

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Meteorológiai Tanszék

**Az ECMWF által szolgáltatott reanalízis és
operatív determinisztikus modelladatok
összehasonlítása állomási mérések adataival**

BSc szakdolgozat



Készítette:

Kovács Adrián

III. Földtudomány BSc
Meteorológia szakirány

Témavezetők:

dr. Barcza Zoltán

ELTE Meteorológiai Tanszék

Ihász István

Országos Meteorológiai Szolgálat

Budapest, 2010

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	3
2. A FELHASZNÁLT ADATOK FORRÁSA	4
2.1. A lágymányosi városklíma állomás	4
2.2. Az ECMWF ERA Interim adatbázisa	6
2.3. Az ECMWF operatív determinisztikus modellje	8
3. AZ ÖSSZEHASONLÍTÁSI ELJÁRÁS BEMUTATÁSA.....	10
3.1. A havi átlagok, illetve összegek előállítása.....	10
3.2. Relatív gyakoriságok, eloszlásfüggvény	11
4. AZ ÖSSZEHASONLÍTÁS SORÁN KAPOTT EREDMÉNYEK	13
4.1. A hőmérséklet.....	13
4.2. A csapadék	20
4.3. A szélsőbesség	25
5. ESETTANULMÁNYOK.....	31
5.1. Téli, hideg légpárnás időjárási helyzet.....	31
5.2. Nyári, derült időjárási helyzet	34
5.3. Kyrill nevű viharciklon, 2007. január 19.	36
6. ÖSSZEGZÉS	38
IRODALOMJEGYZÉK.....	39
INTERNETES FORRÁSOK	40
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	41

1. BEVEZETÉS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) 1999 őszén egy Vaisala QLC-50 típusú adatgyűjtővel ellátott meteorológiai állomást telepített az Eötvös Loránd Tudományegyetem lágymányosi épülettömbjénél. A Meteorológiai Tanszék kezdeményezésére felállított mérőeszközök egyrészt színesítik a budapesti mérőhálózatot, kiegészítve a pestszentlőrinci és a Kitaibel Pál utcai méréseket, másrészt oktatási célokat is szolgálnak, ugyanis így lehetőség van a műszereket és az adatgyűjtés folyamatát közelebbről megismerni (*Kern, 2001*).

Az adatsorokban azonban előfordulnak mérési, illetve az adattovábbítással kapcsolatos hibák, melyek különböző hosszúságú adathiányokat eredményeztek az évek során. Az adatok pótlásának egyik lehetséges módja lehet az Európai Középtávú Előrejelző Központ (European Centre for Medium Range Weather Forecasts, ECMWF) ERA Interim adatbázisa, illetve operatív determinisztikus modellje által szolgáltatott adatok használata, azok szisztematikus hibáinak vizsgálata és számszerűsítése által.

E célból a 2001-2008 közötti városklíma adatokat hasonlítottuk össze az időjárási modell állomáshoz legközelebb eső rácspontjának, valamint a környező négy rácspont átlagának adataival, a 2 méteren mért hőmérséklet, a 3 órás csapadékösszegek, valamint a szélesség esetében. Ehhez elsőként havi átlagok, illetve összegek előállítására volt szükség napi 8 időpontban (szinoptikus fő- és mellékterminusok), oly módon, hogy a modelladatokból képezett átlagokban és összegekben is figyelmen kívül hagytuk azon értékeket, amelyhez tartozó mérési adatok hiányoztak. Emellett sor került még többek között az évszakonkénti relatív gyakoriságok meghatározására, illetve eloszlásfüggvényt is készítettünk a modell- és a városklímából egyaránt.

Az eredmények értelmezésekor nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a lágymányosi állomás Budapest belvárosi részéhez közel található, ezáltal például az antropogén hőkibocsátás komoly hatással lehet a mért értékekre, amit a részben parkosított környezet és a Duna közelsége csak némiképp kompenzál (*Kern, 2001*).

Az állomás elhelyezkedéséből fakadóan így nyilvánvaló, hogy az egyes években, hónapokban, illetve napszakokban változhatnak az eltérések a városklíma állomás mérései és az ECMWF adatai között. Ezen felül természetesen az aktuális időjárási helyzet is befolyásolhatja a különbségeket, éppen ezért három mérőben más szituációra (hideg légréteg, derült ég, illetve Kyrill viharciklon) is végeztünk vizsgálatokat.

