőség nyílik arra is, hogy magyar cégek részt vegyenek a kutatásokban, fejlesztésekben, valamint a szervezet által kiírt ipari pályázatokban. Az ország képviselőt az EUMETSAT-ban hivatalosan az OMSZ látja el.

Ugyanebben az évben, 2009-ben lőtték fel a második, majd 2012-ben a harmadik MSG műholdat. A második MSG műhold operatív üzembeállítása után a felszabaduló első MSG műhold Európa térségéről elkezdte az 5 perces képek operatív adását követően azok vételét, feldolgozását és továbbítását heteken belül mi is megkezdtuk. Szintén 2012-ben indították útjára a második METOP műholdat.



4. ábra. METEOSAT képeken alapuló felhőosztályozási kép

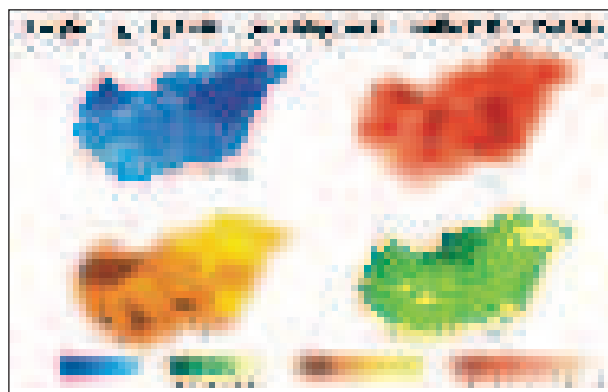
Szakmai tevékenység

Az előzőekben arról számoltunk be, hogy milyen fejlődéseken mentek keresztül a meteorológiai műholdak, valamint hogy az OMSZ hogyan tudott lépést tartani a műszaki fejlesztésekben,

a digitális műholdas adatok vételében. Ahogy lehetőségünk adódott az adatok vételére, vele párhuzamosan megindultak azon fejlesztések, melyek lehetővé tették, hogy e digitális adatokból származtatott meteorológiai adatokat, produktumokat állítsunk elő az előrejelzők, az éghajlatkutatók, és más szakemberek részére. A következő részben az ilyen irányú fejlesztésekről, kidolgozott módszerekről szólnunk.

Első lépés - a képek feldolgozása, megjelenítése

Ahogy a digitális képek vétele lehetővé vált, első és legfontosabb feladatunk



5. ábra. Sugárzási egyenleg havi összegének átlagos területi eloszlása 1992 és 1996 között (január, április, július, október)

olyan programok kidolgozása volt, melyek alkalmasak a digitális műholdképek kalibrálására, képi, térképvetületi megjelenítésére. Ahogy újabb és újabb adatok jelentek meg, úgy kellett bővítenünk ezeket a programokat, illetve az egyre bővülő adat-szolgáltatást figyelembe véve újabb programokat/módszereket kellett kidolgozni. Itt kell megemlíteni pl. a különböző hullámhossz-tartományban mért műholdképekből előállított kompozit képeket is, amiket egyre szélesebb körben alkalmaznak. A kompozit képek (3. ábra) több sávban készült képek együttes megjelenítésén alapulnak.

[Gerhátné Kerényi Judit, 2007] Az MSG képekből számos kompozit képet állítottunk elő, melyek többek között bizonyos meteorológiai elem kiemelésére is alkalmasak (nappali, mikrofizikai, éjszakai, zivatar, por, vulkán, légtömeg, hó, köd).

Felhőzeti információk meghatározása

Ahhoz, hogy a felhőzetről információt kaphassunk először is külön kell választanunk a felhős és derült területeket (pixeleket). Ehhez felhasználjuk a látható (VIS) és az infravörös (IR) tartományban készült képeket. Az IR képekből kalibráció után fényességi hőmérséklet értékeket kapunk. Vastag felhő esetén a fényességi hőmérséklet megegyezik a felhőtető hőmérséklettel, vékony felhő esetén további számítások szükségesek. A felhős pixelekre vonatkozó hőmérsékleti értékekből előre jelzett hőmérsékleti és nedvességi profilok segítségével már meg tudtuk határozni a felhők magasságát [Diószeghy, 2001].

