

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Meteorológiai Tanszék

Hidrológiai célú műholdas csapadékbecslések verifikálása felszíni csapadékmérő adatok alapján Magyarország területére

Diplomamunka



Készítette:

Zsugyel Márton

ELTE TTK Meteorológiai Tanszék

Témavezető:

Lábó Eszter

Országos Meteorológiai Szolgálat

Tanszéki konzulens:

Dr. Barcza Zoltán

ELTE TTK Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2009

Tartalomjegyzék

Bevezetés	2
I. Irodalmi áttekintés.....	5
II. Hidrológiai célú műholdas csapadékbecslések.....	11
A H-01-es produktum	11
A H-02-es produktum	13
A H-03-as és a H-04-es produktumok	15
A H-05-ös produktum	17
III. A verifikáláshoz használt módszerek.....	21
A MISH interpoláció.....	21
Statisztikai paraméterek számításához felhasznált képletek.....	22
IV. Napi csapadékösszegek feldolgozása.....	26
Felhasznált adatok.....	26
Rácspontok párosítása	27
A napi csapadékbecslések statisztikai tulajdonságai	29
V. A 24 óránál rövidebb időszakra vonatkozó műholdas csapadékbecslések verifikációja..	40
VI. Esettanulmányok.....	48
2008. március 22. és 23.....	48
2008. április 22.	50
2008. június 5.	52
2008. június 11.	53
2008. június 27.	54
2008. július 15.	55
Befejezés	58
Köszönetnyilvánítás.....	60
Irodalomjegyzék	61

Bevezetés

Az első meteorológiai műhold pályára állítása óta az űrből végzett megfigyelések kiemelkedő szerepet játszanak a tudományos életben. Az elmúlt évtizedekben rengeteget fejlődött a távérzékelés e formájával kapcsolatos ismeretünk. A műholdakon egyre érzékenyebb műszerek segítségével a légkör és a földfelszín különböző paramétereiről kapunk információt. Meghatározhatunk többek között vertikális hőmérsékleti vagy nedvesség profilt, megmérhetjük akár egy légoszlop ózontartalmát, a tengerek felszínének hőmérsékletét. A műholdfelvételeken elkülöníthetők a különböző légtömegek, megkülönböztethetők a felhő típusok, de segítségével egyéb származtatott mennyiségeket, például vegetációs indexeket is kiszámolhatunk.

Csapadébecslő eljárásokkal a mérések kezdete óta találkozhatunk. Az 1970-es években a látható és infravörös tartomány felvételei alapján a felhő tetejének hőmérsékletéből illetve reflektivitásából következtettek a lehullott csapadék mennyiségére, majd a 80-as években, a kvázi-poláris pályán keringő műholdak fejlődésével előtérbe kerültek a különböző mikrohullámú méréseket felhasználó eljárások, melyek pontosabb becslések létrejöttét teszik lehetővé (Ebert et al., 2007). A feladat megoldását nehezíti, hogy a műhold csak a felhő tetejét „látja”, illetve a lehulló csapadék mennyiségével csupán közvetett kapcsolatban álló felhőfizikai paramétereket érzékeli.

A műholdas mérések egyik legelőnyösebb tulajdonságuk, hogy az egész Földre vonatkozóan nyújtanak információt, így olyan területekről is rendelkezünk adatokkal, melyek a felszíni mérések során nem voltak elérhetők. Ilyen területek lehetnek az óceánok, vagy a domborzati adottságaik miatt nehezen megközelíthető helyek. Ebből is látszik, mennyire fontos információforrás a műholdas mérés a meteorológusoknak. Eredményeit felhasználják a numerikus előrejelzők, a klímakutatók mellett például a veszélyjelzők is (Zsugyel és Lábó, 2009).

Európában az 1986-ban alakult EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites, Meteorológiai Műholdak Hasznosításának Európai Szervezete) tartja fenn a meteorológiai műholdak rendszerét. A szervezet keretein belül összesen nyolc munkacsoport is működik, melyek egy-egy speciális felhasználási területtel kapcsolatos

fejlesztésekkel és értékelésekkel foglalkoznak. Külön munkacsoport foglalkozik például a nowcasting produktumokkal, a numerikus időjárás előrejelzéssel, az óceán és tenger megfigyelésével.

Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) Magyarország képviselőjében 1999 óta társult, 2009. január 1-től teljes jogú tagja az EUMETSAT-nak. A munkacsoportok közül egyedül az Operatív Hidrológiai és Vízgazdálkodási Munkacsoportban (H-SAF) vesz részt fejlesztő státuszban. Ez azt jelenti, hogy az OMSZ is részt vállal a hidrológiai célú műholdas produktumok fejlesztésében, értékelésében.

A H-SAF csoport tevékenységét *Olaszország* koordinálja, és *hazánk* mellett részt vesznek benne *Ausztria, Belgium, Finnország, Franciaország, Lengyelország, Németország, Románia, Szlovákia és Törökország* meteorológusai illetve hidrológusai. A csapadékbecslésekkel kapcsolatos verifikációs munkával a dőlt betűvel szedett országok foglalkoznak. (HSAF, 2007)

A verifikáció során felhasznált felszíni referencia országoként eltérő. Egyes nemzetek radarmérések eredményeit, míg mások a felszíni csapadékgyűjtők méréseit tekintik az összehasonlítás alapjának. Ez nehézséget jelent a verifikációs eredmények egységes értelmezésében, hiszen nem ismerjük a két különböző összehasonlítás tulajdonságait. Az OMSZ eddig radarmérések eredményeit használta fel a műholdas becslések értékeléséhez. Jelen diplomamunka célkitűzése, hogy feltárja Magyarország területén a felszíni csapadékgyűjtők adatainak interpolálásával előállított mezővel végzett verifikáció fő jellemzőit, ezáltal választ adjon arra a kérdésre, hogy mennyire térnek el a különböző referencia adatokat felhasználó összehasonlítások.

A dolgozat I. fejezetében néhány, a műholdas csapadékbecslésekkel foglalkozó szakirodalmi cikket foglalunk össze, majd a II. fejezetben a H-SAF keretein belül készülő csapadékbecslő produktumok előállítási módszereit vázoljuk. A III. fejezet a verifikációhoz felhasznált matematikai módszerekről szól, itt ismertetjük a felszíni adatok interpolációjához használt MISH programcsomag alapjait, illetve felsoroljuk a munkánk során felhasznált matematikai összefüggéseket is. A IV. és V. fejezetekben írunk részletesen a napi és a 24 óránál rövidebb időtartamra szóló műholdas becslések verifikációjának eredményeiről, végül a VI. fejezetben néhány esettanulmány segítségével mutatjuk be a becslések teljesítményét a gyakorlatban.

Munkánk során elkészített diagramokat a diplomamunkához kapcsolódó CD mellékleten közöljük.

I. Irodalmi áttekintés

A műholdas méréseknek és ezen belül is a csapadékbecsléseknek gazdag szakirodalmal rendelkező fel. Ezek egy része olyan eljárásokat mutat be, melyek segítségével javítani lehet a távmérések pontosságán. Bauer és Schanz (1998) például a konvektív felhőzet passzív mikrohullámú érzékelésének korrekcióját mutatják be. Erre akkor van szükség, ha a műhold a mérésekhez kibocsátott sugárnyalábokat a felhőhöz képest ferde irányból indítja. Ez jelentős hibákat okozhat többek között a felhőben található hidrometeorok vertikális eloszlásának meghatározásában.

A témához kapcsolódó írások egy másik csoportja elméleti jellegű. Ezek célja egy-egy probléma matematikai hátterének vizsgálata. Ilyen például Graves et al. (1993) cikke, melyben a műholdas és a felszíni mérések mintavételezési hibáit vizsgálták meg. Munkájukban a különböző technikával – felszíni csapadékgyűjtő, elméleti sztochasztikus csapadékmódel, illetve műholdas megfigyelések – előállított csapadék idősorok autókorreláció függvényét és spektrális felbontását vetették össze egymással. A mintavételezés hibáját a sztochasztikus csapadékmező spektrális sűrűségének és egy, a mérések tér-időbeli eloszlásától függő szűrőfüggvény szorzatának integráljaként definiálták. Az eredmények alapján a szerzők egyebek mellett azt a következtetést vonták le, hogy a szárazföld feletti csapadék mintavételezési hibája nagyobb, mint a trópusi óceán felett hulló csapadéké. Ez a tulajdonság a szárazföldeken előforduló csapadék nagyobb térbeli változékonyságával magyarázható.

Az utóbbi cikk szerzői közül többen szerepelnek North et al. (1994) tanulmányának szerzői között. Ez a tanulmány arról szól, hogyan kezelhető az a műholdas és felszíni csapadékmérések közötti alapvető eltérés, hogy az előbbi egy területre vonatkozóan ad információt, míg utóbbi csupán egy pontbeli mérési eredmény. A szerzők tér- és időbeli spektrális felbontást alkalmaztak a kérdés megválaszolására, és egy egyszerű sztochasztikus csapadékmező segítségével modellezték a két rendszer átlagos négyzetes eltérését. A kutatás eredménye szerint, körülbelül hatvan műholdas áthaladás méréseinek kombinálásával a két mérés közötti várható hiba a szórás 10%-ra csökken.

Bell és Kundu (2003) írása átvezet az elméleti problémák vizsgálatából a gyakorlati alkalmazások tárgyalására. Cikkükben ők is a felszíni pontbeli mérés, és a műholdas,

területre vonatkozó mérés problémájával foglalkoznak. Kutatásuk során egy négyparaméteres spektrális modellt fejlesztettek ki. A tanulmány e modell gyakorlati alkalmazását, legfontosabb tulajdonságait foglalja össze. Részletes vizsgálat alá vetették, hogyan viselkedik a modell különböző tér- és időskálán. Vizsgálatuk alapján a megfelelő összehasonlítási hibaküszöb (10%) eléréséhez a műholdas méréseket annál rövidebb időszakokra kell átlagolni, azaz annál rövidebb időszakokra is előállítható pontos becslés, minél több felszíni csapadékgyűjtő található a megfigyelt területen, illetve minél kisebb ez a terület. Az eredmények azt mutatták azonban, hogy még így is sok esetben a pontos becslésekhez szükséges műholdas áthaladások száma elérheti akár a több százat is. A szerzők bemutatnak egy módszert a felszíni mérések időbeli súlyozására, amellyel a két mérés közötti hiba felére csökkenthető.

A témával kapcsolatos szakirodalom – számunkra legfontosabb – harmadik nagy csoportjában az űrből végzett mérések verifikációjára helyezik a hangsúlyt. Ezek az írások nagyon sokszínűek mind a megoldandó probléma, mind pedig a megoldáshoz használt statisztikai eszköztár tekintetében is. Az ilyen kutatások többsége valamilyen nemzetközi projekt keretében készül el, de előfordulnak olyan problémák is, melyek nem köthetők szorosan szervezett munkacsoportokhoz. Az utóbbi csoportba tartozik Laurent et al. (1998) írása, melyben a Száhel-övezetben vizsgálták meg több csapadékbecslő eljárás tulajdonságait. Ezen a területen a lehullott eső mennyiségének ismerete különösen fontos. Mivel a felszíni mérések tér- és időbeli felbontása gyenge, más forrásokat is fel kell használni a pontos csapadékbecslésekhez. A szerzők öt különböző eljárás tulajdonságait vizsgálták meg, köztük két felszíni megfigyeléseken, és három különböző, műholdas méréseken alapuló módszert, melyek közül az egyik műholdas és felszíni mérések eredményeit együttesen használja fel. Különböző tér- ($0,2^\circ - 1^\circ$) és időlépcsőt (10 és 30 napos csapadékösszeg) vizsgáltak. A legeredményesebbnek a felszíni és műholdas adatokat kombináló eljárás bizonyult. Ebben az esetben a becslés hibája 10 napos időszakokra és $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ -os rácson az átlagos csapadékmennyiség 35%-a volt. Ezen kívül a cikk egy másik érdekes megállapítása, hogy a műholdas és a felszíni adatokon alapuló becslési módszerek statisztikai mutatói csak kis mértékben térnek el egymástól.

Wardah et al. (2008) kutatásának célja a flash-flood – azaz a hirtelen keletkező és gyorsan levonuló árvizek – előrejelzések fejlesztése volt műholdas esőintenzitás-becslések alapján. A

cikk részletesen ismerteti a munkafolyamat legfontosabb lépéseit. Egy mesterséges neuronháló segítségével dolgozták fel a műholdas adatokat. Az algoritmus bemenő adatainak olyan paramétereket választottak, melyek jól korreláltak a radar által mért intenzitásokkal. Ilyen tulajdonságok például a felhőtető fényességi hőmérséklete, az adott pixel környezetében a hőmérséklet átlaga és szórása, a hőmérséklet változásának üteme és gradiense. A modell eredményeit összehasonlították más, egyszerűbb módszerekkel. A kapott eredmény pontossága megközelíti az eddigi módszerek pontosságát, ráadásul a műholdas adatok felhasználásával mintegy két óra plusz időelőnyre tettek szert az előrejelzők ahhoz képest, mintha csupán a csapadék-lefolyás modellt használták volna. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy árvíz esetén a szükséges intézkedések elvégzésére kétszer annyi idő állhat rendelkezésre.

Több nemzetközi kutatási program is indult azzal a céllal, hogy globálisan, vagy egy nagyobb területre vonatkozóan megismerjék a különböző csapadékbecslő eljárások tulajdonságait. Ilyen nagyszabású kutatás a Global Precipitation Climate Project (<http://cics.umd.edu/~yin/GPCP/main.html>). A program elsődleges feladata klimatológiai célú: térben és időben átlagolt csapadékmező készítése műholdas és felszíni adatok felhasználásával. Ennek a munkafolyamatnak volt része az úgynevezett Algorithm Intercomparison Project (GPCP-AIP), mely három régióban hasonlította össze az eltérő módon működő becsléseket. Az első vizsgálatok a Japán szigetek környezetére készültek el, és összesen tizenhat különböző becslési módszer eredményeit hasonlították össze egymással (Arkin és Xie, 1994). A tanulmányban szereplő eljárások többsége a geostacionárius műholdak infravörös és látható tartományban készült mérései alapján számolnak, és a felhőtető hőmérséklete alapján határozzák meg a felszíni csapadékintenzitást. Közülük a legegyszerűbb az úgynevezett GOES (Geostationary Environmental Satellite) Precipitation Index (GPI, Arkin and Meisner, 1987). A cikkben bemutatott eredmények szerint ezzel a módszerrel a különböző bonyolultabb közelítésekhez nagyon hasonló pontosságú becsléseket lehet kapni.

Sajnos az AIP második része, mely a Brit-szigetek környezetére végezte az összehasonlító elemzést, nem került publikálásra, így eredményeiről csak közvetett forrásból értesülhetünk. Ilyen forrás például Ebert et al. (1996) cikke, melyben a három AIP eredményeit foglalja össze. A cikkben csupán néhány statisztikai paramétréről esik szó, nevezetesen a becslést és

átlagos csapadékösszeg arányáról, a korrelációs együtthatóról, a négyzetes hibáról és a megfigyelt csapadékmennyiséggel normált négyzetes hibáról. Ezeket a mérőszámokat az európai vizsgálatokban két időlépcsőre számították ki: havi és pillanatnyi adatok alapján. Érdekes még, hogy a havi értékelésben a mikrohullámú módszereket külön kezelték, és csak azokat a méréseket használták fel a számításhoz, melyekben csapadék is előfordult. Az így létrejövő kiindulási adatsor tehát nem összefüggő, és az átlagosnál sokkal nedvesebb körülményeket reprezentál. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a havi statisztikai mutatók esetében az infravörös/látható tartomány adatait felhasználó módszerek többsége a megfigyelt csapadékösszeghez közeli becslést adnak, míg a különböző mikrohullámú módszerek statisztikai jellemzői között jelentős szórás figyelhető meg. A kvázi-poláris műholdak adatai alapján készült közelítések ilyen mértékű változékonysága a pillanatnyi csapadékintenzitás esetében is megjelenik. Az esetek többségében az intenzitás jelentős alábecslése figyelhető meg, miközben a korrelációs együttható egyik módszer esetében sem nagyobb 0,5-nél. Az infravörös és a látható tartomány pillanatnyi intenzitásbecslései hasonló mutatókkal rendelkeznek, mint a poláris holdak mikrohullámú becslései (Ebert et al., 1996). Különbség mindössze abban mutatkozik, hogy az egyes infravörös közelítések kevésbé térnek el egymástól, ami magyarázható ezen algoritmusok egyszerűbb matematikai hátterével.

A GPCP keretein belül a későbbiekben is készültek egy-egy területre különböző verifikációs munkák. Krajewski et al. (2000) cikkében például az Egyesült Államokban összesen tizennégy kisebb területet kiválasztva végeztek összehasonlító elemzést az egyes régiókban észlelt havi csapadékmennyiség hibastatisztikájáról. Vizsgálták a kizárólag műholdas mérések alapján készült és a felszíni mérésekkel korrigált havi mezőket is, illetve külön a téli és nyári hónapokat. A kutatásból kiderül, hogy a végső becslések eredményességét nagyban javítja, ha a tisztán műholdas megfigyelések helyett a felszíni méréseket is figyelembe vesszük, azaz a két információforrást kombináljuk. Az évszakos összehasonlításból kiderül, hogy a véletlen hiba mértéke a téli hónapokban jelentősebb, mint nyáron.

A GPCP adatbázisa eredetileg 2,5°-os rácsfelbontás mellett készült, majd 1997-től kezdve elérhetővé vált az 1°-os napi adatokat tartalmazó produktum kísérleti változata. 2000-től kezdve ez a fajta csapadékanalízis is operatíván készül. Részletes verifikáció is készült ezzel a műholdas mezővel, melynek eredményeit több tanulmányban is ismertették. (Skomorowski

et al., 2001; Rubel és Rudolf, 2001; Rubel et al., 2002) Munkájuk során felszíni referencia adatként az Alpok területén üzemelő kísérleti, 3100 tagból álló csapadékmérő hálózatot használták. A megjelent három publikáció világosan mutatja a kutatásaik fejlődését. Az első két cikkben (Skomorowski et al., 2001; Rubel és Rudolf, 2001) az 1997. június-július hónapok adatait vizsgálták. Először csupán a GPCP adatbázist, majd Rubel és Rudolf (2001) írásában már az ECMWF t+6-tól t+30 órás időszakra vonatkozó előrejelzése is tárgya az összehasonlító elemzésnek. Mivel a kísérleti fázisból az adatbázis operatívvá vált, szükséges volt a végleges produktum értékelését is elvégezni. Ezt a vizsgálatot ismerteti Rubel et al. (2002) cikkében. Az új verziót már nem terheli szisztematikus hiba, így az alkalmas a havi csapadékösszeg mennyiségi becslésére, bár a naponként kiszámolt statisztikai mérőszámok nem mutatnak jelentős változást a kísérleti verzió eredményeihez képest. A három cikk eredményeinek részletes ismertetésére a dolgozat IV. fejezetében visszatérünk, mivel azok jól összevethetők saját vizsgálatainkkal.

A GPCP keretein belül, ahogy azt az előzőekben láthattuk, elsősorban havi csapadékmezőket állítanak elő, illetve ezek minőségét vizsgálják. Létezik egy másik nemzetközi program, melyben nagyobb hangsúlyt kapnak a közepes földrajzi szélességek, és a rövidebb időszakok. Az International Precipitation Working Group (IPWG, Nemzetközi Csapadék Munkacsoport) a WMO (World Meteorological Organisation, Világ Meteorológiai Szervezet) és a CGMS (Cooperative Group on Meteorological Satellites, Meteorológiai Műholdakkal kapcsolatos Együttműködési Csoport) támogatásával működik. Fő célja az operatívan használt műholdas csapadékbecslő módszerek minél gyorsabb verifikálása jó minőségű radar és felszíni gyűjtődényes mérési adatok alapján. Ezzel lehetőség nyílik a felhasználókat és a szolgáltatókat is informálni az aktuális becslések minőségéről (Ebert et al., 2006). A munkacsoport honlapján (www.isac.cnr.it/~ipwg/validation.html) naponta megtalálhatjuk az aktuális becslések értékelését. A világ öt régiójára számítják rendszeresen a különböző statisztikai paramétereket: az Egyesült Államok területére, Dél-Amerikára, Nyugat-Európára, Ausztráliára és Japán területére. A statisztikai mutatók tényszerű közlésén kívül a mérések és megfigyelések közötti különbség szemléletes ábrázolását térképen és diagramokon egyaránt tanulmányozhatjuk. A munkacsoport tevékenységéről és három kontinensen végzett összehasonlító elemzés főbb jellemzőiről olvashatunk Ebert et al. (2006) cikkében. A különböző műholdas módszereken kívül numerikus időjárás előrejelző modellek adatait is

vizsgálták. Írásukból kiderül, hogy a becslések hatékonysága – az általuk használt tér- (kb. 25 km) és időskálán (napi) – jelentősen függ a hulló csapadék intenzitásától: nyáron, és az alacsony szélességeken a műholdas, míg télen és a magasabb szélességeken a numerikus modellek nyújtanak jobb eredményeket. A szerzők hangot adnak bizalmuknak, hogy a jövőben a felhő és csapadékképződési folyamatok részletesebb megismerése és a műholdakra kerülő fejlettebb műszerek segítségével pontosabb közelítő eljárásokat eredményeznek majd, amihez természetesen minden évszakban pontosabb csapadékbecslések tartoznának.