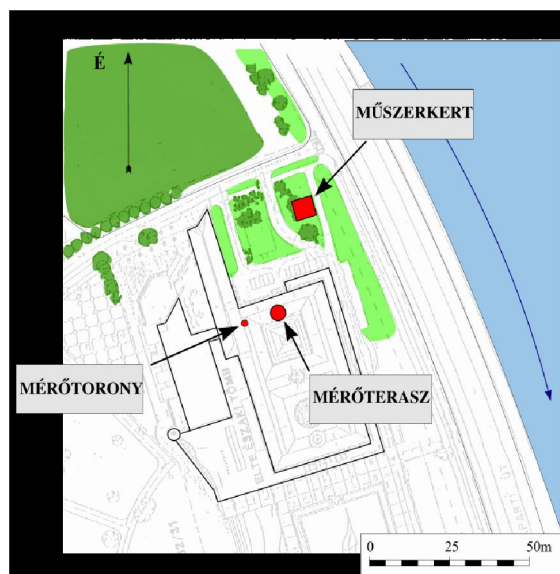
2. A FELHASZNÁLT ADATOK FORRÁSA

Munkánk során az ELTE lágymányosi épületegyüttesének tetején, és annak az északi udvarában felállított állomás méréseit vetettük össze az ECMWF ERA Interim adatbázisából származó reanalízis adatokkal, illetve az operatív determinisztikus modell adataival. Ehhez a hőmérsékletet, a csapadékot és a szélsébséget választottuk, méghozzá azért, mert míg az elsővel közelítő képet kaphatunk a városi hősziget jelenségéről, addig a második állapotváltozó térben nagy változékonyságot mutat (főként nyári, konvektív csapadék alkalmával kis területen belül is igen jelentős különbségek fordulhatnak elő), így talán itt a legérdekesebb megvizsgálni, mennyire reprezentatív a modell pontbeli mérési adatok tekintetében. A harmadikat pedig abból a szempontból érdemes megnézni, hogy a modell 10 méteres szélsébségei hogyan viszonyulnak az épület tetején, körülbelül 45 méteren mért értékekhez. A következőkben az adatok forrását ismertetem.

2.1. A lágymányosi városklíma állomás

Az 1999 őszén az egyetem területére (Budapest, Pázmány Péter sétány 1.) telepített klímaállomás a tengerszint feletti 105 méteres magasságban, az északi szélesség $47,4748^\circ$ -a és a keleti hosszúság $19,062^\circ$ -a mentén helyezkedik el. A műszereket és az adatfeldolgozáshoz szükséges szoftvereket az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) bocsátotta az egyetem rendelkezésére, és azok felszerelésében is segédkezett.

A Vaisala QLC-50 típusú automata mérőrendszerhez tartozó szenzorok közül a léghőmérséklet-mérő a műszerkertben, 2 méter magasan, egy hőmérőházikóban található, a csapadék mennyiségét regisztráló billenőedényes csapadékmérő a mérőterazon, 35 méteres magasságban kapott helyet, míg a szélsébség mérése



1. ábra
A lágymányosi városklíma állomás
elhelyezkedése

kanalas szélességmérővel történik a mérőtornyon, kb. 45 méteren (*1. ábra*). A mért értékek lekérdezéséhez és megjelenítéséhez egy külön számítógép áll rendelkezésre a Meteorológiai Tanszéken, az OMSZ pedig naponta kétszer végzi el az adatok lehívását.

Az elhelyezési körülmények nem igazán felelnek meg a szabványos meteorológiai állomások esetében elvárhatóknak. A hőmérsékletet nagyban befolyásolhatja, hogy a nap egy jelentős részében az egyetem épülete árnyékot vet a mérőkertre, emellett pedig egy terebélyes fa is van közvetlenül a kert mellett, tehát nem biztosított a nyílt terepen való mérés. A csapadéknál a felszín feletti nagyobb magasságban fújó relatíve erősebb szelek lehetnek hatással a mennyiségre azáltal, hogy az esőcseppek vagy hópelyhek nem mindegyike kerül bele a mérőeszköz felfogó részébe. A szélesség esetében pedig azt a már említett, nem elhanyagolható körülményt kell figyelembe venni, hogy az előírtakhoz képest jóval magasabban van a szélességmérő (10 méter helyett 45 méteren), és mint tudjuk, a magassággal felfelé haladva egyre erősebbek a szelek. A Német Meteorológiai Szolgálat, Hamburgi Tengermeteorológiai Hivatala szerint például „azonos Beaufort-fokozat esetében a szélességnek a magasságtól függő átlagos változásának megfelelően [...] 30 m-es talaj feletti magasságban 20 %-kal nagyobb szélességre lehet számítani annál, amit a 10 m-es magasságban mértek” (*Roth, 2000*).