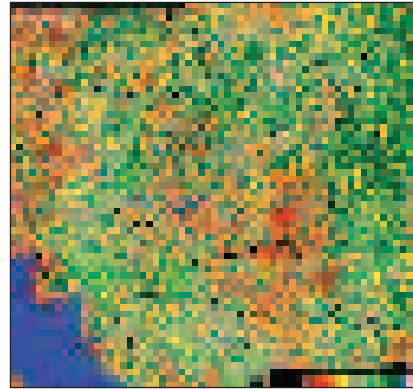
A különböző felhőtípusok (alacsony, magas, réteg, vagy gomolyos stb.) meghatározására elsőként a Tanczer Tibor által kidolgozott küszöbtechnikán alapuló felhőosztályozást (mely a METEOSAT VIS és IR képek felhasználásán alapszik) fejlesztettük tovább, ami statisztikai és küszöbértékes módszerek kombinációján alapult (4. ábra). NOAA AVHRR képekre más algoritmus alapján történt a felhődetektálás, hiszen itt több spektrális sávban mért képek állnak rendelkezésre, így jobb felhőazonosítást tesz lehetővé. A felhős és derült pixelek szétválasztásán kívül lehetőség volt az éjszakai köd és az alacsony szintű rétegfelhő külön felismerésére, ami az előrejelzőknek nagy segítséget nyújt.

Az EUMETSAT 1997-ben létrehozott egy nemzetközi kutatócsoportot (NWC SAF) nowcastingot segítő műholdas produktumok előállítására. Ez a munkacsoport folyamatosan fejleszt két programcsomagot: egyet a MSG adatok feldolgozására és egy másikat a poláris műholdak adatainak feldolgozására. Az MSG képek feldolgozására készült SAFNWC/MSG programnak a korai fejlesztésében részt vettünk egy „Visiting Scientist” projekt keretében. Az MSG képek operatív vételének elindulása óta a programcsomag (újabb és újabb verziója) operatíván fut az OMSZ-ban, és a megbízható produktumokat (felhőtípus, felhőtető-hőmérséklet, -nyomás, -magasság, csapadék hullás valószínűsége, konvektív felhőből hulló csapadék intenzitása, szélvektor, automatikus műholdkép-interpretáció, gyorsan fejlődő zivatarok) továbbítjuk az előrejelzők felé, melyeket a HAWK-ban tudnak megnézni.

Sugárzási mérleg komponenseinek meghatározása

A meteorológiai műholdak megjelenése lehetővé tette, hogy a néhány pontszerű méréssel szemben sokkal részletesebb sugár-

zási térképeket állítsunk elő. [Rimócziné Paál Anikó, 2001] Egy viszonylag egyszerű módszert fejlesztettünk ki, mellyel METEOSAT adatok, sugárzásátviteli modell és empirikus formulák felhasználá-



6. ábra. Vegetációs index anomália kép NOAA AVHRR képek alapján (2012. július 1–10.)

sával ki tudtuk számolni a felszín sugárzásmérlegének komponenseit 10x10 km-es felbontásban. E módszert először Magyarország területére dolgoztuk ki, majd később kiterjesztettük egész Európa térségére is, melyhez a NOAA AVHRR adatokat használtuk fel. Az adatok folyamatos gyűjtésével később havi és éves átlag térképeket is készítettünk, melyek az éghajlatkutatók és energetikusok számára jelentenek segítséget. Ehhez kapcsolódóan részt vettünk egy EU5 projektben, melynek célja a teljes Földet lefedő adatbázis létrehozása volt napsugárzási adatok környezetgazdálkodásban való felhasználásának elősegítése céljából. Az év minden napjára előállítottuk hazánk 5 éves, éghajlatilag reprezentatív havi globálsugárzás- és sugárzásiegyenleg-térképeit az 1992–1996-os időszak METEOSAT képeinek alapján készült pillanatnyi sugárzási térképből (5. ábra).