Az IPWG európai tevékenységéről részletes ismertetést olvashatunk Kidd (2004) beszámolójában. A verifikáció referenciaadatait a nyugat-európai államok – Nagy-Britannia, Franciaország, Németország, Belgium és Hollandia – kompozit radaradatai képezik. Több forrásból származó műholdas csapadékbecslést értékelnek: felhasználják a NASA és NOAA műholdak mikrohullámú és infravörös–mikrohullámú kombinált méréseit is. A statisztikai számításokat 20 és 50 km-es térbeli felbontáson végzik el, és a kiszámolt paramétereket könnyen átlátható formában térképeken és grafikonokon ábrázolják. Ezek a grafikonok bepillantást engednek a becslések tulajdonságaiba. Láthatóvá válik például, hogy egyes esetekben a napi csapadékösszeget elfogadhatóan becsli a műholdas módszer, azonban a kis intenzitású esőt nem képes érzékelni, így a helyes csapadékösszeg csak a nagyobb intenzitások felülbecslésével jöhet létre. Ez fontos, hiszen ha a modell, illetve a műholdas becslések nem tudják helyesen leírni az intenzitásokat, akkor az eredményeket nem használhatjuk regionális csapadékrendszerek összehasonlítására. Például, ha a klímaváltozás hatására megváltoznak a csapadékintenzitások, előfordulhat, hogy a becsléshez használt algoritmusok nem lesznek érzékenyek ezekre a változásokra (Kidd, 2004).

II. Hidrológiai célú műholdas csapadékbecslések

Az EUMETSAT keretein belül több úgynevezett SAF (Satellite Application Facilities) működik, melyek egy-egy jól meghatározott meteorológiai vonatkozású kutatási terület műholdas megközelítéséért felelősek. Az egyes munkacsoportok tevékenységéről részletes információt találhatunk az OMSZ Távérzékelési Osztálya által kiadott ismertetőben (OMSZ-TO, 2009). A Hidrológiai SAF (H-SAF) munkacsoportot 2002 decemberében hozták létre. Feladatai közül kiemelkedő jelentőségű a különböző műholdas csapadékbecslő eljárások fejlesztése, kalibrációja, értékelése és az eredmények hidrológiai célú felhasználása. A munkában több nemzet meteorológiai és hidrológiai intézetei vesznek részt. A produktumokkal kapcsolatos feladatokat minden tagország a saját területére vonatkozóan végzi el. A kapott becsléseket bemenő adatként elsősorban a hidrológiai modellek lefolyást modellező részében, árhullám modellezéshez használják fel.

A H-SAF távérzékelési programján belül hat féle csapadékproduktum készül. Ezek legtöbbje jelenleg fejlesztés alatt áll, de a közeljövőben közülük többet napi szinten, operatíván használnak majd csapadék-becslésre. A következőkben öt becslés legfontosabb tulajdonságait foglaljuk össze, a H-SAF munkacsoport által kiadott technikai dokumentáció leírásai alapján (HSAF, 2008). A hatodikkal – ami a pillanatnyi és összegzett csapadékmennyiséget numerikus előrejelző modell alapján közelíti – a diplomamunka keretein belül nem foglalkozunk.

A H-01-es produktum

Ez a becslés a földfelszínen mért csapadék-intenzitást a mikrohullámú (MW) frekvenciatartományban (300 GHz-1 GHz) úgynevezett kúpszkenelés segítségével becsli, ami a letapogatáshoz használt sugárnyaláb alakjára utal.

A mérés napszinkron-műholdakon elhelyezett SSM/I és SSMIS (Special Sensor Microwave Imager/Sounder) műszerek mérésein alapul. Ezek a műholdak állandó zenitszöggel készítik felvételeiket, ezáltal biztosítva az állandó optikai utat a légkörben illetve a polarizációs hatások homogenitását.

Az ilyen műholdképek állandó felbontást biztosítanak egy felvételen, azonban a különböző frekvenciájú sugarakkal készült képek felbontása eltérő lehet. Az aktuálisan letapogatott

terület (IFOV, Instantaneous Field of View) ellipszis alakú, melynek méretei több tényezőtől is függnnek, például az antenna átmérőjétől, alakjától és más fizikai körülményektől.

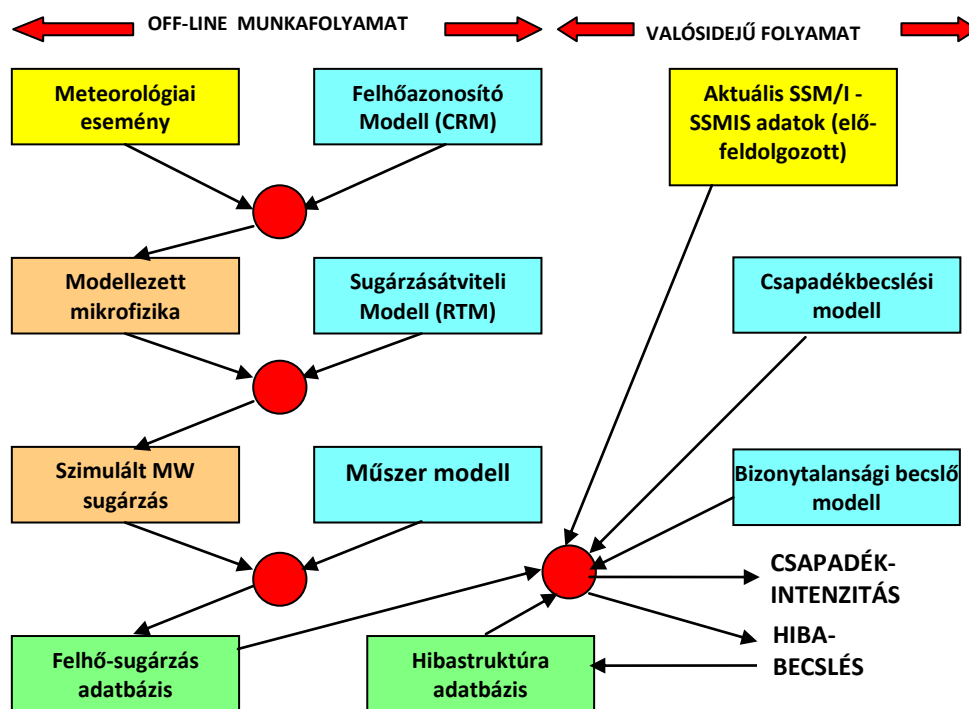
A csapadék-intenzitás meghatározása nagyon bonyolult probléma, hiszen az űrből magát a csapadékot nem észlelhetjük közvetlenül. Az SSMIS műszerek segítségével sok paraméterről tudunk információt szerezni, ezek azonban nem elégségesek a korrekt felhőfizikai becslésekhez, ezért szükséges a felhőfizikai folyamatokról az információkat egy külső forrásból beszerezni. Erre két lehetőség van:

- A fényességi hőmérséklet (brightness temperature) felhasználása numerikus modellben. Erre az ECMWF modelljét használják. Hátránya, hogy a valós idejű meghatározás csak durva felbontásban lehetséges, így a konvektív skálájú rendszerek esetében nem használható, ami az extrém események simítását eredményezi a becslésekben.
- A mikrofizikai paramétereket az úgynevezett Felhő Meghatározó Modell (CRM, Cloud Resolving Model) segítségével közelíthetjük. Minél több esetet tartalmaz az adatbázis, annál jobban alkalmazható a gyakorlatban a módszer, ezért az adatbázis feltöltése folyamatosan zajlik. Ehhez szükség van még egy komplex, úgynevezett Sugárzásátviteli Modellre (RTM, Radiative Transfer Model), ami különösen fontos, ha jég is jelen van a csapadékban. Az összegyűjtött meteorológiai események, a hozzájuk tartozó mikrofizikai paraméterek, és a radiációs modell segítségével a mérőeszközre átszámolt fényességi hőmérséklet alkotja a Felhő-radiációs adatbázist (CRD, Cloud Radiation Database).

A becslés létrejöttéhez tehát – amennyiben ez utóbbi módszert használjuk – szükség van egy adatbázis kiépítésére, ami a következő folyamat során történik.

Először is részletes mérési adatokkal dokumentált meteorológiai eseményekre van szükség, melyekre alkalmazva a CRM-t, modellezzük a felhőben található mikrofizikai paramétereket. Ezután a RTM segítségével a felhőt azonosító tulajdonságokat átkonvertáljuk sugárzási tulajdonságokra, melyeket a mérőműszer sajátosságaival összevetve meghatározható a fényességi hőmérséklet. Végül ezeket az adatokat a Felhő-radiációs adatbázisban gyűjtjük össze.

Az így létrejött adatbázist a továbbiakban a pillanatnyi mérések kiértékeléséhez lehet használni. A mért sugárzási értékeket a CRD-ben található értékekkel összevetve, szintén modellezés útján, megkapjuk a hidrometeorok becsült profilját, amelyből a csapadékintenzitást ki lehet számolni. Az összevetés során figyelembe veszik a bizonytalanság mértékét is, így a hibát is meg tudják becsülni, amit egy hibaszerkezet-adatbázisban (Error structure database) tárolnak. A becslés teljes munkamenetének vázlatos folyamatábráját a II-1. ábrán láthatjuk.



II-1. ábra: A csapadékintenzitás becslésének folyamatábrája SSM/I és SSMIS adatok alapján (H-SAF, 2008 alapján)

A H-02-es produktum

Az előző módszerhez képest az észlelés legfontosabb technikai különbsége, hogy ebben az esetben a kúpszkenelés helyett a keresztirányú letapogatás segítségével jutnak információhoz a légoszlop állapotáról. A mérésekhez felhasznált műszereket elsődlegesen hőmérséklet- és páratartalom mérésére találták ki, de hatékonyan használhatóak csapadékbecslési feladatra is.

Az észlelés során felmerül néhány technikai probléma, melyek megoldása folyamatban van. Az egyik ilyen probléma, hogy a változó zenitszögben rögzített felvételek esetén a jel optikai útja nem azonos, és a polarizációs hatások sem tekinthetők homogénnek. Ezen kívül ez a mérési technika különböző felbontást eredményez a műholdkép különböző területein.

További nehézséget okoz, hogy a hőmérséklet-becslésre használt AMSU-A (Advanced Microwave Sounding Unit-A) műszer az alacsony frekvenciákon csak kis felbontású, tehát rosszabb minőségű felvételeket tud készíteni, ezért ezeket az eredményeket korrigálni kell, melyet a jobb felbontású AMSU-B műszer méréseinek felhasználásával végeznek el.

A H-01-es produktummal szemben ebben az esetben az abszorpciós sávokban történik az észlelés. Az 54 GHz-es és a 183 GHz-es sávokban végzett mérések több fontos információt is szolgáltatnak a légoszlop állapotáról. Ilyenek például a hőmérsékleti profil, a vízgőz profil, a felhőtető magassága és a részecskék méreteloszlása. Egy frekvenciasávban több csatorna található, és minden csatorna a légkör egy másik magassági szintjén érzékeny, ezért lehetséges a vertikális profilokat ezek segítségével közelíteni.

Az 54 GHz-es és a 183 GHz-es sávok együttesen szükségesek a részecskeméret-eloszlás becsléséhez, amit a különböző átmérőjű jégzemcsékre való érzékenyséjük tesz lehetővé. Az érzékelés alapja a Mie szóródási együttható kiszámítása.

A 183,31 GHz-es frekvencián a 0,7 mm-nél kisebb jégzemcséket lehet egyértelműen beazonosítani, míg az 54 GHz-es frekvencián az érzékelés felső határa a 2,4 mm-es jégzemcsék. Viszont a 0,7 mm-nél kisebb mérettartományban az 54 GHz-en a szóródás hatékonysága két nagyságrenddel kisebb, mint 183,31 GHz-en, így a méreteloszlás meghatározására a két frekvencia együttesen jól használható.

Továbbra is a fent említett két sávot használva, információ nyerhető a részecskeszámról (particle abundance) is, ami a vizsgált térfogat feletti abszolút szóródással adható meg.

A felhőtető magasságának meghatározása szoros kapcsolatban áll a részecskék méretsűrűségével (size density), mivel csak a nagyobb feláramlási sebesség esetében képesek a kisebb részecskék nagy magasságokat elérni.

A konkrét csapadékintenzitás-becslés problémáját, mivel a fizikailag megalapozott Bayes-algoritmus használata a korábban ismertetett nehézségek miatt nagyon lassú és körülményes, tanuló algoritmus felállításával oldják meg. Két eljárás is létezik erre, melyek

legfőbb különbsége, hogy a modell tanításához felhasznált adatok különböző forrásból származnak. Az egyik az amerikai radarhálózat méréseit használja, míg a másik az MM5 modell adatai alapján dolgozik. A tanuló algoritmus eredményeinek hátránya, hogy statisztikai kapcsolatra épül, és a csapadékképződés fizikai folyamatai itt már nem játszanak közvetlenül szerepet.

A H-03-as és a H-04-es produktumok

Ez a két csapadékbecslési módszer a H-01-es és H-02-es produktumoknál már ismertetett mikrohullámú méréseket használja fel, kiegészítve azokat a geostacionárius műholdak infravörös méréseivel. Utóbbi holdak előnye, hogy sokkal sűrűbben, negyed óránként készítenek műholdfelvételt, illetve mindig ugyanazt a területet figyelik. Így sokkal többször állnak rendelkezésre friss műholdképek, mint az első két produktum esetében. A mérések térbeli felbontásáról elmondható, hogy az először a Meteostat-8-as műholdon működő SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infra-Red Imager) tizenkét csatornás műszer egy csatornája nagy felbontású képeket készít, ami 1 km-es, míg a többi tizenegy csatorna felvétele is 3 km-es mintavételezésnek felel meg a műhold alatti pontban.

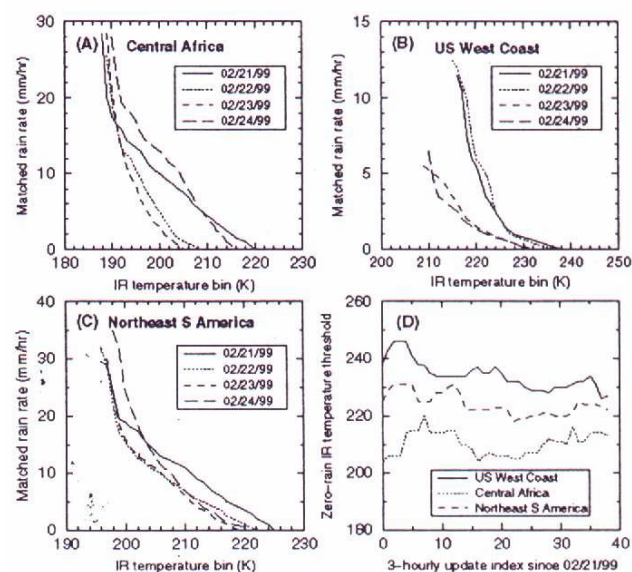
A következőkben ismertetendő két becslés két teljesen eltérő filozófiával készül. A H-03-as az infravörös mérésekből származtatott fényességi hőmérsékletet tulajdonképpen kalibrálják a mikrohullámú műholdas mérések csapadékkéntesség-becsléséhez. A H-04-es eljárás pedig a mikrohullámú felvételeket extrapolálja az infravörös észlelések alapján számított elmozdulásvektorok felhasználásával a két mikrohullámú felvétel közötti időszakban.

A SEVIRI felvételeknek a következő adatokat kell tartalmaznia:

- A felvétel készítésének kezdési és befejezési időpontját UTC-ben
- A pixelek beazonosításához mindegyik szélességi és hosszúsági koordinátáját
- A 9-es csatorna által szolgáltatott fényességi hőmérsékletet minden pixelre vonatkozóan
- A műhold zenitszögét a megfigyeléskor minden pixelre, fokban
- Minden pixel felvételi időpontját, másodpercben a kép készítésének kezdetétől számolva
- Minden pixel helyét a felvételen (sor, oszlop)

A H-03-as csapadékintenzitás-becslés az ún. „gyors frissítés” (RU, Rapid-Update) algoritmussal dolgozik. Ehhez szükség van a SEVIRI 9-es csatornája által mért, térben pontosan meghatározott fényességi hőmérsékletre és a mikrohullámú mérések segítségével előállított csapadékintenzitás-térképekre. Eredményül pillanatnyi csapadékintenzitás térképet kapunk a felszínre, a SEVIRI 9-es csatornájának megfelelő felbontással.

A folyamat lényege, hogy a mikrohullámú mérésekkel kapott meghatározott pixelre vonatkozó csapadékintenzitások és a fényességi hőmérsékletek között statisztikai kapcsolatot állítanak fel, melyet minden új adat beérkezésekor frissítenek. A II-2. ábrán az első három diagramján (A-C) láthatjuk, hogy különböző területeken hogyan változik a kapcsolat a fényességi hőmérséklet és a csapadékintenzitás között. A negyedik grafikon (D) azt mutatja meg, hogy az egyes területeken hogyan változik a csapadékhullás kezdetéhez tartozó fényességi hőmérséklet. A görbéken jól látszik, mennyire változékony a két mennyiség közötti kapcsolat. A diagramok rámutatnak a módszer gyengeségére is, nevezetesen arra, hogy intenzív csapadék esetén a fényességi hőmérséklet pontatlan mérése a becsült intenzitásban nagy hibát okoz.



II-2. ábra: (A-C) A csapadékintenzitás kapcsolata a fényességi hőmérséklettel három régióban, négy napon. (D) A csapadékhullás kezdetéhez tartozó fényességi hőmérséklet változása az időben, három különböző térségben (forrás: H-SAF, 2008)

A H-04-es produktum egy nagyon izgalmas becslési technikát alkalmaz. Az eljárás lényege az, hogy a körülbelül háromóránként rendelkezésre álló mikrohullámú mérés során elkészült

becsült csapadékintenzitásokat a köztes időben az infravörös mérésekből kiszámított mozgásvektorok segítségével elmozdítják. Ennek előnye, hogy a csapadékintenzitás közelítésekor a mikrohullámú mérések pontosabb fizikai háttérét végig megtartjuk. Ez a tulajdonság az RU technikánál a számítások végén csak közvetve maradt meg.

Ezt a becslési algoritmust CMORPH-nak nevezzük, a Climate Prediction Center Morphing Method kifejezés rövidítéséeként.

A módszer hátránya, hogy bár az infravörös mérésekkel igen jól meg lehet határozni a felhők tetejének haladási irányát, ez azonban nem mindig mutat korrelációt az alacsonyabb rétegekben tapasztalható mozgásiránnyal. A csapadék szempontjából ez egy igen fontos probléma.

Annak érdekében, hogy a számítások során a felhőrendszerek és a csapadékmező mozgását kordában tartsák, a csapadékintenzitás becsléséhez felhasználják a következő mikrohullámú produktum eredményeit is. Így tehát ezzel a módszerrel nem kapunk aktuális képet a csapadékintenzitásról, hanem csak egy időben eltolts becslésre van lehetőség. A következő mikrohullámú térképet olyan módon veszik figyelembe, hogy abból kiindulva szintén elindítják a felhőrendszert a mozgásvektorok alapján, az időben visszafelé számolva. A végleges eredmény úgy születik meg, hogy a rendelkezésre álló két becslés (a $t=t_0$ -ás és a $t=t_0+3h$ -ás térképből számított) eredményeit különböző súlyokkal veszik figyelembe. Mindig az a mikrohullámú becslés szerepel nagyobb súlytényezővel, amelyik közelebb áll az adott időponthoz.

A H-05-ös produktum

Ez az eljárás csapadékösszeg becsléseket készít, a H-03-as vagy a H-04-es eredmények időbeli integrálásával. Az összegzést négy időlépcsőre végzi el: 3, 6, 12 és 24 órás intervallumokra.