Mindazonáltal, az egyetem területén nehéz lenne olyan helyet találni, ahol pontosabban lehetne mérni, és a kábeleken történő adattovábbítás is egyszerűen megoldható lenne a Tanszék felé. A fentiekén kívül fontos észben tartani azt is, hogy a modellek nagyobb területek átlagával számolnak, aminek összevetése pontmérés adataival eleve problematikus az eltérő területi reprezentativitás miatt.

A keletkező nyers adatsorok különféle hibákat is rejthetnek, melyek vagy a műszer hibájából adódnak (tökéletesen működő műszer ugyanis nincs, véges az élettartamuk, ezáltal bármikor felléphet hibás működés), vagy az adattovábbító rendszerhez kötődnek (a szenzorok és az adatgyűjtő egymástól nagy távolságra van, így a továbbított jelekre zajok rakódhatnak) (*Kern, 2001*).

A dolgozatban a 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 és 21 UTC, tehát a szinoptikus fő- és mellékterminusok alkalmával mért pillanatnyi hőmérsékleteket, a tízperces adatokból, a fenti időpontokat megelőző három órára összesített csapadékmennyiségeket, és az elmúlt 10 percre vonatkozó átlagos szélességeket használtuk föl.

2.2. Az ECMWF ERA Interim adatbázisa

A reanalízis adatbázisok előállítása során ma már jóval bonyolultabb módon használják fel az elmúlt évtizedekből származó megfigyeléseket a modern előrejelző rendszerek, mint amikor azokat elvégezték. Ennek köszönhetően jó minőségű, globális adatbázisok állnak rendelkezésünkre, melyeket széles körben alkalmaznak a mezőgazdaság, a vízgazdálkodás, a levegőminőség-védelem és az egészségügy területén (Uppala *et al.*, 2008). Ráadásul amióta az adatasszimilációs rendszerek rögzített és korszerű változatával dolgoznak a reanalízis adatok előállítása érdekében, kifejezetten numerikus időjárás-előrejelzési célokra kifejlesztve, alkalmasabbá váltak az éghajlat hosszútávú változékonyságának vizsgálatára, mint az operatíván működő analízisek (Simmons *et al.*, 2007).

Az ECMWF 1980-ban alkotta meg a legelső reanalízisét az USA-beli Geofizikai Folyadékdinamikai Laboratóriummal (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, GFDL) közösen, mely 1979-es megfigyelésekre támaszkodott. Ez volt ugyanis az első Globális Légkörkutató Program (Global Atmospheric Research Programme, GARP) globális kísérletének (First GARP Global Experiment, FGGE) az éve. Ekkoriban gyorsan fejlődtek, és javult a minőségük is az adatasszimilációs eljárásoknak. Az 1990-es évek közepén elkészítették az első kiterjesztett reanalízist, az ERA-15-öt (1979-1993) is, melynek eredményeit azután a 2003-ban befejeződött ERA-40 (1957-2002) projekt használta fel (Uppala *et al.*, 2004). Ez utóbbi már nem csak a légkör, hanem a szárazföldi és az óceáni felszín állapotát is jellemzi az adott időszakra (Uppala *et al.*, 2008).

Jelenleg is dolgoznak az ERA Interim projekten, mely az 1989 óta eltelt, adatokban bővelkedő időszakra vonatkozóan becsli a légkör állapotát egészen napjainkig. Mindehhez 12 órás 4D-Var adatasszimilációs módszert használ, maga a módszer pedig az Integrált Előrejelző Rendszer (Integrated Forecast System, IFS) egy újabb kiadásán alapul, mely sok fejlesztést tartalmaz mind az előrejelzési modellek terén, mind pedig az analízis módszerében. Az ERA-40 6 órás 3D-Var módszerével szemben az itt használt adatasszimilációs folyamat jobb eredményeket produkált, ugyanis jónéhány problémát sikerült kiiktatni vagy jelentősen csökkenteni. Komoly fejlődés mutatkozott például a hidrológiai ciklust illetően, ezáltal rövidebb lett a modell felfutási ideje, emellett pedig a csapadék és a párolgás különbsége globálisan jobban közelített nullához, mint korábban. Ezeket számos kutatás is igazolta: a leedsi egyetem