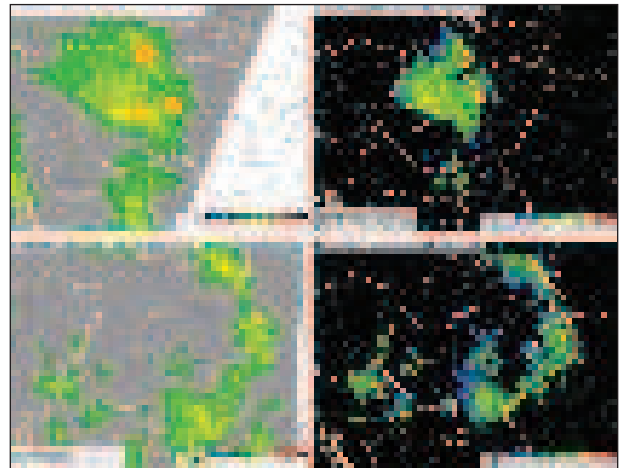
E témában az EUMETSAT szintén létrehozott egy munkacsoportot (SAF on Climate Monitoring), mely különböző algoritmusokat dolgozott ki a sugárzási komponensek meghatározására, valamint a sugárzás-átvitelnél fontos szerepet játszó felhőzet karakterisztikákra, vízgőz- és nedvességprofilokra. Az így elkészült

hosszú távú, verifikált adatok mindenki számára elérhetők. Mi is elkezdtük ezen adatok verifikálást, későbbiekben pedig célunk ezen adatok klimatológiai célú alkalmazása.

Felszíni paraméterek

A NOAA munkatársaival együttműködve 1994-ben elindult egy magyar-amerikai nemzetközi projekt (MAKA), melynek keretében derült időben a felszínhőmérséklet és albedó meghatározása volt a célunk [Putsay, 2001], repülőgépes mérések és műholdadatok egyidejű felhasználásával. Ez a projekt 4 évig tartott, majd még újabb 4 évre sikerült a projektet elnyerni. Ennek keretében kezdtünk el foglalkozni a talajfelszín hőmérsékletének meghatározásával először METEOSAT képek, később pedig a nagyobb térbeli felbontású NOAA AVHRR képek alapján. Későbbiekben a talajfelszín-hőmérséklet alapján evapotranspirációs térképeket határoztunk meg. A felszíni párolgás meghatározása céljából repülőgépes méréseket is folytattunk.

Szintén e projekt keretében vizsgáltuk a növényborítottság (vegetációs index) minél pontosabb meghatározásához a légköri



7. ábra. H-SAF projekt keretében kidolgozott csapadék produktum összehasonlító vizsgálata radarmérésekkel

szórás és elnyelés okozta hatásokat. Erre egy ún. légköri korrekciós módszert dolgoztunk ki. A vegetációs index felhasználásával elindultak a próbálkozások búzára és kukoricára vonatkozó termésbecslésre. A MAKA projekt keretében kapott 1985 és 1998 közti időszakra vonatkozó vegetációs index térkép alapján, valamint a Statisztikai Hivatal által rendelkezésre bocsátott termésmennyiségből statisztikai számításokkal próbáltuk előre megadni a várható termést az aktuális évben. Az azóta összegyűjtött hosszú adatsor alapján vizsgálni

kezdtek a növényborítottság anomália térképek alkalmazhatóságát aszálydetektálás céljából (6. ábra).