Az, hogy a pillanatnyi csapadékintenzitás becslésekből helyes csapadékösszeg becsléseket lehet adni, nem triviális. Egy kísérleti vizsgálat alapján azonban, melyben az ilyen becsléseket a csapadékmérő edények által mért mennyiségekkel hasonlították össze, sikerült bizonyítani, hogy lehetséges. A becslés szisztematikus hibája a mintavételezési időtől függetlenül alacsony maradt, pontossága (szórása) azonban a mintavételezési idő növekedésével

jelentősen emelkedett. E két statisztikai tulajdonság az összegzett időszak hosszától függetlenül megfigyelhető. (II-1. táblázat)

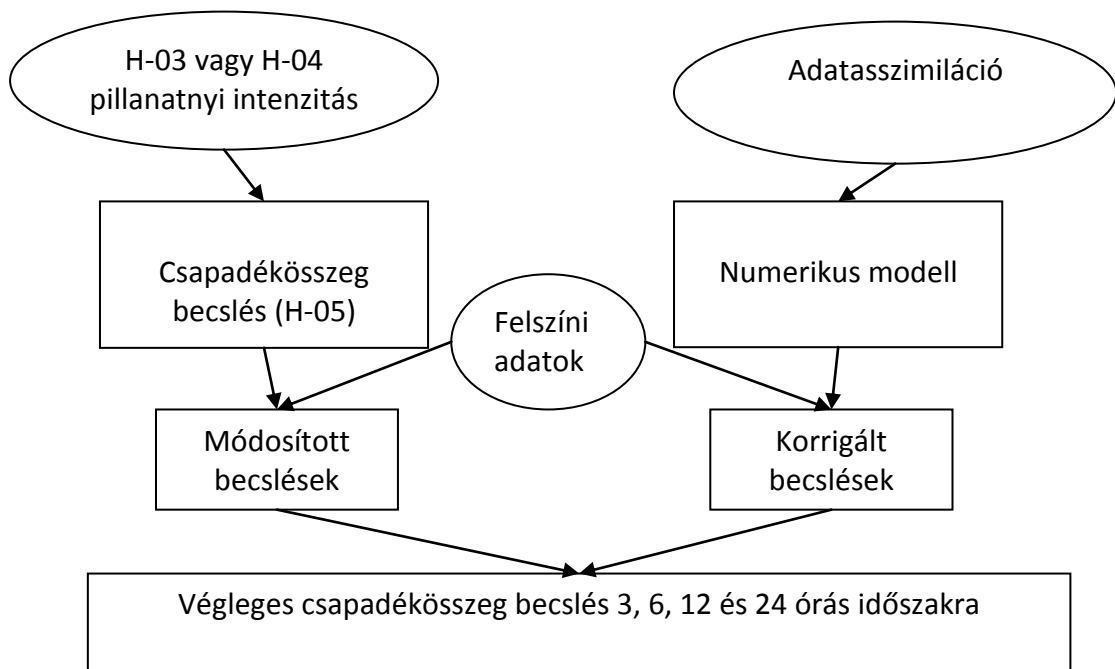
Mintavételezési időköz	24 órás összegzett csapadék		3 órás összegzett csapadék	
	Hiba	Szórás	Hiba	Szórás
3 óra	-1,52 %	142 %	-0,84 %	167 %
1 óra	-3,70 %	66 %	-5,1 %	74 %
30 perc	0,54 %	37 %	-2,98 %	43 %

II-1. táblázat: Az összegzett csapadékmérések várható hibái a mintavételi időköz függvényében (HSAF, 2008 alapján)

Ahhoz, hogy a végső becslés elkészüljön, természetesen szükségünk van a negyedóránként rendelkezésre álló H-03-as, vagy H-04-es produktumok csapadékintenzitás becsléseire. Az időbeli interpolációra elméletileg több módszer (lineáris, köbös, spline, stb.) is használható. Ezek vizsgálata után a fejlesztők a legegyszerűbb számítási igényű használata mellett döntöttek, mivel a különböző közelítések hasonló eredményeket nyújtottak. Az intenzitást tehát a vizsgált 15 percben állandónak feltételezik. Az így kapott csapadékösszegeken egy nagyon egyszerű minőségellenőrzést hajtanak végre a Nowcasting SAF felhőmaszk produktuma segítségével. Ezzel kiszűrjük a környezetükből kiugró értékeket, és a fizikailag értelmetlen csapadékösszegeket. A különböző időszakokra megadott csapadékösszeg tehát az így kapott negyedórás becslések összege.

Az így kapott becslés továbbra is terhelt véletlen és szisztematikus hibával. Ezek kiküszöbölése érdekében a következő lépésben az eredményeket összevetik szinoptikus állomások csapadékgyűjtőinek adataival. Mivel ezek a mérések is hibával terhelték, ezért ezeket is korrigálják. Ebben az esetben a legnagyobb hibát az okozza, hogy a szélmező a csapadékgyűjtő környezetében deformálja a mezőt. Ennek hatására az edénybe eltérő mennyiségű csapadék hullik ahhoz képest, mint ha szélcsendben mértünk volna. Ezt a hatást egy arányossági tényező bevezetésével csökkentik, ami leginkább a csapadékgyűjtő magasságában mért szélereősségtől függ. Ezekkel a korrigált, térben interpolált adatokkal végzik a műholdas becslés első kalibrációját. Eredményül egy olyan közelítést kapunk,

melyben minden rácspontban szerepel a műholdas csapadékösszeg becslése, és ezek felszíni mérésektől vett hibáját jellemző szám.



II-3. ábra: A H-05-ös csapadékösszeg becslésének egyszerűsített folyamatábrája

Ez az eredmény azonban továbbra is tartalmazza a csapadékmérők egyenetlen eloszlása, illetve a domborzat figyelmen kívül hagyása miatt keletkezett hibákat. Ezért a műholdas becsléseket numerikus csapadék-mennyiség előrejelzésekkel is kombinálják. Így minimalizálni tudják a domborzat csapadékmezőre gyakorolt hatását is, hiszen a numerikus modell fizikai kényszerei között szerepel a domborzat is.

Végül, hogy a műholdak és a numerikus modell által előre jelzett csapadékösszegeket össze lehessen vetni, mindkettőt azonos rácusra kell helyezni, majd szükséges a numerikus előrejelzések korrekciója a felszíni mérések segítségével, hasonlóan ahhoz, ahogy az a műholdas becslések esetén is történt. Így tehát két csapadékösszeg-eloszlás áll rendelkezésünkre ugyanazon a rácson: a műholdak, illetve a numerikus modell eredményei alapján előállított csapadékmező. Mindkét esetben rendelkezésre áll a rácspontra becslült csapadékösszeg, illetve egy korrelációs együttható, ami az eljárás során létrehozott, a felszíni mérésekből interpolált csapadékmezővel való kapcsolatot jellemzi. A végleges becslést, a csapadékösszeg térbeli eloszlását e két mező összefésülésével hozzák létre olyan módon, hogy a rácsponti értékeket a korrelációs együtthatóknak megfelelően súlyozzák. A folyamat fő állomásait a II-3. ábrán követhetjük nyomon.

A műholdas és numerikus becslések eredményei jól kiegészítik egymást, mivel az előbbi elsősorban a meleg évszakokban és az alacsony földrajzi szélességeken, míg utóbbi hideg évszakok idején, a közepes szélességeken nyújt jobb teljesítményt. Ezért tehát a két módszer kombinálását tartják napjainkban a legígéretesebb fejlődési irányának.

III. A verifikáláshoz használt módszerek

A MISH interpoláció

(Szentimrey és Bihari, 2008 alapján)

Munkánk során a felszíni csapadékmérők adatai az ezzel az interpolációs módszerrel előállított 0,05°-os rácshálón álltak rendelkezésünkre. Az eljárást az Országos Meteorológiai Szolgálat munkatársai fejlesztették ki. Céljuk egy olyan programcsomag létrehozása volt, mely a meteorológiai elemek Magyarország területére vonatkozó interpolációját végzi el, felhasználva a klimatikus ismereteket is.

A programcsomag a MISH nevet kapta, ami a „**M**eteorological **I**nterpolation based on **S**urface **H**omogenized **D**ata **B**asis” kifejezés rövidítéséből állt elő.

Az interpolációs eljárás figyelembe veszi az interpolálandó meteorológiai paraméter valószínűségi eloszlását. Normál eloszlású paraméter (például a hőmérséklet) esetén additív formulát használ, míg kvázi-lognormális eloszlás esetén (ilyen például a csapadék) multiplikatív formulával történik az interpoláció.

A MISH interpoláció egyik újítása – összevetve más térbeli interpolációs eljárásokkal –, hogy a számításokhoz nem csak egy időbeli állapot értékeit használja fel, hanem a hosszú idősorokból származtatható statisztikai információkat is figyelembe veszi.

A várható interpolációs hiba függ az interpolációs paramétereiktől, például a súlytényezőktől. Optimális interpolációs paraméternek nevezzük azokat a paramétereket, melyekkel a hiba minimális. Ezek a paraméterek különböző klimatológiai statisztikák függvényei, mint például a várható értéknek, a szórásnak és a korrelációnak. Ezen statisztikák helyes modellezése döntő fontosságú a meteorológiai elemek interpolációjában.

Az interpoláció menete három fő részre bontható. Az elsőben a klimatikus statisztikai paramétereket modellezzük a hosszú homogén adatsorok segítségével; majd ezek függvényében a program kiszámolja az optimális interpolációs paramétereket. Végül a kiszámított optimális paramétereket és a prediktorok értékeit – azaz a rendelkezésre álló felszíni méréseket – behelyettesítjük a megfelelő – additív vagy multiplikatív – interpolációs formulába.

A MISH programcsomag két fő részből áll: a modellező és az interpoláló részből. A modellező egységben az optimális paraméterek kiszámítása történik a hosszú homogenizált idősorok és egyéb kiegészítő információk feldolgozásával. Ezt a számítást csupán egyszer kell elvégezni az interpoláció előtt. Itt történnek még a reprezentativitásra vonatkozó vizsgálatok is. Az interpoláló részben a meteorológiai elemre vonatkozó megfelelő formula felhasználásával napi, havi és többéves interpolációk készülnek. Az eredmények reprezentativitásának modellezése is megtörténik. Fontos megemlíteni, hogy az interpoláció már kevés prediktor esetén is sikeres, illetve a rendszer kiegészítő háttérinformációk kezelését is lehetővé teszi, mint például műholdas és radarmérések, illetve előrejelzési értékek.

Statisztikai paraméterek számításához felhasznált képletek

A IV. és V. fejezetben a H-05-ös csapadékbecslések verifikációját különböző statisztikai mérőszámok összehasonlítása alapján végezzük el. Ebben az alfejezetben a felhasznált matematikai összefüggéseket ismertetjük.

A következő képletekben m_i a műholdas becslés, g_i a felszíni megfigyelés értékét jelöli, n az összes becslés-megfigyelés adatpár száma.

- Átlagos hiba (SME, Standard Mean Error): a becslés és megfigyelés átlagos különbsége.

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (m_i - g_i)$$

- Átlagos abszolút hiba (SMAE, Standard Mean Absolute Error): a becslés és megfigyelés közötti eltérés abszolút értékének átlaga.

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |m_i - g_i|$$

- Négyzetes középérték hibája (RMSE, Root Mean Square Error): a becslés és megfigyelés közötti négyzetes eltérés négyzetgyökének átlaga.

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (m_i - g_i)^2}$$

- Korrelációs együttható (CC, Correlation Coefficient): a becslés és megfigyelés közötti lineáris összefüggés mértéke.

$$\frac{\sum_i g_i \times m_i - \frac{1}{n} \sum_i g_i \sum_i m_i}{\sqrt{\left(\sum_i g_i^2 - \frac{1}{n} \sum_i g_i \sum_i m_i\right) \times \left(\sum_i m_i^2 - \frac{1}{n} \sum_i g_i \sum_i m_i\right)}}$$

- Szórás (STD, Standard Deviation): A becslés átlagos hibájától való eltérések négyzetének számtani közepéből vont négyzetgyök értéke.

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[(g_i - m_i) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (m_i - g_i) \right]^2}$$

A következő paraméterek számításához el kell készíteni a becslések 2x2-es kontingencia táblázatát. Ebben a táblázatban egy adott időszakra – a mi kiértékelésünk során egy hónap – összegeznünk kell azokat az adatpárokat, amikor mind a műhold, mind a referencia adat alapján volt/nem volt csapadék, illetve amikor a két érték ellentétes csapadékgizisztenciára utal. A táblázat felépítését a III-1. táblázat szemlélteti.

		Csapadék megfigyelés	
		van ($\geq 0,25$ mm)	nincs ($< 0,25$ mm)
Műholdas becslés	van	h (hits)	f (false)
	nincs	m (misses)	z (zero)

III-1. táblázat: 2x2-es kontingencia-táblázat

- Pontosság (Accuracy)

A pontosság a helyes becslések arányát jelenti az összes becsléshez képest.

$$ACC = \frac{z + h}{n}$$

- Észlelés valószínűsége (Probability of Detection, POD)

Észlelés valószínűsége általánosságban az előre jelzett, illetve a bekövetkezett eseményeknek a hányadosa. Eseménynek mi a csapadékos helyzeteket tekintettük,

így a pontos definíció esetünkben: a helyes esős becslések és az összes esős megfigyelés hányadosa.

$$POD = \frac{h}{h + m}$$

A tört 1 és 0 között vehet fel értéket, és az 1 jelenti az esemény tökéletes becslését.

A későbbiekben hivatkozunk rá, de közvetlenül nem számoljuk a POFD (Probability of False Detection) hányadost, azaz a hibás észlelések valószínűségét. Ezt a következő képlet alapján kaphatjuk meg:

$$POFD = \frac{f}{z + f}$$

Az arány tehát azt fejezi ki, hogy az összes megfigyelt száraz esetnek mekkora része bizonyult hibás becslésnek.

- Téves riasztás arány (False Alarm Ratio, FAR)

A FAR azt mutatja meg, hogy az összes olyan esetből, amikor a műhold csapadékot becsült, mennyi volt téves. Értéke legjobb esetben 0, legrosszabb esetben 1.

$$FAR = \frac{f}{f + h}$$

A következőkben néhány összetettebb eredményességi indexet mutatunk be.

- True Skill Score (TSS)

A TSS – vagy más néven Hanssen-Kuipers Score – arra a kérdésre adja meg a választ, hogy a becslés mennyire tudja megkülönböztetni a csapadékos és a száraz eseményeket. Értékkészlete a –1 és +1 közötti tartomány. A becslés annál sikeresebb, minél közelebb van a +1-es értékhez.

$$TSS = \frac{hz - fm}{(h + m)(f + z)}$$

Az összefüggés felírható a *POD* és *POFD* különbségeként is.

- Critical Success Index (CSI)

A Pontossághoz hasonló mérőszám, arról tájékoztat, hogy a becsült esemény hogyan viszonyul a bekövetkezett eseményhez. Értékét a 0-1 intervallumból veheti fel, és a becslés annál eredményesebb, minél közelebb van az 1-hez.

$$CSI = \frac{h}{h + m + f}$$

- Heidke Skill Score (HSS)

A HSS a közelítés hatékonyságát a helyes becslések véletlenszerű (CRF, Correct Random Forecast) várható számához hasonlítja. Mindenekelőtt tehát ez utóbbi mennyiséget kell kiszámolnunk:

$$CRF = \frac{(h + f)(h + m) + (z + f)(z + m)}{n}$$

A Heidke Skill Score számításakor az ACC képletét módosítjuk oly módon, hogy a számlálóból és a nevezőből is levonjuk CRF értékét.

$$HSS = \frac{h + z - CRF}{h + f + m + z - CRF}$$

Értékkészlete a $-\infty$ -1 intervallum, és a pozitív értékek jelentik azt a tartományt, amikor az alkalmazott becslés eredményesebb, mint ha véletlenszerű eljárást alkalmaztunk volna.

IV. Napi csapadékösszegek feldolgozása

Felhasznált adatok

A magyarországi észlelőhálózatban a csapadékméréseket kétféle módon végeznék. Az automata állomások tíz percenként továbbítják a csapadékösszeget. Az országban mintegy száz ilyen állomás működik. A hazánk területén hullott csapadék mennyiségéről területileg sokkal jobb felbontásban értesülhetünk a több, mint fél ezer csapadékmérő állomáson napi méréseiből. (Mersich et al., 2003)

A műholdas csapadékbecslések közül legelőször a 24 órás csapadékösszegeket vizsgáltuk. Ehhez felhasználtuk a H-05-ös produktum egy napra vonatkozó becsléseit egy viszonylag szabálytalan, sűrű rácson. Ezeket az adatokat a felszíni mérések interpolációjával előállított napi csapadékösszegekkel vetettük össze, melyek egy szabályos, $0,05^\circ \times 0,05^\circ$ felbontású rácson álltak rendelkezésünkre. A rács az északi szélesség $45,75^\circ$, keleti hosszúság $16,2^\circ$ és az északi szélesség $48,7^\circ$, keleti hosszúság $22,9^\circ$ között kifeszített téglalpra lett felállítva. Összesen 60×135 rácspontot kaptunk.

A felszíni adatok interpolációja a MISH alkalmazással, az OMSZ-ban kifejlesztett meteorológiai interpolációs eljárással készült, melyről részletek a „Verifikáláshoz használt módszerek” című fejezetben olvashatók.

Kétféle interpoláció készült a napi adatok verifikációjához. Az egyik az automata és csapadékmérő állomások által jelentett napi csapadékösszegek alapján készült. Ekkor a rendelkezésre álló bemenő fájl egy 60 sorból és 135 oszlopból álló szövegfájl volt, amiben már a napi rácsponti értékek szerepeltek a $0,05^\circ$ -os felbontás szerint.

Az adatok összehasonlításakor felmerülő probléma volt, hogy a műholdas napi csapadékösszegek 6 UTC-6 UTC időszakra vonatkoztak, míg a felszíni csapadékmérők napi összegei a szinoptikus észlelések szerint 7 UTC-7 UTC időszakra érvényesek. A két adattípus tehát nem teljesen egyidejű, ami egy plusz hibaforrásként jelentkezik az elemzés során. Sajnos ezt a hibát nem lehetséges korrigálni, mivel ezek a tulajdonságok a bemenő adatok sajátosságai. Az ebből adódó hiba azonban feltételezésünk szerint nem befolyásolja jelentősen a kapott eredményeket.

A másik fajta interpoláció adatainak feldolgozásánál ez a hiba már nem merül fel, mivel ebben az esetben az automata állomások órás adatainak 24 órás összegzését kellett először a bemenő adatfájlban elvégezni. Ezt az összegzést reggel 6 UTC és este 6 UTC között végeztük el, így a műholdas becslés és a felszíni csapadékgyűjtő mérései ugyanarra az időszakra vonatkoztak. Ebben az esetben az interpoláció nem tartalmazta az összes magyarországi csapadékmérő állomás adatait csupán az automata mérések eredményeit, mivel ezeken vannak csak óránkénti mérések.

Ahhoz, hogy az órás adatokból képzett napi csapadékösszegek is a megfelelő formátumban álljanak rendelkezésre, szükség volt az adatfájlokban található információk rendezésére. Az eredeti fájlokban ugyanis az adatok az egész vizsgált időszakra vonatkozóan szerepeltek, minden sorban egy óra adatai 2007. december 1-től 2008. december 31-ig. Egy sorban az összes, Magyarország területére eső rácspont értékei álltak. Első lépésben tehát el kellett végezni egy összegzést, melyben a megfelelő időponthoz tartozó 24 sor helyett létrejöttek a rácsponti napi csapadékösszegek. Az így kapott egy dimenziós vektor elemeit kellett végül az országot lefedő 60 x 135-ös mátrix megfelelő helyére helyezni. Ezt egy olyan rács segítségével oldottuk meg, melyben az országhatáron kívül eső rácspontok 0, az országon belüli pontok 1 értéket kaptak. Így azokat a csomópontokat, melyek kívül estek az értelmezési tartományunkon, sikerült kiszűrni.

A műholdas rácsponti koordináták ismertek, mint ahogy azok a koordináták is, ahol a napi összegek rendelkezésre álltak. A két információ együttes felhasználásával hoztuk létre a verifikáció megkezdéséhez szükséges adatszerkezetet.

Rácspontok párosítása

Ahhoz, hogy a két különböző hálón értelmezett adatforrást össze tudjuk hasonlítani, szükséges az egyik rács információit a másik rácson ábrázolni, a két adathalmazt egymásnak megfeleltetni.

Néhány éve már folyik az OMSZ-ban a műholdas adatok verifikálása. Eddig az összehasonlítás alapja a meteorológiai radarok alapján számított csapadékösszegek voltak. Így a korábban elkészített adatfeldolgozást végző programok és scriptek rendelkezésünkre álltak, feladatunk az algoritmusok átírása volt a felszíni csapadékgyűjtőkkel történő összehasonlításhoz.

A két feladat közötti egyik alapvető különbség, hogy a radarmérések eredményeit az országhatáron kívül eső rácspontokon is felhasználták az összehasonlításra, míg a csapadékmérők alapján elkészített interpoláció csak az ország határain belül nyújt megbízható pontosságú értékeket. Ezért mindenekelőtt azt a problémát kellett megoldanunk, melyben az interpolált rácson belül megkülönböztetjük az országhatáron kívül és belül eső pontokat. A feladat megoldásához felhasználtuk a korábban bemutatott szűrő mátrixot, melynek segítségével a különböző elhelyezkedésű rácspontok könnyen kiválogathatók. Minden későbbi feldolgozás első lépéseként a felhasználandó felszíni csapadékadatokat e mátrix segítségével válogattuk ki.

A rácspontok párosításának logikája a következő volt: minden műholdas rácsponthoz megkerestük azt a felszíni pontot, amelyik a legközelebb állt hozzá, majd a továbbiakban az adott ponthoz tartozó felszíni csapadék értéket a műholdas rács koordinátájához kötöttük. Így minden műholdas csapadékösszeghez tartozik pontosan egy felszíni csapadékösszeg. A megfeleltetés visszafelé nem egyértelmű, hiszen egy felszíni rácspont több műholdas rácsponthoz is közel eshetett. Néhány esetben akadt olyan felszíni pont is, mely egyetlen műholdas rácsponthoz sem volt kapcsolható.

A gyakorlatban az adatpárok létrehozása három program futtatása után valósult meg. Ebből az első kettő választotta ki az egymásnak megfelelő rácspontokat. Ezeket elegendő volt a munka elején mindössze egyszer lefuttatni, hiszen a két rács nem változott meg a vizsgált időszak alatt, mindig ugyanazokkal a koordinátákkal dolgoztunk. Az első részfeladat a rácspontok közötti távolságok kiszámolása, és a legkisebb távolság megállapítása volt. A feladat megoldását követően két fájlt kaptunk. Az egyikben a műholdas rácspontok, és a hozzá legközelebb eső felszíni rácspont sor-oszlop koordinátája mellett szerepelt a két pont távolsága is. A második állomány tartalmazta azt az információt, hogy az egyes felszíni rácspontok mennyi műholdas rácsponthoz álltak legközelebb. Ebben a munkafázisban még az összes felszíni rácspontot felhasználtuk a számításokhoz, az országhatáron belüli és kívüli rácspontokat nem különböztettük meg egymástól. Erre azért volt szükség, mert így elkerülhettük azt a jelenséget, aminek hatására az országhatárra eső pontok nagyon sok műholdas rácsponthoz álltak volna közel. A feldolgozás második lépésében egy olyan listát hoztunk létre, melyben csak azok a műholdas rácspontok szerepeltek, melyekhez országhatáron belül fekvő felszíni rácspont tartozott. Az állomány tartalmazza a műholdas

rácspont földrajzi koordinátáit, a műholdas rácspont és a hozzátartozó felszíni rácspont sorozlop koordinátáit. A későbbiekben e fájl beolvasásával kezeljük a rácsponti értékeket.

Végül, a folyamat harmadik lépéseként a meglévő információk alapján már könnyen össze tudtuk állítani az adatpárokat tartalmazó állományt: a program végigfut a pontpárok koordinátáit tartalmazó fájlban, és az adott rácsponrhoz tartozó csapadékösszegeket beírja a megfelelő állományba. Ebben a lépésben készül el az a lista is, melyet a HAWK-ban (Hungarian Advanced Weather workStation) történő megjelenítéshez használunk fel. Ez annyiban több az adatpárokat tartalmazó fájlnál, hogy ebben szerepelnek a párral nem rendelkező, országhatáron kívül eső műholdas rácspontok is, illetve tartalmazza minden pont földrajzi koordinátáját is.

A feldolgozás gyorsítása érdekében az adatpárok összeállítását egy script segítségével automatizáltuk, így egyhavi adatmennyiséget tudtunk egy futtatás során feldolgozni.

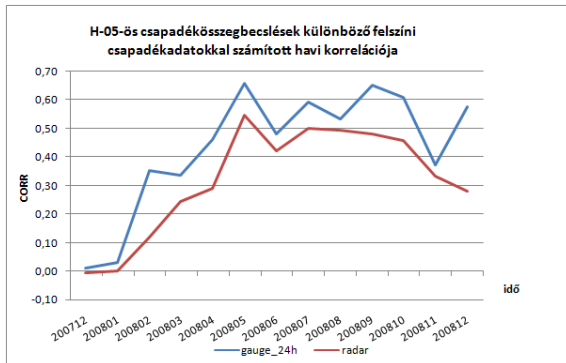
A következőkben az elkészült állományokon elvégzett munkáról lesz szó.

A napi csapadékbecslések statisztikai tulajdonságai

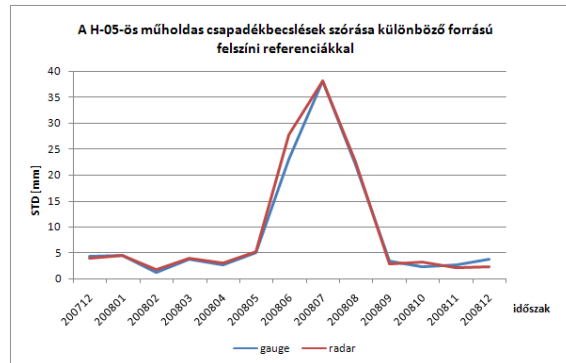
Alapstatisztikai paraméterek

A felszíni csapadékgyűjtők mérései és a műholdas becslések összehasonlításakor különböző statisztikai jellemzőket számítottunk ki, hogy megismerjük a produktum tulajdonságait. Igyekeztünk minél többféle eszközt felhasználva vizsgálni havi bontásban az időszakhoz tartozó összes napi adatpárokat tartalmazó fájlt. Ugyanezeket a módszereket használták korábban a radarmérésekkel történt verifikáció során is, így a két módszer eredményeit most összehasonlíthatjuk.

Kiszámoltunk néhány, az adott hónapot jellemző alapvető statisztikai paramétert, úgymint az átlagos hibát, átlagos abszolút hibát, négyzetes középérték hibáját, korrelációs együtthatót illetve szórást. A mérőszámok kiszámításához felhasznált képletekkel részletesen foglalkozunk a „Verifikáláshoz használt módszerek” című fejezetben.



IV-1. ábra: Műholdas csapadékbecslés korrelációs együtthatóinak havi értékei felszíni mérésekkel illetve radarmérésekkel történő összehasonlítás esetén



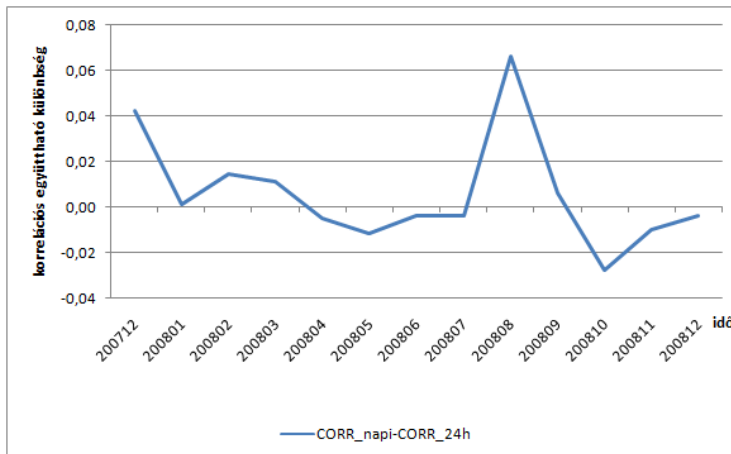
IV-2. ábra: Műholdas csapadékbecslés szórásának havi értékei felszíni mérésekkel illetve radarmérésekkel történő összehasonlítás esetén

A radarral és felszíni csapadékgyűjtők (rain gauge) alapján számított paramétereket egy-egy diagramon ábrázoltuk a vizsgált időszakra (IV-1 – IV-2. ábra). A grafikonokon jól látszik, hogy a verifikáció eredményei a két különböző referenciaadat ellenére nagyon hasonlóak egymáshoz. A szórás, az átlagos abszolút hiba és a négyzetes középérték hibája esetén a műholdas becslés statisztikái alig térnek el egymástól. Mivel a három paraméter éves menete nagyon hasonlít egymáshoz, a dolgozatban csak a szórás diagramját mutatjuk be. (A verifikáció során elkészített összes grafikon és diagram a CD mellékleten található.) A szórás és az átlagos abszolút hiba esetében a felszíni mérésekkel végzett összehasonlítás statisztikai paraméterei legtöbb esetben a radarral végzett értékelés paraméterei alatt maradnak. Tehát a műholdas becslés szórása és átlagos abszolút hibája csapadékmérőkkel történő összehasonlítás esetén kisebb az időszak legnagyobb részében. Szembetűnő még, hogy nyáron a becslések szórása jelentősen megnövekszik. Ez a nyári intenzív konvektív csapadékhullással állhat összefüggésben.

A különböző felszíni referenciaadat alapján az eredmények között a korrelációs együttható értékeiben jelentkezik a legnagyobb különbség (IV-1. ábra). A havonkénti változások iránya megegyezik, de a vizsgált időszak első hónapjait leszámítva a műholdas becslések jobban korrelálnak a felszíni csapadékgyűjtők interpolációjához, mint a radaradatokhoz. Ezt az eltérést okozhatja például, hogy a radar által mért csapadékmérőben sokkal finomabb szerkezetek is megjelennek, még a két rácsháló egységesítése után is, mint a felszíni adatok csapadékmérőjében. A műholdas adatok térbeli felbontása sokkal közelebb áll a felszíni mérések interpolációjának térbeli felbontásához. A két együttható közötti eltérés az esetek

többségében eléri az egytizedes különbséget, sőt a korrelációk közötti különbség 2008 szeptemberében 0,17, decemberben 0,29 volt.

Jól látható, hogy a korrelációs együttható értékei a konvektív csapadékok gyakoriságának növekedésével együtt növekednek. Ez arra utal, hogy a műholdas csapadébecslés kevésbé hatékony a télen gyakrabban előforduló, réteges szerkezetű felhőkből hulló csapadék mennyiségének



meghatározásában. Hasonló eredményekről olvashatunk más összefoglaló munkákban is, például Ebert et al. (2007) tanulmányában.

Megvizsgáltuk azt is, hogy mennyire térnek el ezek az eredmények a két különböző interpolációval készült felszíni referenciával történő

IV-3. ábra: A napi és az órás adatokból képzett felszíni referencia-adatok korrelációs együtthatóinak különbsége

összehasonlítás esetében. Az egyes statisztikák különbségeit ábrázolva nem jelenik meg lényeges eltérés az eredmények között. A IV-3. ábrán a korrelációs együtthatók különbségei láthatók a vizsgált időszakban. A két becslés közötti eltérésekben tendencia nem fedezhető fel, sokkal inkább tűnnek véletlenszerűnek a különbségek. Ez az eredmény is megerősíti feltételezésünket, hogy a napi egyszeri csapadékadatokból készült interpoláció használata – annak ellenére, hogy az értékek nem pontosan ugyanarra az időszakra vonatkoznak, mint a műholdas becslések – a végeredményt tekintve nem okoz jelentős hibát.

Mivel a következő fejezetekben, a 24 óránál rövidebb időszakra vonatkozó becslések értékeléséhez az órás interpoláció adatait használjuk fel, a továbbiakban a napi eredmények bemutatásához is ezeket az eredményeket ismertetjük.

A többkategóriás statisztikai vizsgálatok eredményei

A napi csapadék-becslések értékelésének másik módszere a pontos és a pontatlan riasztások arányát tárja fel. Ehhez egy úgynevezett kontingencia táblázatot készítettünk, melyben a csapadékösszeget tizenegy kategóriába soroltuk. Az osztályok határértékeit a IV-1. táblázatban ismertetjük.

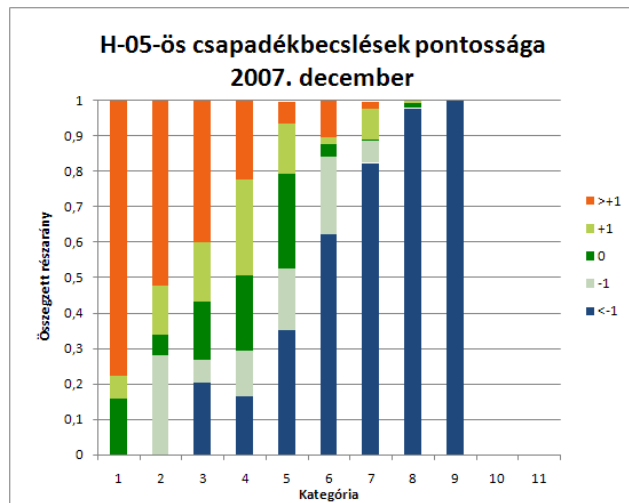
1	0-0,25 mm	5	2-4 mm	9	16-32 mm
2	0,25-0,5 mm	6	4-8 mm	10	32-64 mm
3	0,5-1 mm	7	8-10 mm	11	>64 mm
4	1-2 mm	8	10-16 mm		

IV-1. táblázat: 11 kategóriás kontingencia táblázat határértékei

A kontingencia táblázatban egy cella sorszáma a felszíni csapadékgyűjtő szerint mért mennyiséget, oszlopindexe pedig a műhold által becsült mértéket jelenti. A cellában szereplő érték azt mondja meg, hogy a felszíni mérés során adott kategóriában (sorindex) összesen előforduló eseteiből a műholdas becslés milyen arányban jelzett adott másik kategóriát (oszlopindex). A táblázat főátlójában tehát a pontos becslések aránya olvasható, míg a főátló alatti cellákban az alábecslések, a felette található cellákban pedig a felülbecslések jelennek meg. A tabella felépítéséből következik, hogy az egy sorban található értékek összege mindig 1.

A becslés tulajdonságait szemléletes módon oszlopdiagramon ábrázolhatjuk. Minden kategóriában összesítettük az alá- és felülbecslések arányát, amit a pontos becslés aránya mellett kategóriánként tüntettünk fel. Az oszlopdiagramokon külön jeleztük a ± 1 kategóriába eső becsléseket, így lehetőség van az eredményeket valamivel árnyaltabban elemezni.

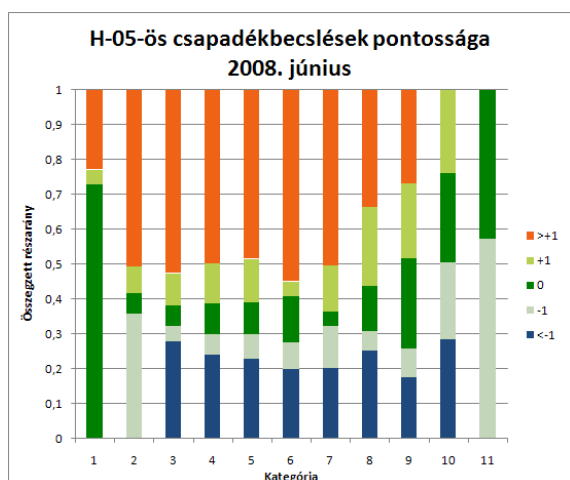
Felismerhető néhány alapvető tendencia, ha végig nézzük a diagramokat a teljes vizsgált



IV-4a. ábra: A H-05-ös csapadékbecslések pontossága 2007. decemberben kategóriák szerint, külön kiemelve a ± 1 kategóriás hibát és az ennél nagyobb felé- illetve alábecsléseket

időszakra. Jellemző például, hogy a nyári hónapok felé haladva az alacsony csapadékösszegek beválása folyamatosan javul. A IV-4a. ábrán a 2007. decemberi adatokat láthatjuk, az óras felszíni adatsor alapján. A grafikonról leolvasható, hogy a kis csapadékösszegeket a műholdas produktum jelentős százalékban felülbecsli, és a pontos közelítések aránya alacsony. Legsikeresebbnek a 4-5-ös kategóriában tekinthető a becslés. Itt a pontos találati arány 20% feletti, és ha a

csak egy osztályköznyi tévedést is számításba vesszük, a helyes kategóriabecslések aránya megközelíti akár a 60%-ot is. Összevetve 2008 téli hónapjainak diagramjával, a legfeltűnőbb változás, hogy a csapadékmentes időszakok találati aránya ugrásszerűen megnövekedett, 2008 decemberében például 90%-os pontos találati arányt állapíthattunk meg az 1-es kategóriában. A csapadékos helyzetekben azonban az alábecslések – még hozzá a több mint egy kategóriás hiba került túlsúlyba. Az utóbbi tulajdonság 2008 szeptemberétől jelenik meg határozottan az eredményekben. Ez összefüggésben állhat azzal, hogy augusztusban módosították a H-02-es és H-03-as produktumok számítási algoritmusait, melyekre a H-05-ös becslés alapul.



IV-4b. ábra: A H-05-ös csapadékbecslések pontossága 2008. júniusban kategóriák szerint, külön kiemelve a ± 1 kategóriás hibát és az ennél nagyobb felé- illetve alábecsléseket

A nyári hónapok adataira (IV-4b. ábra) jellemző a felülbecslés, valamint az, hogy a különböző kategóriákban nagyjából kiegyensúlyozott a helyes találat aránya. A csapadékmentes napokat több mint 70%-ban helyesen határozza meg a műhold. A téli hónapokhoz képest alapvető eltérés ezen kívül, hogy a nagyobb mennyiségű csapadékok esetén a jó becslések magasabb arányban jelennek meg, mint a kis csapadékok. A 16 mm feletti napi csapadékösszegekre vonatkozóan (9-11

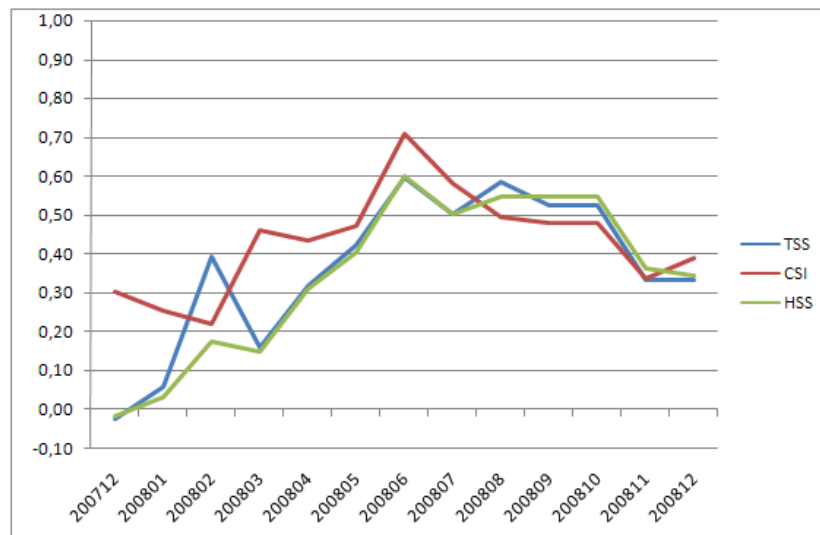
osztály) a jó becslések aránya meghaladja az 50%-ot. Ez a tulajdonság a becslési eljárásnak azt a fontos jellemzőjét támasztja alá, hogy a konvektív csapadékok esetén nagyobb esély van a helyes napi összeg meghatározására, mint a télen sokkal inkább gyakori réteges felhőzetből hulló csapadékok esetén.

A többkategóriás statisztikai elemzés a fentihez hasonló eredményt mutat, ha felszíni referenciaként radaradatokat használunk. Kisebbségek természetesen jelentkeznek a helyes becslések arányában, azonban ezek egyik esetben sem számottevőek.



IV-5. ábra: A H-05-ös csapadékbecslések ACC (accuracy), POD (prob. of detection) és FAR (false alarm ratio) értékeinek időbeli menete 2007. 12. – 2008. 12.-ig

A tizenegy kategóriájú kontingencia táblázatot könnyen egyszerűsíthetjük két kategóriájú táblázattá (III-1. táblázat). Ebben az esetben egy konkrét kérdésre keressük a választ, és az adatokat ennek megfelelően vonjuk össze. Mi az átalakításnál a „Volt-e csapadék?” kérdést tettük fel. A kapott értékeket felhasználva aztán számos olyan statisztikai mérőszámot alkothatunk meg, melyek a becslések sikerességét szemléltetik. Ezek számításáról részletesen a III. fejezetben foglalkoztunk, most tekintsük át a konkrét eredményeket!



IV-6. ábra: A H-05-ös csapadékbecslések TSS (true skill score), CSI (critical success index) és HSS (Heidke skill score) értékeinek időbeli menete 2007. 12. – 2008. 12.-ig

A IV-5-ös ábrán a becslések pontosságát (ACC), a csapadékos helyzetek észlelésének valószínűségét (POD) és a helytelen észlelések arányát (FAR) ábrázoltuk. A diagramokon szereplő értékeket az órás felszíni csapadékösszeg interpolációval történt összehasonlítás során kaptuk. Szembetűnő az ACC és FAR görbék alapján, hogy a vizsgált időszak elején a becslések lényegesen rosszabbul szerepeltek, mint az időszak végén. A POD görbéjének csökkenése azzal magyarázható, hogy az időszak elejéhez képest az utolsó hónapokban sokkal többször becsült a műholdas algoritmus csapadék nélküli helyzetet. Ez lényegesen javított a helyes „nullás” becslések beválásán – csökkentette a téves riasztások arányát –, viszont megnövelte az elmulasztott riasztások számát, ami a POD értékeinek csökkenésével járt együtt. A határozott fejlődés a IV-6. ábrán feltüntetett, teljesítményt kifejező mérőszámok időbeli menetén is egyértelműen látszik. A HSS például 2007 decemberében még negatív értéket vett fel, ami arra utal, hogy a műholdas becslés kevesebb helyes találatot adott, mint egy véletlenszerű közelítés. A tavaszi hónapokra vonatkozóan gyors

emelkedést figyelhetünk meg ezen paraméterek menetében, ami a műholdas becslések fejlődésére utal. A jobb teljesítmény okai lehetnek a könnyebben becsülhető, intenzívebb csapadékfajták előfordulásának sűrűsödése, illetve az esetleg időközben történt algoritmus-fejlesztések. Fontos megemlítenünk, hogy a görbe a téli hónapokban nem csúszik vissza a 0 közeli szintre, ami ugyancsak a fejlődés jele.

Figyelemre méltó tény, hogy radarmérésekkel történő verifikáció során a hasonló éves menet mellett a POD-on kívül valamennyi mérőszám gyengébb értéket vesz fel. Bár a POD értékek magasabbak mint az itt bemutatott esetben, a hibás riasztások aránya is egész évben magasnak mondható. Így összességében a becslés teljesítményének értékelése rosszabb eredményeket ad, mint a felszíni csapadékgyűjtőkkel számított értékek.