Vertikális profilok, illetve nyomanyagok mennyiségének vizsgálata

A műholdas adatok numerikus modellekben történő felhasználásának hasznát az 1980-as évek végén kezdték vizsgálni. A NOAA műholdakra elhelyezett szondázó berendezések célja a légköri paraméterek meghatározása különböző magasságban. Ezen adatok (TOVS/ATOVS) feldolgozására kidolgozott nemzetközi programcsomagokat kezdtük el mi is használni hőmérsékleti és nedvességi profil, felhőtető hőmérséklet, felhőborítottság, légoszlop teljes ózontartalmának meghatározására, majd ezeket az adatokat használtuk fel az OMSZ által alkalmazott numerikus modellekben [Randriamampianina, 2001]. A francia kollégákkal együttműködve a programcsomag ózonszondázási részét továbbfejlesztettük, felhasználva a műholdas spektrális radianciákat és felszínről végzett ózonszondázásokat. Az OMSZ-nál folyó numerikus fejlesztéseknek köszönhetően jelenleg már közvetlenül az ATOVS méréseket továbbítjuk, és ezen adatokat asszimilálják az alkalmazott numerikus modellekben. E témához kapcsolódóan már 1996-ban elkezdtünk foglalkozni a GPS adatok meteorológiai alkalmazásával is, ami akkor még elég nagy újdonság volt. A függőleges légoszlopban lévő vízgőz mennyiségét, illetve a vízgőz mennyiségének a magasság szerinti változását számítottuk a GPS adatokból. Az így meghatározott kihullható vízmennyiséget összevetettük rádiószondás mérésekkel, NOAA TOVS-os mérésekkel, valamint numerikus modell outputokkal. Sajnos az ez irányú kutatások a későbbiekben megszakadtak.

2000 szeptemberében Budapesten rendezték meg a 11. Nemzetközi TOVS konferenciát, melyen 94 szakember vett részt a világ minden tájáról.

Amikor az EUMETSAT által létrehozott Ózon és Levegőkémiai Munkacsoport (Ózon SAF) produktumai már elérhetővé váltak elsőként verifikáltuk felszíni méréseinkkel, majd napi összozon térképeket állítottunk elő, melyek azóta folyamatosan megtekinthetők az OMSZ honlapján.

Csapadébecslés, hidrológiai alkalmazás, zivatarvizsgálat

Amikor már lehetőségünk volt az időben sűrűbb digitális METEOSAT adatok vételére, elkezdtük a zivatarfelhők időbeli változásának vizsgálatát összevetve radar adatokkal. Ehhez kapcsolódóan sugárzásátviteli számításokkal

vizsgáltuk az alacsonyszintű rétegfelhők reflektivitásának érzékenységét a cseppméret eloszlásra. Felhő optikai vastagságot és átlagos cseppméretet számoltunk NOAA/AVHRR adatokból. E témakörben végzett vizsgálat elismerésenként Csizsár Iván kollégánk két nemzetközi elismerésben részesült, egyrészt a COSPAR Zeldovich-díját, illetve WMO fiatal kutatóknak kiadott díját nyerte el.

A 2002-ben induló nemzetközi projekt (NATO Science for Peace project) keretében román és amerikai kollégákkal együtt célunk egy programrendszer és GIS adatbázis létrehozása volt a Körösök vidékére árvízdetektálás céljából. Nagyfelbontású műholdképek (ASTER) alapján felszínborítottsági térképet készítettünk a vizsgált területre. Az árvíz detektálása MODIS képek alapján történt.

Az EUMETSAT 2002-ben egy hidrológiai témájú nemzetközi munkacsoport (Hidrológiai SAF) alapítására tett indítványt. Elsősorban a később csatlakozó társult tagok számára kívánták ezt a munkacsoportot létrehozni. Magyarország a projektben kidolgozásra kerülő csapadékproduktumok verifikálásában vállalta a részvételt. Feladatunk a különböző módszerekkel meghatározott csapadékproduktumok összehasonlító vizsgálata felszíni mérésekkel, illetve radar adatokkal. E projekt jelenleg is folyik (7. ábra).