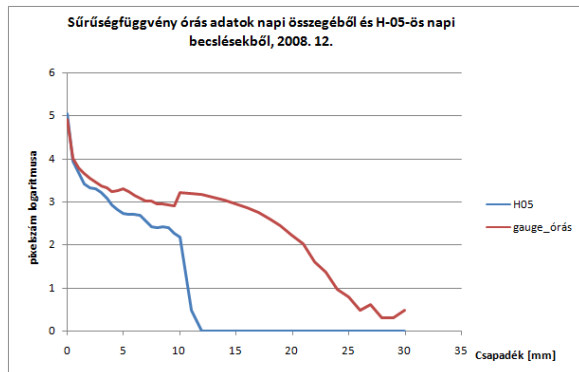
Sűrűségfüggvények tulajdonságai

A becslések egy másik jellemzőjét emeli ki a sűrűségfüggvények ábrázolása. A függvény úgy készül, hogy a csapadékmennyiséget intervallumokra osztjuk – tíz milliméter alatt félmilliméterenként, felette milliméterenként – majd megszámloljuk, hogy az adott hónapban adott intervallumban hányszor fordult elő becsült és mért érték. A diagramon a csapadékmennyiség függvényében az esetszámok logaritmusát tüntetjük fel, hogy a két görbe közötti eltérések szemléletesebbek legyenek.

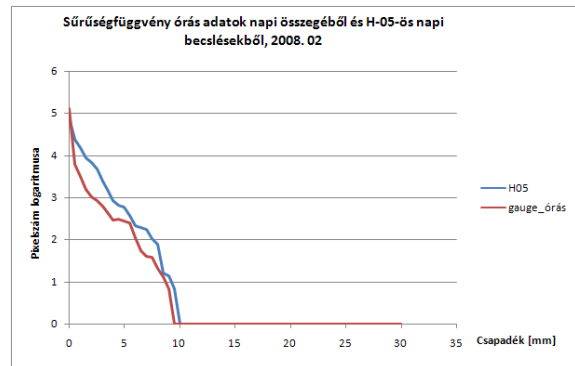
A becsült értékekből és a mérési eredményekből készült két függvényt egy ábrára felrajzolva jól látszik, hogy az adott hónapban milyen arányban jelennek meg a különböző mennyiségű csapadékok a felszíni referenciához képest. Az értékek nincsenek párosítva ebben az esetben, ezért lehetséges az például, hogy egyes hónapokban a műholdas becslések görbéje a nagyobb mennyiségű csapadékoknál az észlelések görbéje felett fut, annak ellenére, hogy a többkategóriás vizsgálat során a felső kategóriákban a műholdak által alábecslést tapasztaltunk.

Az eredmények között most is felfedezhetjük az évszakos eltéréseket. A hűvösebb hónapokban változatos a függvény menete. Egyes hónapokban (például 2008 decemberében, IV-7a. ábra) jelentősen a referencia görbéje alatt helyezkedik el, míg máskor a becslés és a megfigyelés vonala szorosan egymás mellett halad (IV-7b. ábra). A IV-7a. ábráról leolvasható, hogy a 12 mm feletti napi csapadékösszeget a műholdas produktum minden esetben alábecsli. Sokkal jobb egyezést mutat a februári grafikon (IV-7b. ábra),

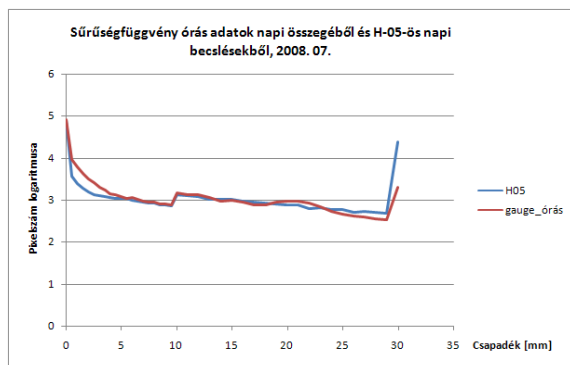
melyről az is látszik, hogy az alacsony csapadékösszegek a megfigyeléshez képest nagyobb számban fordultak elő a becslésben. Emellett a csapadék nélküli esetek száma jelentősen elmarad a felszíni mérések eredményeitől.



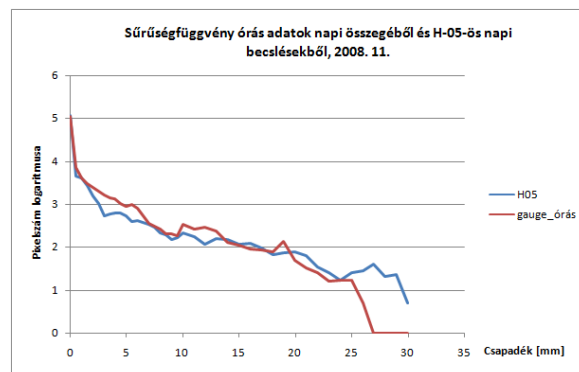
IV-7a. ábra: H-05-ös és felszíni csapadékmérők napi csapadékösszegeinek sűrűségfüggvényei 2008. december hónapra



IV-7b. ábra: H-05-ös és felszíni csapadékmérők napi csapadékösszegeinek sűrűségfüggvényei 2008. február hónapra



IV-7c. ábra: H-05-ös és felszíni csapadékmérők napi csapadékösszegeinek sűrűségfüggvényei 2008. július hónapra



IV-7d. ábra: H-05-ös és felszíni csapadékmérők napi csapadékösszegeinek sűrűségfüggvényei 2008. november hónapra

A nyári hónapokban a két görbe legtöbbször még szorosabb kapcsolatot mutat. A IV-7c. ábráról leolvasható, hogy a becsült csapadékösszeg az 5 mm és 20 mm közötti tartományban a megfigyeléssel azonos számban jelenik meg. Az 5 mm alatti csapadékösszegek számát a műhold alábecsülte, míg a 25 mm feletti napi csapadék a becslésekben a ténylegesnél többször jelenik meg. A bemutatott görbe jellemző a többi nyári hónapra is.

Az átmeneti évszakokhoz tartozó sűrűségfüggvények is „átmenetiek”, ezek futása változik legtöbbször a hónapok között. Szemléltetésül a novemberi eredményt mutatjuk be a IV-7d. ábrán.

Műholdas csapadékbecslés statisztikai értékelése a szakirodalom tükrében

A fejezetben bemutatott eredményeink közül néhányat összevethettünk szakirodalmi források adataival is. Ezek alapján megállapítható, hogy a műholdas becslések minősége számottevően javult az elmúlt évtizedben.

Skomorowski et al. (2001) tanulmányában 1997. június és július hónapra közli minden napra a GPCP műholdas becsléseinek sűrű csapadékmérő hálózat adataival történt verifikációja során kapott POD és FAR értékeit az Alpok területére. Ezek mellett néhány további alapstatisztika havi értékeiről is tájékoztatnak. A IV-2. táblázatban ezeket a mennyiségeket vetjük össze a H-05-ös napi csapadékösszeg becslések eredményességével. Látható, hogy egyedül a téves riasztási aránynál nincs lényeges változás. Az összes többi esetben egyértelmű, hogy a H-05-ös becslések eredményesebbek, mint az idézett tanulmányban vizsgált GPCP-1DD becslés. A 2x2-es kontingencia táblázatokból (IV-3. táblázat, a-d) kitűnik, hogy elsősorban az általunk vizsgált H-05-ös becslések az elmulasztott riasztások és a csapadékmentes helyzetek helyes felismerésében mutatnak jobb teljesítményt a GPCP becsléseknél.

	Skomorowski et al. (2001) 97/06 és 97/07	H-05 08/06 és 08/07
Critical Success Index (CSI)	0,55 és 0,51	0,71 és 0,58
Prob. of detection (POD)	0,65 és 0,57	0,87 és 0,74
False alarm ratio (FAR)	0,22 és 0,18	0,20 és 0,28
True Skill Score (TSS)	0,32 és 0,40	0,6 és 0,5

IV-2. táblázat: Napi műholdas csapadékbecslések havi statisztikai mutatóinak összehasonlítása szakirodalmi adatokkal

1997/06		Csap. mérő		Σ	2008/06		Csap. mérő		Σ
		igen	nem				igen	nem	
GPCP	igen	41 %	12 %	53 %	H-05	igen	48 %	12 %	60 %
	nem	23 %	24 %	47 %		nem	7 %	33 %	40 %
	Σ	64 %	36 %	100 %		Σ	55 %	45 %	100 %
<i>IV-3a. táblázat: GPCP napi csapadékbecsléseinek beválása 1997. 06. hónapban, Skomorowski et al. (2001) alapján</i>					<i>IV-3b. táblázat: H-05-ös napi csapadékbecslések beválása 2008. 06. hónapban</i>				
1997/07		Csap. mérő		Σ	2008/07		Csap. mérő		Σ
		igen	nem				igen	nem	
GPCP	igen	33 %	7 %	40 %	H-05	igen	34 %	13 %	47 %
	nem	25 %	35 %	60 %		nem	12 %	41 %	53 %
	Σ	58 %	42 %	100 %		Σ	36 %	54 %	100 %
<i>IV-3c. táblázat: GPCP napi csapadékbecsléseinek beválása 1997. 07. hónapban, Skomorowski et al. (2001) alapján</i>					<i>IV-3d. táblázat: H-05-ös napi csapadékbecslések beválása 2008. 07. hónapban</i>				

V. A 24 óránál rövidebb időszakokra vonatkozó műholdas csapadékbecslések verifikációja

A H-05-ös produktum a napi csapadékösszegek mellett rövidebb időszakok lehullott mennyiségére is készít becsléseket. Háromóránként készülnek 3, 6 és 12 órás időszakra közelítések. Ebben a fejezetben ezeknek a becsléseknek a statisztikai elemzését végezzük el, a IV. fejezetben ismertetett eszköztár felhasználásával.

Felszíni referencia adatként az órás felszíni csapadékmérők adatainak interpolált mezőjét használtuk fel, a megfelelő időtartamra összegezve a megfigyeléseket. Az adatok szerkezete és a feldolgozás menete megegyezett a napi adatok eredményeinek ismertetésekor részletesen leírt folyamattal.

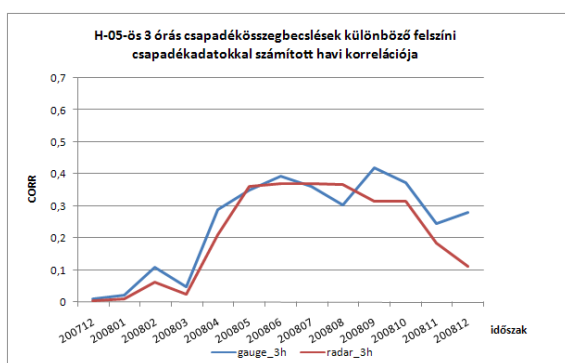
Alapstatisztikák változásai az egyes időlépcsőkben

Az alapstatisztikai paraméterek bemutatása most is a radaradatokat referenciának vevő eredményekkel együtt történik, hogy a két verifikáció közötti különbséget érzékeltesük.

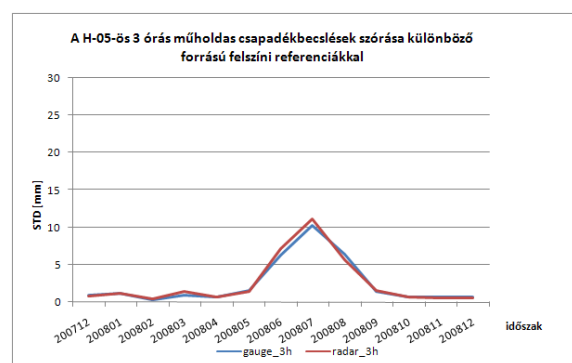
Az egyes paraméterek hónapos változásai általában megegyeznek, mind a három összegzési időszak esetében. A szórás (V-1d-f. ábra), átlagos abszolút hiba és a négyzetes középérték hibája a csapadékmérőkkel és a radarmérésekkel történt értékelés esetén is csaknem teljesen megegyezett. Az említett mutatók értékei az összegzési időszak növekedésével együtt nőttek, ami természetes, hiszen rövidebb idő alatt kevesebb csapadék hullik, így a valós értékű hibák is kisebbek.

Mint a 24 órás eredmények feldolgozásakor, most is a korrelációs együtthatók között van a legnagyobb különbség (V-1a-c. ábra). A legalacsonyabb értékeket a három órára összegzett csapadékmennyiségnél kaptuk, itt a legeredményesebb hónapban is csupán 0,4 a műholdas és a felszíni mérések közötti kapcsolatot kifejező mutató értéke. Az ennél hosszabb időszakok esetében a legjobb érték meghaladja a 0,6-et. Megfigyelve a különböző időszakra vonatkozó korrelációs együtthatók viselkedését, észrevehetjük, hogy a csapadékmérővel történt verifikáció során a kapcsolat erőssége sokkal érzékenyebb volt az időszak hosszára. Hat órás összegzés esetén a legjobban korreláló hónap együtthatója körülbelül két tizedet emelkedett a három órához képest. A radaradatokat referenciának tekintve ez a javulás nem érte el az egy tizedet sem. A kapott eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy az egy napnál rövidebb időtartamra szóló csapadékbecslések esetén nem minden esetben ad a

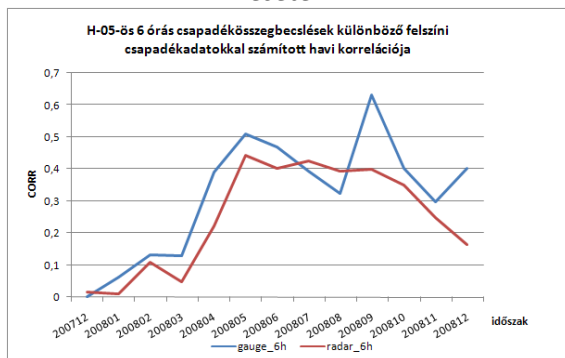
radarhoz képest határozottan jobb eredményt a csapadékmérőkkel történő összehasonlítás. Ennek oka lehet, hogy nyáron – amikor gyakoriak a helyi konvektív csapadékok – előfordulhat, hogy ezek olyan területek felett alakulnak ki, ahol nincs a közelben automata csapadékmérő állomás. Így ez a lehullott csapadékmennyiség nem kerül be az interpolált felszíni mezőbe, a radar azonban ezt is észleli. A vizsgált megfigyelési időszak hosszának növekedésével az ilyen helyzetek előfordulásának gyakorisága csökken az összes eseményhez képest, ami a felszíni csapadékmérőkkel történő összehasonlítás esetében a korrelációs együttható növekedésével járhat.



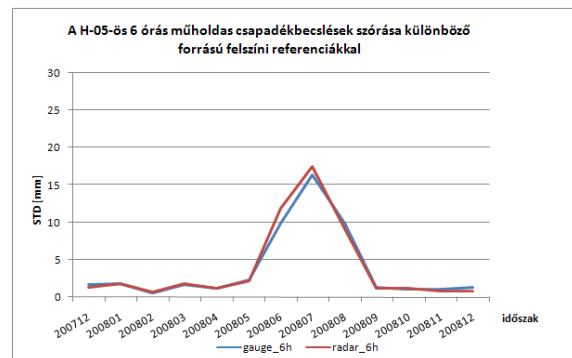
V-1a. ábra: Műholdas 3 órás csapadékbecslés korrelációs együtthatóinak havi értékei felszíni illetve radarmérésekkel történő összehasonlítás esetén



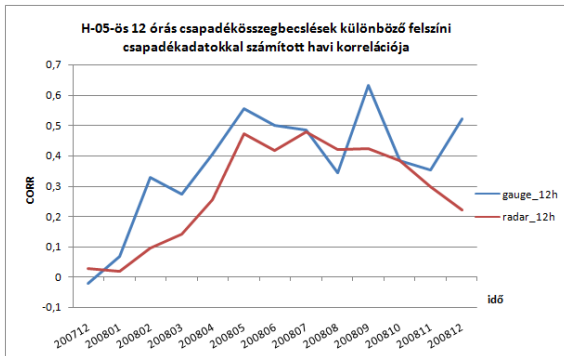
V-1d. ábra: Műholdas 3 órás csapadékbecslés szórásának havi értékei felszíni mérésekkel illetve radarmérésekkel történő összehasonlítás esetén



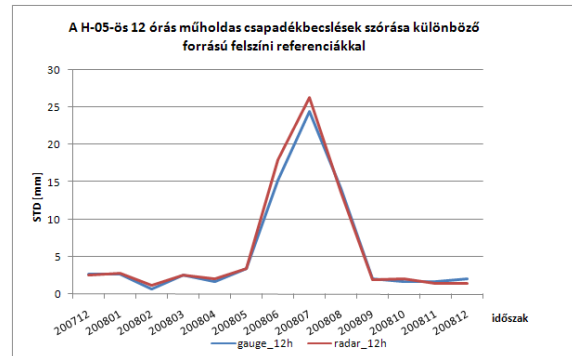
V-1b. ábra: Műholdas 6 órás csapadékbecslés korrelációs együtthatóinak havi értékei felszín illetve radarmérésekkel történő összehasonlítás esetén



V-1e. ábra: Műholdas 6 órás csapadékbecslés szórásának havi értékei felszíni mérésekkel illetve radarmérésekkel történő összehasonlítás esetén



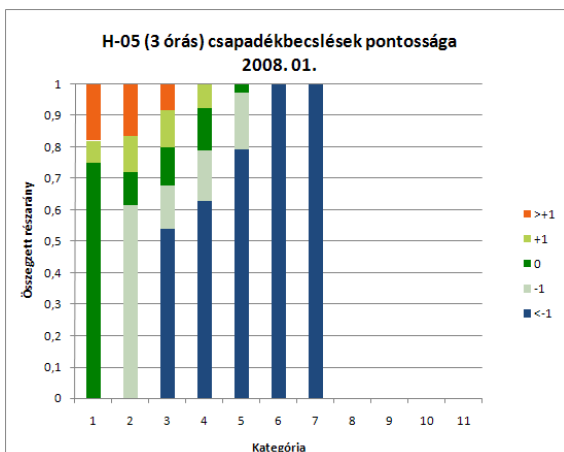
V-1c. ábra: Műholdas 12 órás csapadékbecslés korrelációs együtthatóinak havi értékei felszíni illetve radarmérésekkel történő összehasonlítás esetén



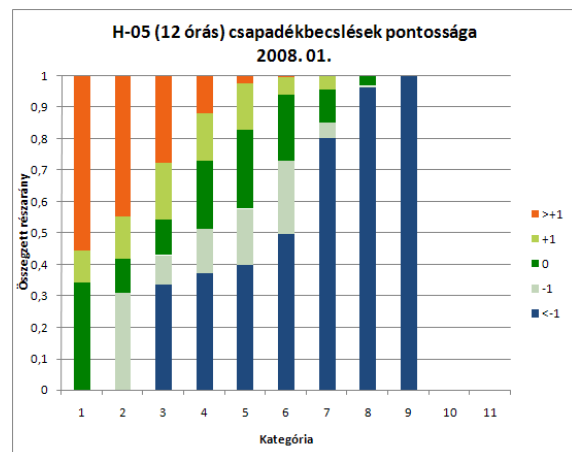
V-1f. ábra: Műholdas 12 órás csapadékbecslés szórásának havi értékei felszíni mérésekkel illetve radarmérésekkel történő összehasonlítás esetén

A többkategóriás statisztikák főbb jellemzői

A tizenegy kategóriás statisztika diagramjai alapján megfigyelhetünk néhány különbséget a napi becslésekhez képest. Az egyik ilyen eltérés a 0,25 mm alatti csapadékösszegek pontos becslésének magas részaránya. Ez elsősorban a rövidebb intervallumok esetén kiemelkedő, de a 12 órás becsléseknél is jó eredményeket kaptunk. Azokban a helyzetekben, amikor az időszakra 1 mm-nél nagyobb csapadékösszeget becsült a műhold – a melegebb hónapok kivételével – a hosszabb időlépcsőre vonatkozó közelítések az eredményesebbek. Az V-2a-b. ábrákon jól megfigyelhető a különböző időlépcsők becsléseinek ezen tulajdonságai a 2008 januári adatokra.

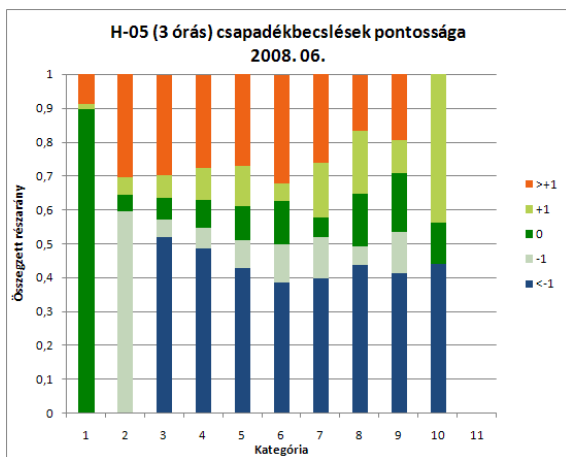


V-2a. ábra: H-05-ös, 3 órára vonatkozó csapadékbecslések pontossága 2008. januárban mennyiségi kategóriák szerint, külön kiemelve a ± 1 kategóriás hibát és az ennél nagyobb felé illetve alábecsléseket

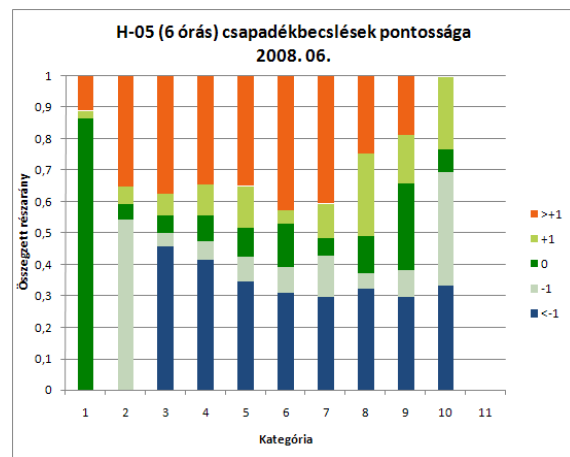


V-2b. ábra: H-05-ös, 12 órára vonatkozó csapadékbecslések pontossága 2008. januárban mennyiségi kategóriák szerint, külön kiemelve a ± 1 kategóriás hibát és az ennél nagyobb felé illetve alábecsléseket

A téli hónapokkal ellentétben a nyárra jellemző, hogy az alul- és felülbecslések aránya hasonlóan magas az eltérő hosszúságú időszakokra vonatkozóan. A pontos, illetve a legfeljebb egy kategóriával elvett becslések részaránya is összemérhető az egyes összegzési időszakok között ebben az évszakban. Az V-2c-d. ábrapár különböző idő intervallumra készült becslések alapján készült, mégis nagyon hasonló eredményekről számolnak be. Az összegzési intervallum növekedésével a felülbecslések részaránya is kis mértékben növekszik az alábecslések arányának terhére, hiszen a jó becslések hasonló hányadban fordulnak elő mindkét ábrán.

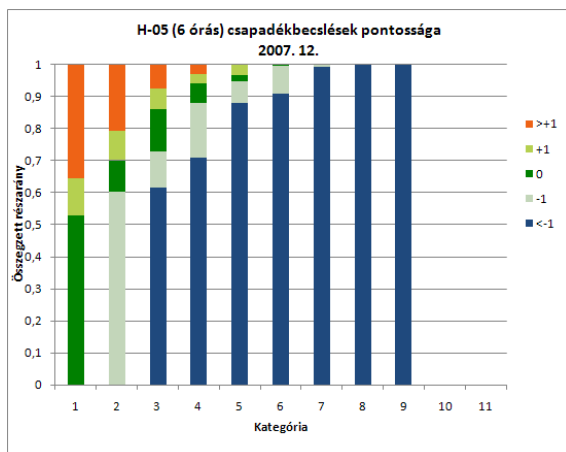


V-2c. ábra: H-05-ös, 3 órára vonatkozó csapadékbecslések pontossága 2008. júniusban mennyiségi kategóriák szerint, külön kiemelve a ± 1 kategóriás hibát és az ennél nagyobb felé- illetve alábecsléseket

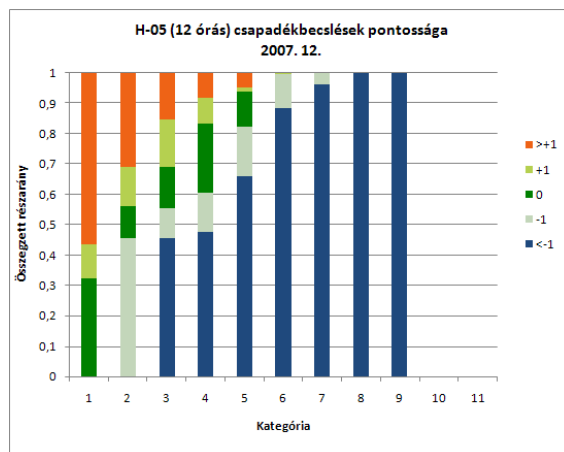


V-2d. ábra: H-05-ös, 6 órára vonatkozó csapadékbecslések pontossága 2008. júniusban mennyiségi kategóriák szerint, külön kiemelve a ± 1 kategóriás hibát és az ennél nagyobb felé- illetve alábecsléseket

A csapadékmennyiség alá és felé becslésének aránya azonban csak a nyári hónapokban állnak egymással egyensúlyban. A napi produktumokkal ellentétben – ahol a vizsgált időszak első hónapjaiban a felülbecslések száma volt jelentős (lásd IV-6a. ábra) – a rövidebb időtartamú közelítések esetében az átmeneti évszakokban és télen is túlnyomó többségben jelenik meg a csapadékösszeg több kategóriás alábecslése. Ezt a tulajdonságot szemléltetik az V-2e-f. ábrák.



V-2e. ábra: H-05-ös, 6 órára vonatkozó csapadébecslések pontossága 2007. decemberben mennyiségi kategóriák szerint, külön kiemelve a ± 1 kategóriás hibát és az ennél nagyobb felé- illetve alábecsléseket



V-2f. ábra: H-05-ös, 12 órára vonatkozó csapadébecslések pontossága 2007. decemberben mennyiségi kategóriák szerint, külön kiemelve a ± 1 kategóriás hibát és az ennél nagyobb felé- illetve alábecsléseket

Összefoglalva tehát elmondható, hogy a 24 óránál rövidebb intervallumra történő műholdas csapadébecslések a csapadékmentes eseteket nagyobb arányban jelzik sikeresen, mint a napi produktumok. A nyári hónapokban a becslések pontossága nem érzékeny az összegzési időszak hosszára, illetve ezekben a hónapokban a csapadékos helyzetek mennyiségi alá és fölé becslése közel azonos arányban figyelhető meg. Az átmeneti évszakokban és télen ezzel szemben a csapadékösszeg több kategóriás alábecslésével találkozhatunk.

A kétkategóriás statisztika eredményei

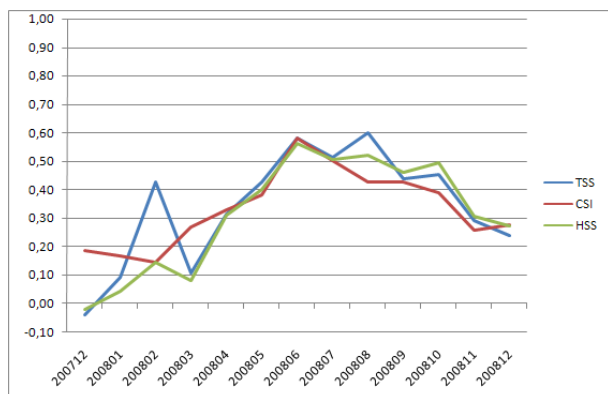
Az egyszerűsített, 2x2-es kontingencia táblázatok alapján most is kiszámoltuk a becslések néhány szemléletes, teljesítményt kifejező indexét. Az eredmények mindhárom 24 óránál rövidebb időszakra vonatkozó becslés esetén hasonlóak lettek, az V-3a. ábrán a 3



V-3a. ábra: H-05-ös 3 órás csapadébecslések ACC (accuracy), POD (prob. of detection) és FAR (false alarm ratio) értékeinek időbeli menete 2007. 12. – 2008. 12.-ig

órás produktumok eredményeit ábráztuk. A vizsgált időszak első hónapjaiban alacsony észlelési valószínűséget (POD) és magas téves riasztási arányt (FAR) állapítottunk meg. Ez a rossz tulajdonság a nyári hónapokra kismértékben javul, de a POD értékek ősztől ismét csökkenni kezdenek. A csapadékos helyzetek felismerésében ezt a visszaesést már a napi

becslések értékelésénél is megfigyelhettük. Ebben az esetben is a viselkedés háttérében a „nullás” becslések számának növekedése állhat – amivel az elmulasztott riasztások száma növekszik –, mivel a becslések pontossága (ACC) nem csökkent. A csapadékmentes helyzeteket a rövid időlépcsőkben is nagy arányban felismeri az eljárás, ezért az ACC értékei az egész vizsgált időszakban magasnak mondható. Az időlépcsők közül a 3 órás becslések esetén érte el a legmagasabb értékeket, több hónapban is meghaladva a 0,9-es értéket (V-3a. ábra). A becslési időszak hosszának növelése a POD értékek növekedését eredményezi, de a görbére jellemző éves menet a 6 és a 12 órás becslések esetén is megmarad.

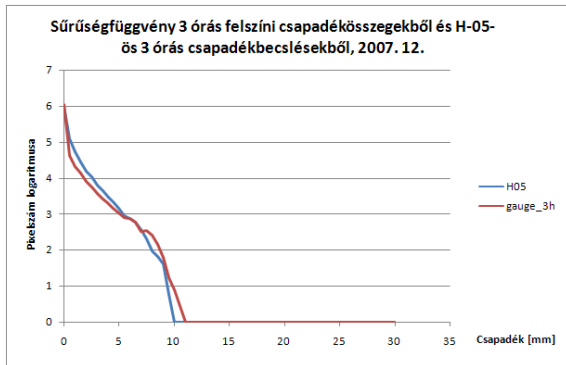


V-3b. ábra: H-05-ös 12 órás csapadékbecslések TSS (true skill score), CSI (critical success index) és HSS (Heidke skill score) értékeinek időbeli menete 2007. 12. – 2008. 12.-ig

A becslések általánosabb, több tényezőt is egyszerre figyelembe vevő, sikerességet kifejező paramétereinek (TSS, CSI, HSS) éves menete az egyes időlépcsőkben megegyezik, ezért az V-3b. ábrán csak a 12 órás becslés eredményeit mutatjuk be. Márciustól júniusig hónapról hónapra emelkedő tendencia érvényesül. A mutatók legmagasabb értékeit a nyári hónapokban érik el, majd decemberre

fokozatosan a tavaszi értékek szintjére süllyednek vissza. A nyári maximumokra jellemző, hogy ezek elmaradnak az egy napos becslések értékeitől. Ebből a szempontból a 3 órás becslés látszik a legkevésbé hatékonyak. Az eljárás teljesítményének fejlődésére utal, hogy az év végére az indexek értékei nem süllyednek vissza az egy évvel korábbi szintre, hanem annál egyértelműen jobb eredményt nyújtanak.

A becsült és megfigyelt értékek tulajdonságai a sűrűségfüggvények alapján



V-4a. ábra: H-05-ös 3 órás és a felszíni megfigyelések sűrűségfüggvényei 2007 decemberében

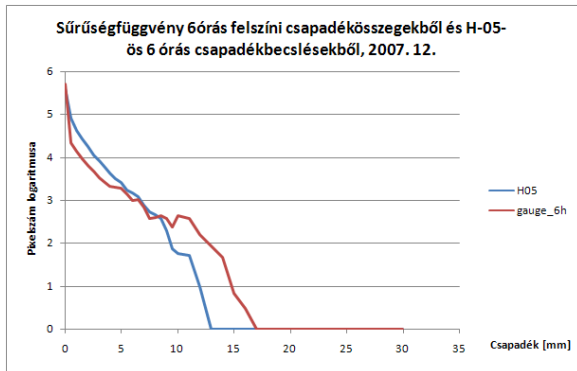
A becsült és mért értékek előfordulását ábrázoló diagramok alapján arról tájékozódhatunk, hogy az adott hónap a műholdas mérések szerint a ténylegesen megfigyelthez képest szárazabb vagy nedvesebb-e. Télen nagy eltéréseket tapasztalunk az egyes hónapok között, ahogyan azt a napi becsléseknél is láthattuk.

Legtöbbször a különböző összegzési időtartam is befolyásolja a görbék futását. Példaként bemutatjuk a 2007 decemberére vonatkozó ábraszorozatot (V-4a-c. ábrák). Ebben a hónapban a három órás csapadékösszegek alapján elkészített sűrűségfüggvények szorosan egymás mellett futottak. A kisebb mennyiségek előfordulása a műholdas produktumban kis mértékben felülbecsült volt, a nagyobb csapadékösszegek pedig kevesebbszer fordultak elő, mint a felszíni megfigyelésekben. Mindkét esetben a legnagyobb csapadékösszeg 10 mm körüli volt.

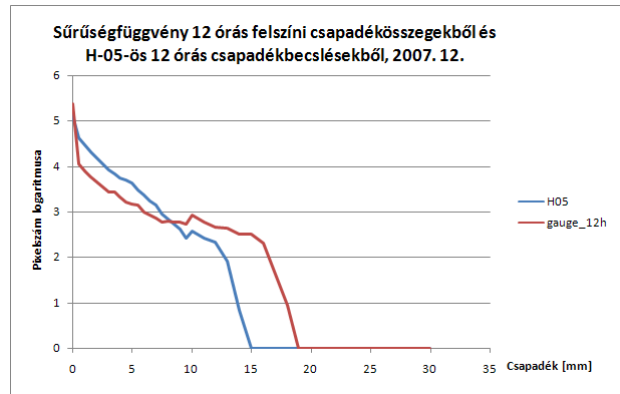
Ahogy az összegzési időszakot megnöveltük, ez a maximum érték jobbra tolódott el. Ez megfelel az elvárásainknak, hiszen hosszabb idő alatt nagyobb csapadékösszegek fordulhatnak elő. A két görbe azonban nem egyforma mértékben változott meg. A felszíni mérések sűrűségfüggvénye a nagyobb értékek tartományában eltávolodott a becslések görbéjétől. Ezt az egyes hónapok grafikonjai alapján, mint általános tulajdonságot figyeltük meg. Az időlépcsők közötti különbségek látványosabbak a hűvösebb évszakokban, mint nyáron.

Az időlépcső növelésére tehát a felszíni mérések sűrűségfüggvényei érzékenyebbek. A hosszabb időszakok esetén fellépő eltolódás arra enged következtetni, hogy a műholdas csapadékbecslések a vizsgált időintervallumon átnyúló, hosszabb ideig tartó csapadékot nem jól detektálják. A rövid ideig hulló csapadékok – például a zivatarok – esetében eredményesebbek. Az időlépcső növelésével – amennyiben a csapadékhullás tovább tart – a felszínen megfigyelt mennyiség maximuma tovább növekszik, ami a görbe jobbra történő

kiszélesedésével jár. A H-05-ös becslés sűrűségfüggvényén eközben valamely alacsonyabb csapadéérték előfordulásának száma növekszik. Ezt a gondolatmenet alátámasztja a



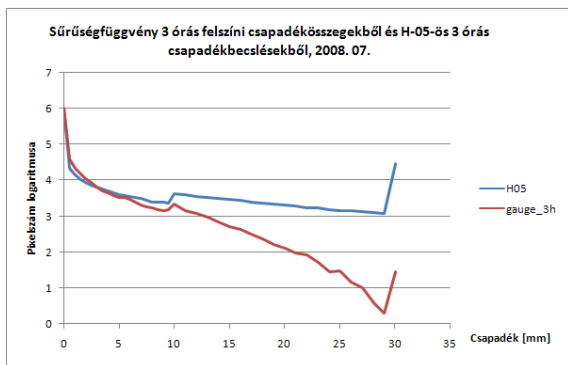
V-4b. ábra: H-05-ös 6 órás és a felszíni megfigyelések sűrűségfüggvényei 2007 decemberében



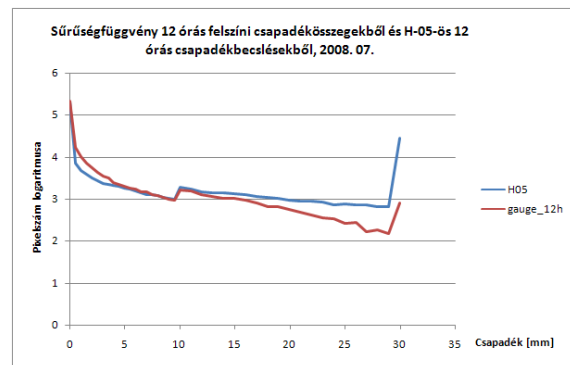
V-4c. ábra: H-05-ös 12 órás és a felszíni megfigyelések sűrűségfüggvényei 2007 decemberében

többkategóriás statisztikán megjelenő alábecslés nagy részaránya is.

A nyári hónapokban ugyanez a jelenség figyelhető meg azzal a különbséggel, hogy akkor a műholdas becslések sokkal több nagy csapadékösszegű esetet tartalmaznak a jelentős számú felülbecslés miatt. Ezért a megfigyelések görbéje az időlépcső növelésével egyre inkább hozzáisimul a becslések görbéjéhez. Ezt a folyamatot szemlélteti az V-5a-b. ábrapár.



V-5a. ábra: H-05-ös 3 órás és a felszíni megfigyelések sűrűségfüggvényei 2008 júliusában



V-5b. ábra: H-05-ös 12 órás és a felszíni megfigyelések sűrűségfüggvényei 2008 júliusában

VI. Esettanulmányok

Az előző fejezetekben megismerhettük a becslések tulajdonságait a különböző statisztikák alapján. A most következő részben a számok és diagramok után néhány valós esemény vizsgálatával szemléltetjük a műholdas csapadékbecslések gyakorlati alkalmazhatóságát illetve annak korlátait.

Az esettanulmányokat a HAWK megjelenítő rendszer segítségével végeztük el. Felhasználtuk a műholdas H-05-ös napi csapadékbecsléseket, az automata csapadékgyűjtők óras adatainak 24 órás összegzett interpolált mérési eredményeit, a radar által összegzett napi csapadékmennyiséget illetve a Nowcasting SAF felhőtípust osztályozó produktumát. Ez utóbbiból egy napon belül több időpontra is rendelkezésünkre álltak felvételek, így a napon belüli változásokat is figyelemmel tudtuk kísérni.

Az időjárási helyzetképről és a csapadékfajta típusáról az Országos Meteorológiai Szolgálat Napijelentéseiből kaptunk információt.

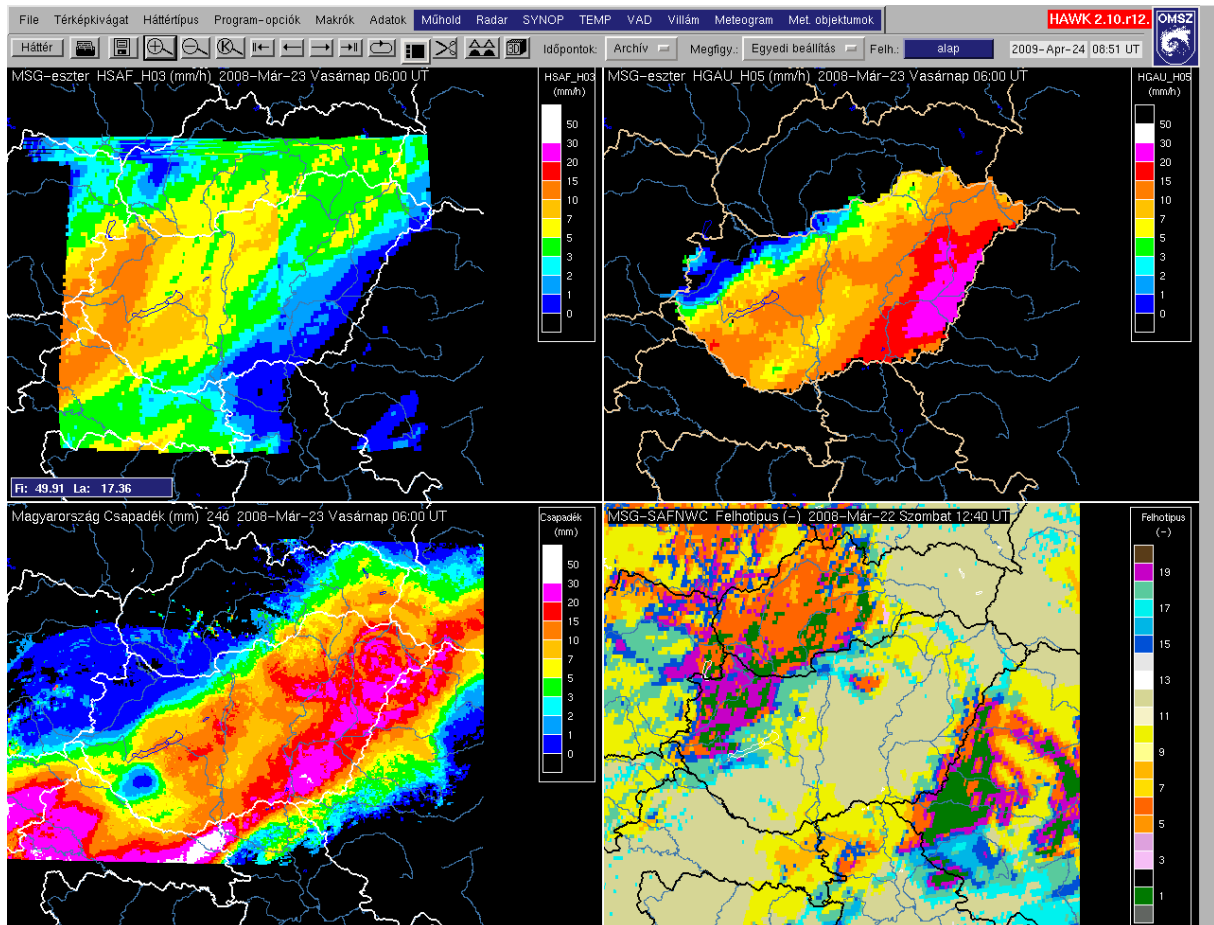
2008. március 22. és 23.

2008. március 22-én a Kárpát-medence időjárását egy középpontjával Németország felett elhelyezkedő ciklon hidegfrontja alakította. Ennek hatására hazánkban többfelé hullott eső, de a Dunántúlon és az északi országrészben elő fordult havas eső, havazás is. A front átvonulása az észak-nyugati országrész kivételével hosszan tartó esőt okozott. A Tiszántúlon zivatarok is kialakultak. Ezeken a területeken a napi csapadékösszeg meghaladta a 25 mm-t is. A csapadék térbeli eloszlása jól látható a VI-1. ábra jobb felső felszíni csapadékmérők napi adatait bemutató képen és a bal alsó sarokban található radarmérések napi összegeit ábrázoló térképen.