2007 októberében szerveztük a második EUMETSAT tanfolyamot Budapesten. A kurzus fő témája a konvekció, valamint radar- és műholdadatokat együttes használata volt. Magyar kollegák és a környező országok előrejelzői, műhold-meteorológusai vettek részt rajta. Tagjai vagyunk az EUMETSAT szervezte „Konvekció Munkacsoport”-nak, így első kézből értesülünk a témakörben elért új eredményekről. A zivatarvétekenységet esettanulmányok és projektek keretében is vizsgáljuk. Az EUMETSAT által előállított produktumok közé tartoznak a Global Instabilitási Indexek (GI) – amelyek a környezetet konvekcióra való hajlamát jellemzik – az előrejelzők számára már operatíván elérhetők.

Az EUMETSAT-tól kapott megbízások keretében vizsgáltuk a műholdadatokból származtatott konvekciós környezeti változókat (vízgőztartalom és instabilitási indexek); fejlesztettünk egy programot a zivatarok korai felismerésére (Convective Initiation, CI), a gyorsan fejlődő cumulus felhők detektálására, illetve együtt vizsgáltuk a környezeti változókat és a CI eredményeit.

EUMeTrain oktatási anyagok készítése

A EUMeTrain (műholdadatokat felhasználását elősegítő internetes oktató) az EUMETSAT támogatásával létrejött

nemzetközi projekt, mely oktató modulokat, tananyagokat készít műhold-meteorológia témában. A projekt célja az oktatás, oktatási anyagok készítése, támogatva az EUMETSAT programjait, elsősorban a veszélyes időjárás helyzetre vonatkozóan. Az OMSZ is részt vesz a projektben. Készítettünk már esettanulmányt, műholdadatokból származtatott vízgőztartalom és instabilitási indexek használatáról oktató modult, valamint kompozit képek értelmezéséhez készítettünk segédanyagokat.

Zárszó

Az itt bemutatott 13 év alatt hatalmas változáson ment keresztül a műhold-meteorológia tudománya, figyelembe véve, hogy hány meteorológiai műhold működik jelenleg a világon, és azok mennyi adatot szolgáltatnak. A technika fejlődésének köszönhetően jelentősen bővültek a műholdas adatok felhasználásának lehetőségei. Egyrészt néhány másodperc alatt rendelkezésre állnak már adatok mind a fejlesztők, mind a felhasználók számára, másrészt az adatmennyiség is többszörösére emelkedett, ami lehetővé teszi, hogy egyre több meteorológiai adat, információ rendelkezésre álljon.

A műholdas információk a meteorológia minden területén megfigyelhetők, ahogy ezt a rövid áttekintésben igyekeztünk bemutatni. Az aktuális műholdképek rendszeresen megtekinthetők az OMSZ (www.met.hu), illetve az EUMETSAT (www.eumetsat.int) honlapján, ugyanitt műholdas adatokon alapuló esettanulmányokat olvashatunk érdekes időjárás helyzetekről.

Irodalom

- Diószeghy Márta: Meteorológiai műholdképek az időjárás néhány órás előrejelzésében, *Természet Világa*, 2001. II. Különszám, 26-29
- Gerhátné Kerényi Judit, Lábó Eszter, Putsay Mária: Új generációs meteorológiai műholdak, *Zivatarok felülről, Élet és Tudomány*, LXII. évfolyam, 2. szám, 2007. január 12. 52-54
- Putsay Mária: A felszín fizikai sajátosságainak meghatározása meteorológiai műholdas adatok alapján, *Természet Világa*, 2001. II. Különszám, 24-25
- Randriamampianina Roger: Műholdas a számítógépes időjárás-előrejelzésben, *Természet Világa*, 2001. II. Különszám, 16-20
- Rimócziné Paál Anikó: A felszín sugárzási energiamelegének térképei, *Természet Világa*, 2001. II. Különszám, 21-23
- Tánczer Tibor: A műhold-meteorológia hazai története (1961–1990), *Természet Világa*, 2014. január