A műholdas felhőtípus produktum szerint ezen a napon az ország legnagyobb területe felett magasba nyúló, vastag gomolyos felhőzet (szürkésbarna szín a térképen) volt jellemző (VI-1. ábra, jobb alsó sarok). Ugyanez a felhőtípus jellemezte a reggeli órákban az észak-nyugati országrészt is, azonban a nap folyamán ott folyamatosan felszakadozott, és csak az éjszakai órákban borult be újra az ég.

A bal felső térképen láthatjuk a napi csapadékösszeg műholdas becslésének eredményeit. A becslés kifejezetten rossznak mondható, ugyanis mind térben, mind mennyiségben hibás. A

legtöbb csapadékot a Dunántúlra helyezi, a csapadékmentes területek felett 10-15 mm csapadékot becsül. Ezzel szemben a jelentős napi csapadékösszeget elérő tisztántúli területeken alig jelenik meg 1-3 mm csapadék.

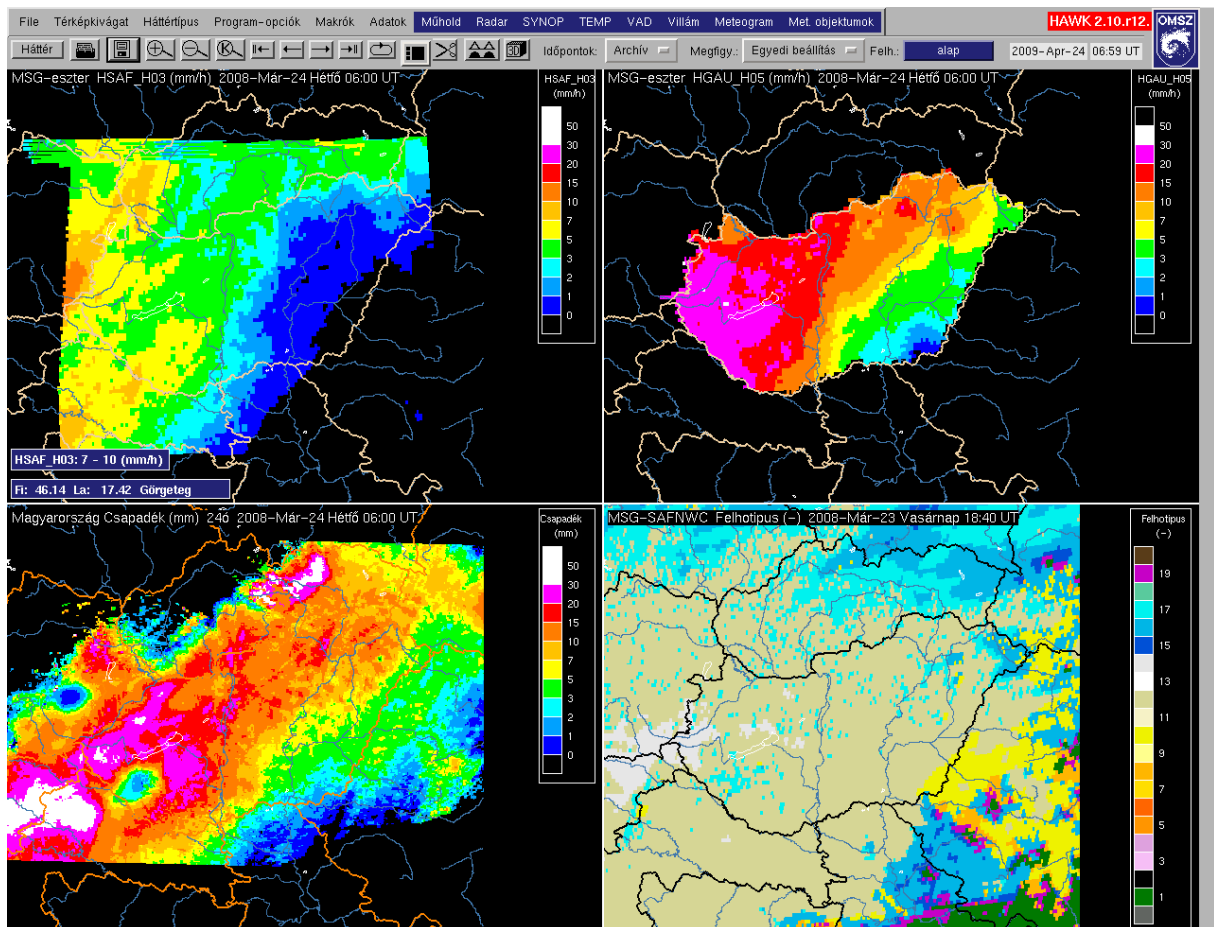


VI-1. ábra: 2008. március 22-re vonatkozó műholdas csapadékbecslés (bal felső); a csapadékgyűjtők alapján interpolált napi csapadékösszeg térképe (jobb felső); a 24 órás radarmérések térképe (bal alsó); illetve egy, a napra jellemző felhőtípus produktum (jobb alsó)

A következő napon, 2008. március 23-án délután hazánkat délnyugat felől egy mediterrán ciklon érte el, mely az ország jelentős területein okozott nagy mennyiségű esőzést, a Dunántúl egyes területei felett havazást. A felhőtípust ábrázoló térképen az egész nap folyamán világosbarna színnel az ország minden részére kiterjedő magas, nem áttetsző felhőzet jelenik meg.

A műholdas becslés ezen a napon helyesen mutatta, hogy az ország délkeleti területein hullott a legkevesebb csapadék. A műholdas produktum a valósággal megegyezően a Dunántúl nyugati területein állapította meg a legnagyobb csapadékösszeget, de a becslés mennyiségileg jelentősen elmaradt a felszíni észlelésektől.

A két esetben közös, hogy mindegyikben a műholdas becslés azokon a területekre állapította meg a legtöbb csapadékat, ahol a nap folyamán havazás is volt.



VI-2. ábra: 2008. március 23-ra vonatkozó műholdas csapadékbecslés (bal felső); a csapadékgyűjtők alapján interpolált napi csapadékösszeg térképe (jobb felső); a 24 órás radarmérések térképe (bal alsó); illetve egy, a napra jellemző felhőtípus produktum (jobb alsó)

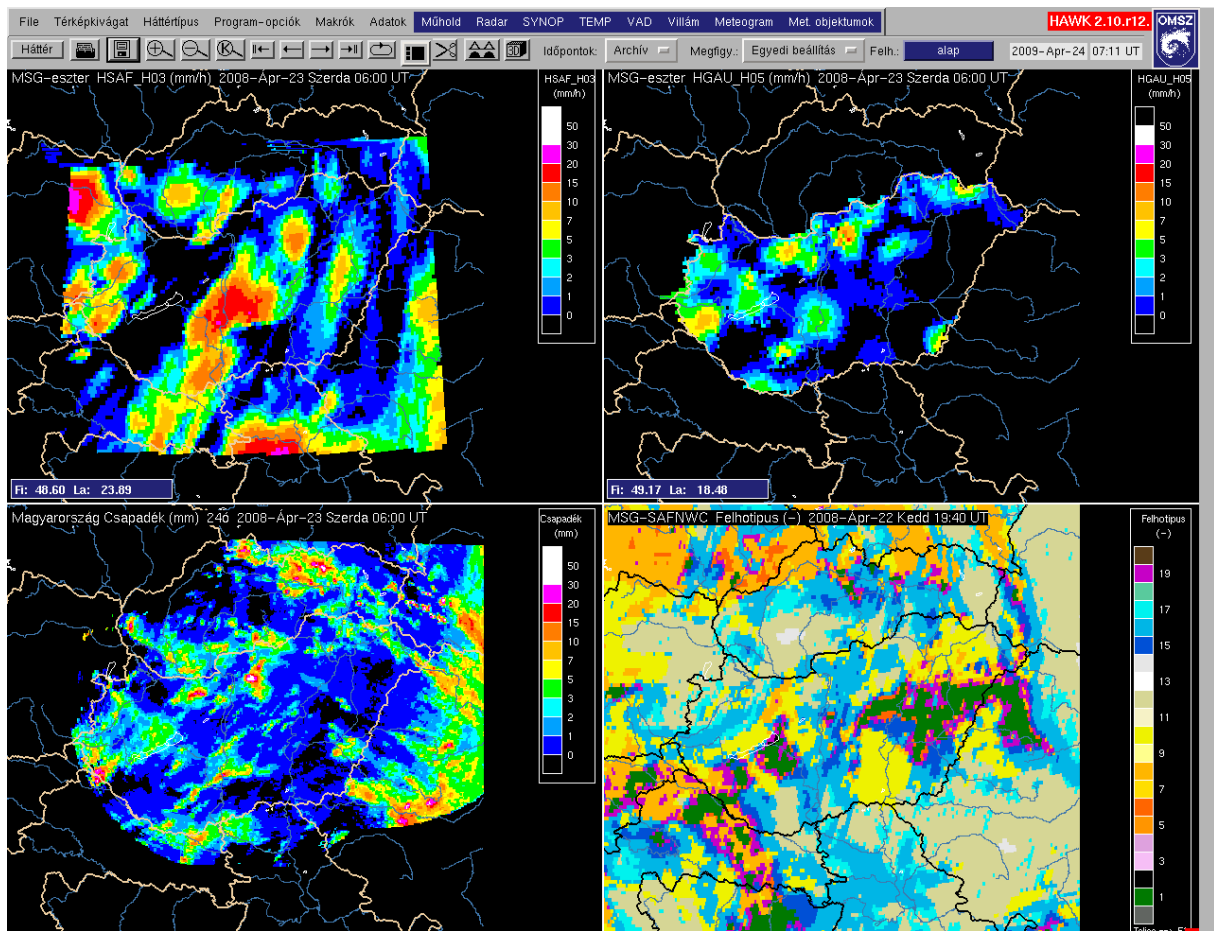
2008. április 22.

Ezen a napon Magyarország közelében egy ciklon helyezkedett el. Hatására a 7-10 órás napsütéses időszakot követően, a késő délutáni órákban a felhőzet erősen megnövekedett, és többfelé alakult ki az országban zápor, zivatar. Miskolcon jégesőt is jelentettek.

A VI-3. ábra jobb alsó sarkában, a 19:40-kor készült felhőtípus térkép illusztrálja az esti órákban megfigyelhető felhők térbeli elhelyezkedését és fajtáját. Látható, hogy a Balaton képzeletbeli meghosszabbított tengelyétől északra volt a leginkább borult. A sárgás színek középmagas és alacsonyszintű felhőket, míg a kék magasan lévő cirrusokat jeleznek, melyek alatt a műhold számára láthatatlan, alacsony szinteken további felhők előfordulhatnak.

A műholdas becslés, összehasonlítva a felszíni mérésekkel felemás eredményt nyújt. Az ország középső és keleti tájain jelentősen – térben és mennyiségileg is – felülbecsülte a csapadék mennyiségét, miközben az ország nyugati határainál hullott eső napi összegét kis mértékben túlbecsülte, térbeli eloszlását azonban meglehetősen pontosan visszaadta.

Az ország középső részén található nagy narancsos-pirosas folt egy nagy kiterjedésű zivatarfelhő észlelése alapján kerülhetett be a becslésbe, azonban ebből a zivatarból a becslőnél sokkal kevesebb csapadék hullott valójában.

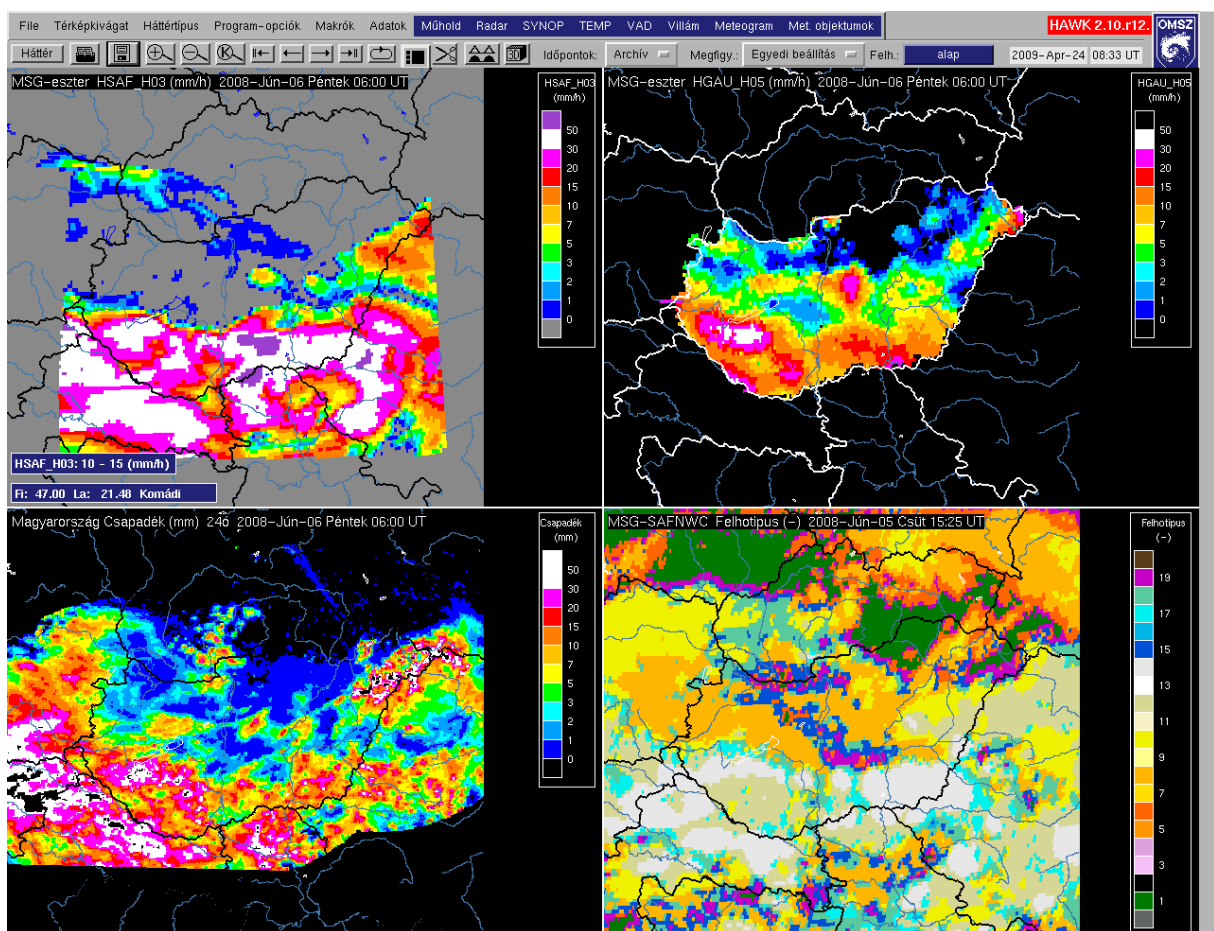


VI-3. ábra: 2008. április 22-re vonatkozó műholdas csapadék becslés (bal felső); a csapadékgyűjtők alapján interpolált napi csapadékösszeg térképe (jobb felső); a 24 órás radarmérések térképe (bal alsó); illetve egy, a napra jellemző felhőtípus produktum (jobb alsó)

2008. június 5.

Magyarországon a Skandinávia felett elhelyezkedő magas nyomású képződmény déli peremén kialakult alacsony nyomású zóna alakította az időjárást. Ennek hatására itthon többfelé alakult ki zápor, zivatar. Többfelé jelentős mennyiségű csapadék hullott.

A rendelkezésünkre álló felhőtípus képek alapján az ország déli területein, már a dél előtti órákban megkezdődött a vastag, nagy magasságokig felérő felhők képződése, és jelenlétük egész délután jellemző volt. Eközben az ország északkeleti területein derült égbolt biztosította a zavartalan napsütést.



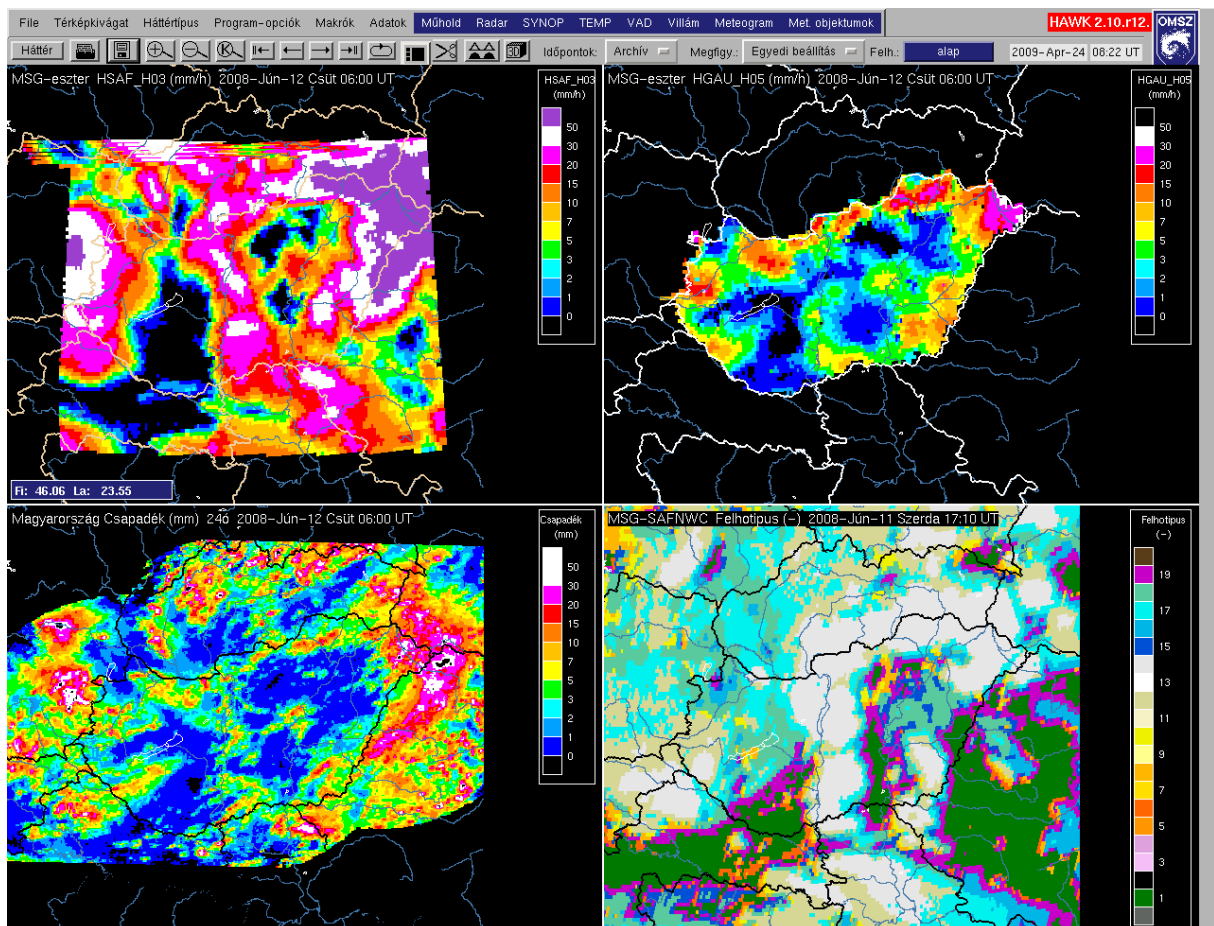
VI-4. ábra: 2008. június 5-re vonatkozó műholdas csapadékbecslés (bal felső); a csapadékgyűjtők alapján interpolált napi csapadékösszeg térképe (jobb felső); a 24 órás radarmérések térképe (bal alsó); illetve egy, a napra jellemző felhőtípus produktum (jobb alsó)

Ha a műholdas becslés és a felhőtípus térképek térbeli eloszlását megfigyeljük – bár az itt bemutatott felhőtípus produktum csak egy pillanatnyi helyzetet ábrázol – jól látható, hogy a becslés a csapadékot azokra a területekre helyezte, ahol a fehér és világosbarna színnel jelzett, optikailag vastag, magas felhők találhatóak. Ezek a területeken szépen kirajzolódnak

a felszíni mérések alapján megjelenő térbeli eloszlások. A műholdas produktum ezeken a területeken ismét felülbecsülte a lehullott csapadék mennyiségét.

Azokon a területeken azonban, ahol a narancssárga középmagas felhőkből esett az eső, a H-05-ös produktum egyáltalán nem jelzett csapadékot.

2008. június 11.



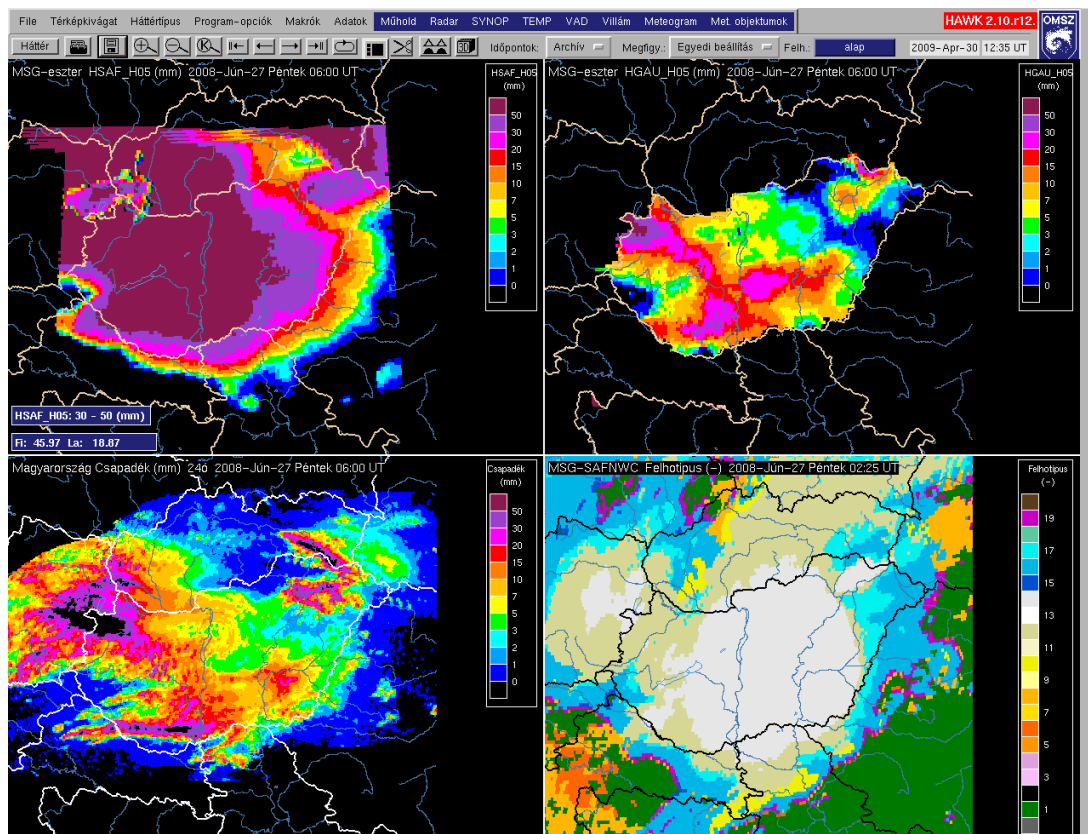
VI-5. ábra: 2008. június 11-re vonatkozó műholdas csapadékbecslés (bal felső); a csapadékgyűjtők alapján interpolált napi csapadékösszeg térképe (jobb felső); a 24 órás radarmérések térképe (bal alsó); illetve egy, a napra jellemző felhőtípus produktum (jobb alsó)

Ahogy a Fehér-tenger felett elhelyezkedő ciklon hidegfrontja elérte a Kárpát-medencét lelassult, és hullámot vetett. A hullámzó frontrendszer jelentős csapadéktevékenységet okozott hazánk területén. Az esőzés a kora délutáni órákban kezdődött el, és másnap reggelig az ország több területén hullott jelentős mennyiségű csapadék. Az esőzés térbeli eloszlása változatos képet mutat. A legnagyobb mennyiségeket az ország északkeleti területein és az északi vidékeken regisztrálták, de jelentős csapadék érte az Alföld délkeleti vidékeit is. A VI-5. ábrán látható, hogy a műholdas becslésen ez a bonyolult térbeli mintázat

nagyon szépen megjelenik. Különösen látványos ez az Alföld középső területein megfigyelhető, környezetéhez képest sokkal kevesebb csapadékot kapó terület esetén. Szépen kirajzolódik a műholdas produktumon a legnagyobb csapadékösszegek elhelyezkedése is. A közelítés azonban ebben az esetben is felülbecsli a csapadék mennyiségét, helyenként a felszínen észlelt mennyiség többszöröse szerepel a műholdas produktumban.

2008. június 27.

Az időnként megnövekedő felhőzet kialakulása mellett túlnyomóan napos nappalt követően, az esti órákban északnyugat felől nagy kiterjedésű, nagy magasságokat elérő vastag felhőzet érte el az országot. a VI-6. ábra felhőtípus térképén az éjjel 2:25 UTC-kor megfigyelt állapotot ábrázolja. Hazánk középső területén egy, az ország legnagyobb részére kiterjedő cirrusz ernyő rajzolódik ki. A nyugati határszélen feltűnik még egy ennél kisebb kiterjedésű zivatarcella is.



VI-6. ábra: 2008. június 26-ra vonatkozó műholdas csapadékbecslés (bal felső); a csapadékgyűjtők alapján interpolált napi csapadékösszeg térképe (jobb felső); a 24 órás radarmérések térképe (bal alsó); illetve egy, a napra jellemző felhőtípus produktum (jobb alsó)

A kialakult óriási cirrusz pajsok elfedték az alacsonyabb szinteken kialakult felhőzet szerkezetét. Ha a felszínen észlelt csapadékmennyiség térbeli eloszlását ábrázoló térképekre tekintünk, kirajzolódnak a zivatar által leginkább érintett területek.

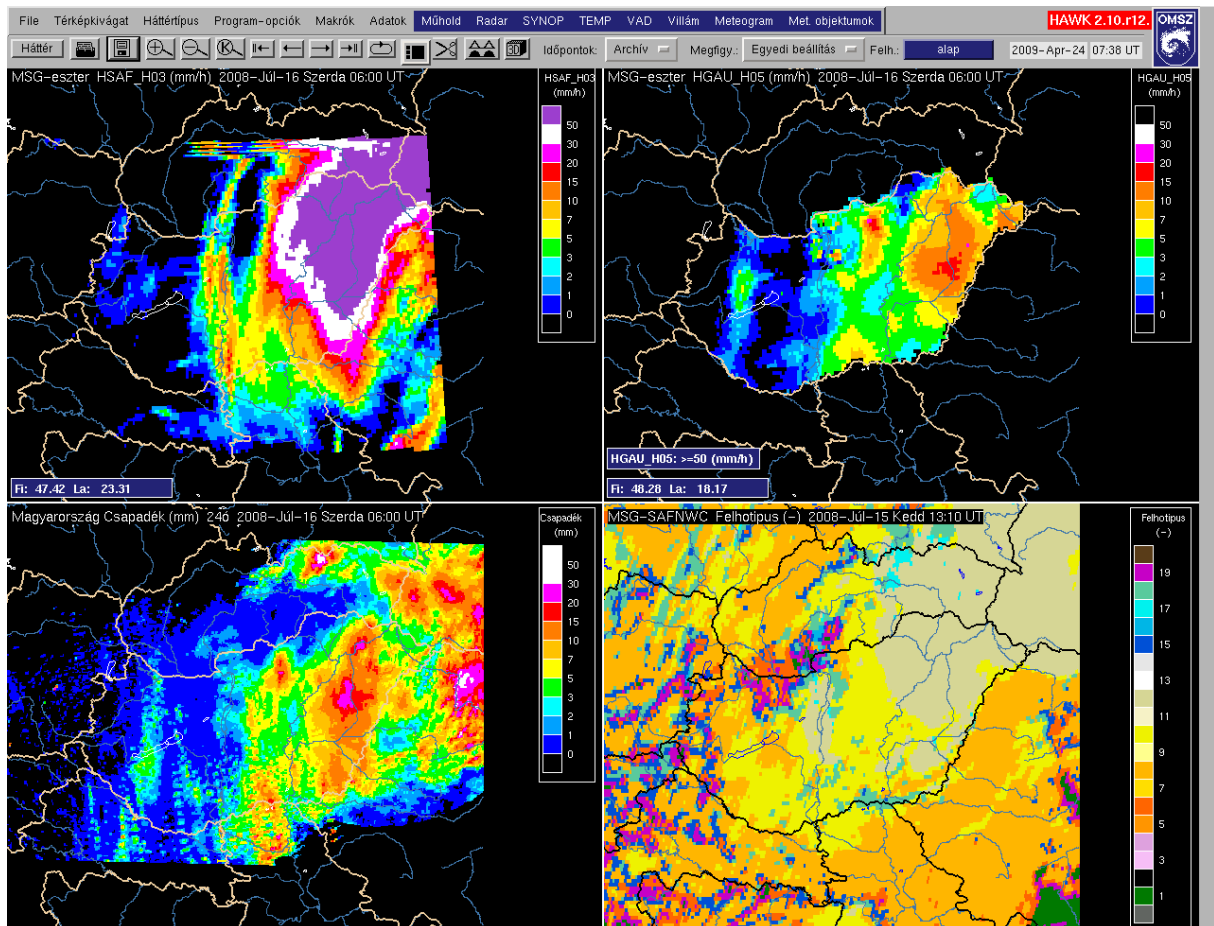
A műholdas becslés nem volt képes ezeket a térbeli struktúrákat visszaadni, csupán a magas szintű, nagy kiterjedésű felhőzet helyzetét adja meg jól. A közelítés sikeresen észlelte ezen kívül a Kelet-Magyarországon megjelenő, a zivatarok által érintett területektől távol eső csapadékos területeket is, bár a lehulló eső mennyiségét itt is, ahogyan a többi helyen is túlbecsülte.

2008. július 15.

A hazánktól keletre, észak-déli irányban hosszan hullámzó frontrendszer hatására Magyarországon túlnyomóan borult volt az ég. Csupán a Dunántúlon sütött ki néhány órára a nap. A Duna vonalától keletre eső területeken egész nap esett az eső, néhol zápor is kialakult.

Az ország felett megfigyelt felhőzet teteje legnagyobb részben nem értek fel nagy magasságig, kivéve az északkeleti területeket. Ezen a vidéken regisztrálták a legnagyobb napi csapadékösszegeket, legtöbbit Sáropatakon (22 mm) illetve a Debrecentől délre fekvő Szerepen (16 mm). Kékestetőn a nap folyamán záporosó is kialakult, ott az észlelt csapadékösszeg a Napijelentés szerint 18 mm volt.

A műholdas becslés ezen a napon is jelentősen felülbecsülte a csapadék mennyiségét. Azokon a területeken azonban, ahol középmagas felhőzetből hullott csapadék, elfogadható eredmények születtek (Duna-Tisza-köze). A Bakonyban esett csapadék is megjelenik a térképen, mennyiségét tekintve kis mértékben alábecsülve a tényleges értéket. A Duna vonalában megjelenő, magasra nyúló felhőzetből ugyan nem hullott jelentős mennyiségű csapadék, a műholdas produktum a felhő útjában 5-10 mm esőt jelzett.



VI-7. ábra: 2008. július 16-ra vonatkozó műholdas csapadékbecslés (bal felső); a csapadékgyűjtők alapján interpolált napi csapadékösszeg térképe (jobb felső); a 24 órás radarmérések térképe (bal alsó); illetve egy, a napra jellemző felhőtípus produktum (jobb alsó)

A bemutatott esettanulmányok alapján jobban megismerhettük a Hidrológiai SAF projekt keretén belül előállított műholdas csapadékbecslések gyakorlati alkalmazásában rejlő nehézségeket.

Amikor a csapadék nem konvektív rendszerekből hullik, a becslések eredményességében nagy ingadozásokat tapasztalhatunk. Bizonyos helyzetekben még a területi eloszlást sem képesek helyesen visszaadni, máskor jelentősen alábecslik a felszínen megfigyelt csapadékmennyiséget.

A melegebb tavaszi, nyári hónapok konvektív helyzeteiben a mennyiségi becslés legtöbbször a ténylegesen észlelt csapadékösszeg feletti. Ezekben az esetekben azonban a műhold általában helyesen jeleníti meg az esőzés térbeli eloszlását, leszámítva azokat a helyzeteket, amikor a magasban egy nagyobb kiterjedésű, homogén felhőzet elfedi az alacsonyabb rétegek finomabb felhőstruktúráit.

A műholdas csapadékbecslések jelenleg tehát elsősorban a tavaszi-nyári konvektív csapadékok megfigyelésekor sikeresek, de ilyenkor is számítanunk kell a zivataros helyzetek jelentős felülbecslésére.

Fontos hangsúlyoznunk, hogy ezek a csapadékbecslő eljárások folyamatos fejlesztés alatt állnak, így van remény arra, hogy a közeljövőben pontosabb közelítéseket nyerhessünk.

Befejezés

Dolgozatunkban az EUMETSAT H-SAF keretén belül előállított napi, illetve 3, 6 és 12 órás időszakra összegzett csapadékösszegek verifikálását végeztük el felszíni csapadékgyűjtők adatait felhasználva, Magyarország területére.

Az összehasonlításhoz a statisztikai eszköztár különböző szemléletes módszereit használtuk fel. Kiszámoltuk a becslésre jellemző alap statisztikai paramétereket, úgymint a felszíni referenciához való korrelációt, a becslési hiba szórását, átlagos abszolút hibáját, négyzetes középérték hibájának négyzetgyökét, stb. A kapott eredményeket összevetve a radarmérésekkel végzett verifikáció során kiszámított értékekkel elmondható, hogy az értékek között legtöbbször nincs nagy eltérés. A valós értékű paramétereknél (szórás, átlagos abszolút hiba, stb.) a különböző referenciával történő összehasonlítás alig mutat különbséget. A korrelációs együtthatók értékei azonban rendszerint magasabbak a csapadékgyűjtővel történő verifikáció esetében, mint a radaros esetben. Ez a különbség legerősebben a napi csapadékösszegeknél jelent meg.

A többkategóriás statisztika segítségével megismertük a becslések jellemző beválási arányát az egyes hónapokban. A nyári hónapokban figyelhető meg a legnagyobb arányban pontos kategóriabecslés. Figyelemre méltó még a rövidebb időszakokra készült becslések esetén a csapadékmentes helyzetek magas találati részaránya. A diagramokat összehasonlítva, nem találunk jelentős eltérést a radarral végzett értékelés eredményeihez képest.

A kétkategóriás kontingencia táblázat eredményeit felhasználva különböző eredményességi mutatók havi értékeit számoltuk ki. Ezek alapján is a nyári évszakban találjuk a legeredményesebb becsléseket, de figyelemre méltó tény, hogy a vizsgált időszak végére – azaz 2008 decemberében – a teljesítményt kifejező statisztikák magasabb értékeket vesznek fel, mint egy évvel korábban, ami a műholdas becslések fejlődésére utal. Ha felszíni referenciaként a radaradatokat használjuk, a mutatók hasonló éves menettel bírnak, de eredményességük elmarad a csapadékmérőkkel történő verifikációban megfigyelttől.

A becslések és a felszíni referencia adatok sűrűségfüggvényeit ábrázolva megállapítottuk, hogy a megfigyelések sűrűségfüggvényei érzékenyebbek az összegzési időszak hosszára, mint a műholdas becsléseké. Ennek hátterében a közelítések pontatlansága áll. A két görbe alakja

nyáron hasonlít leginkább egymásra, míg a többi hónapban a függvények lefutásában nagy különbségek is megjelenhetnek.

Az utolsó fejezetben a bemutatott esettanulmányok szemléltették, hogy a műholdas csapadékbecslések eredményei a konvektív csapadékot adó helyzetekben ígéretesek: egyes esetekben a becslésben szereplő csapadék térbeli eloszlása csaknem teljesen megegyezett a felszínen megfigyelt eloszlással. Mennyiségileg azonban a konvektív helyzetekben még jellemző a felülbecslés. A sztratiform felhőzetből hulló csapadéokra vonatkozó becslések további fejlesztést igényelnek, de a statisztikai mutatók egyértelmű javulása alapján bízhatunk a produktumok eredményességének jövőbeli fejlődésében.

A fenti tulajdonságok figyelembe vételével véleményt mondhatunk a dolgozat célkitűzésében felvetett problémáról. Vizsgálataink eredménye alátámasztotta, hogy szükségesek a műholdas csapadékbecslések verifikálása, hiszen így ismerhetjük meg a becslések tulajdonságait. Ezek ismeretében célszerűbben jelölhetjük ki a módszerben elvégzendő fejlesztések irányát.

Másrészt azt is beláttuk, hogy a becslések értékelésében nem jelent nagy különbséget az, hogy milyen felszíni adatokat használunk referenciaként. A különböző adatokat felhasználó fejlesztő tagállamok kutatóinak ezek alapján nem szükséges a módszerek egységesítésén fáradozniuk. Ehelyett teljes figyelmüket a becslések teljesítményének fejlesztésére fordíthatják.

Köszönetnyilvánítás

Ezen a helyen szeretném megköszönni mindazok munkáját, akik segítségével ez a dolgozat nem készülhetett volna létre.

Első helyen szeretném megköszönni Lábó Eszternek a lelkiismeretes témavezetést, tanszéki konzulensemnek Barcza Zoltánnak, hogy mindig soron kívül válaszolt kérdéseimre.

Köszönet illeti az Országos Meteorológiai Szolgálat munkatársait: Szentimrey Tamást a felszíni adatok biztosításáért; T. Puskás Mártát azért, mert minden megszerezhetetlennek tűnő szakirodalmat megszerzett; Horányi Andrást a jó tanácsért.

Köszönöm közvetlen munkatársaimnak, Putsay Máriának, Szigetiné Erdei Andreának és Kocsis Zsófinak azt a sok közvetlen és közvetett segítséget, amit tőlük kaptam. A rám szánt figyelmet és a nyugodt, alkotásra ösztönző munkahelyi légkör megteremtését.

Munkámat az OMSZ szakdolgozói ösztöndíjjal támogatta, amiért köszönettel tartozom mindazoknak, akik megteremtették e lehetőség forrásait.

A dolgozat végleges elkészüléséhez nyújtott technikai háttér biztosításáért köszönöm Szalay András segítségét.

Végül, de nem utolsó sorban hálás szívvel köszönöm családomnak a szeretetet, a megértést és a türelmet, mellyel biztosították munkám eredményességét.

Irodalomjegyzék

Arkin, P. A. and Meisner, B. N., 1987: The relationship between large-scale convective rainfall and cold cloud over the Western Hemisphere during 1982-84. *Mon. Weateher Rev*, 115, 51-74.

Arkin, P. A. and Xie, P., 1994: The Global Precipitation Climatology Project: First Algorithm Intercomparison Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 75, 401-419.

Bauer, P. and Schanz, L., 1998: Correction of Three-Dimensional Effects for Passive Microwave Remote Sensing of Convective Clouds. *J. Appl. Meteor.* 37, 1619-1632.

Bell, T. L. and Kundu, P. K., 2003: Comparing satellite rainfall estimates with rain gauge data: Optimal strategies suggested by a spectral model. *J. Geophys. Res.*, 108(D3), 4121, doi:10.1029/2002JD002641

Ebert, E. E., Manton, M. J., Arkin, P. A., Allam, R. J, Holpin, G. E. and Gruber, A., 1996: Results from the GPCP Algorithm Intercomparison Programme. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 2875-2887.

Ebert, E. E., Janowiak, J. E. and Kidd, C., 2007: Comparison of near-real-time precipitation estimates from satellite observations and numerical models. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 88, 47-64.

Graves, C. E., Valdés, J. B., Shen, S. P., and North, G. R., 1993: Evaluation of Sampling Errors of Precipitation from Spacebourne and Ground Sensors. *J. Appl. Meteor.* 32, 374-385.

H-SAF, 2007: Report to the 1st H-SAF Workshop; Part 3 – Calibration/validation plan. *Italy*, 31 October 2007. 98 pp.

H-SAF, 2008: Algorithm Theoretical Definition Document Updated Version. *Italy*, 30 September 2008. 102 pp.

Kidd, C., 2004: Validation of satellite rainfall estimates over the mid-latitudes. 2nd Intl. Precipitation Working Group, 25-28 October 2004, Monterey, CA.

Krajewski, W. F., Ciach, G. J., McCollum, J. R. and Bacotiu, C., 2000: Initial Validation of the Global Precipitation Climatology Project Monthly Rainfall over the United States. *J. Appl. Meteor.* 39, 1071-1086.

Laurent, H., Jobard, I. and Toma, A., 1998: Validation of satellite and ground-based estimates of precipitation over the Sahel. *Atmos. Res.* 47-48, 651-670.

Mersich, I., Práger, T., Ambrózy P., Hunkár, M. és Dunkel, Z. (szerk.), 2003: Magyarország éghajlati atlasza. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest. 107 pp.

North, G. R., Valdés, J. B., Ha, E., and Shen, S. P., 1994: The Ground-Truth Problem for Satellite Estimates of Rain Rate. *J. Atmos. Oceanic Technol.* 11, 1035-1041.

OMSZ-TO, 2009: Az EUMETSAT által műholdadatokból származtatott légköri és felszíni paraméterek. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 59 pp.

Rubel, F. and Rudolf, B., 2001: Global daily precipitation estimates proved over the European Alps. *Meteor. Zeitschrift*, 407-418.

Rubel, F., Skomorowski, P. and Rudolf, B., 2002: Verification scores for the operational GPCP-1DD product over the European Alps. *Meteor. Zeitschrift*, 11, 367-370.

Skomorowski, P., Rubel, F. and Rudolf, B., 2001: Verification of GPCP-1DD Global Satellite Precipitation Products Using MAP Surface Observations. *Phys. Chem. Earth (B)*, Vol 26, No. 5-6, 403-409.

Szentimrey T. and Bihari, Z., 2008: Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis (MISH v1.02). Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 32 pp.

Wardah, T., Abu Bakar, S. H., Bardossy, A., and Maznorizan, M., 2008: Use of geostationary meteorological satellite images in convective rain estimation for flash-flood forecasting. *J. Hydrology* 356, 283-298.

Zsugyel, M. és Lábó, E., 2009: Csapadékbecslések az űrből. www.urvilag.hu/article.php?id=3145. 2009. március 23.