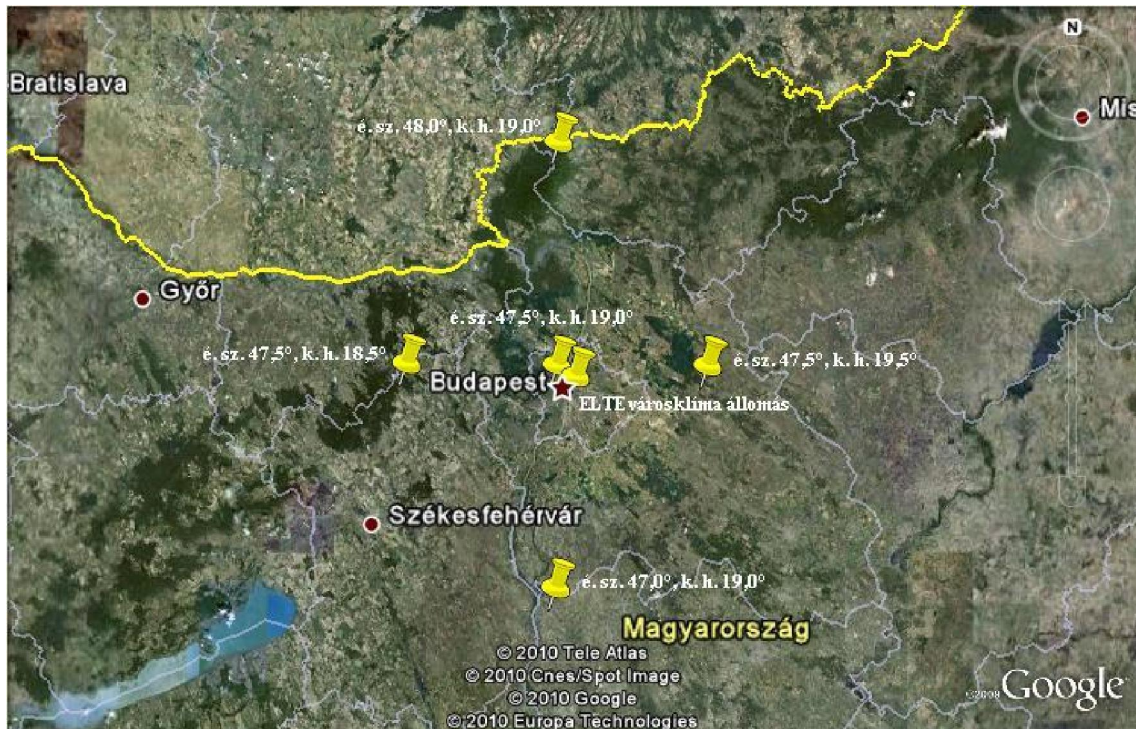
munkatársa kémiai terjedési modelleket vizsgált a sztratoszférában, és reálisabb eredményeket kapott ezzel az eljárással, mint bármely korábbival, de a trópusi ciklonok pályáinak adatai vagy a felszíni szélviszonyok esetén is pozitívak voltak a tapasztalatok. Ennek tudatában egyértelmű, hogy ezen új reanalízis egészen addig fogja az adatokat szolgáltatni, mint az ECMWF klíma adatasszimilációs rendszere (ECMWF Climate Data Assimilation System, ECDAS), amíg nem készül egy újabb, ismételten kibővített reanalízis (*Simmons et al.*, 2007). Addig azonban még több fejlesztést is kilátásba helyeztek, többek között felhőzet- és csapadékfüggő sugárzási adatok számításba vételét, valamint a légkör, az óceánok, a szárazföld és a krioszféra kapcsolatának erősítését (*Uppala et al.*, 2008).

Az ERA Interim rendszerében tehát 0,5°-os rácsfelbontással egyrészt napi és havi adatbázisok állnak rendelkezésünkre 1989. január 1-jétől 2010. január 31-ig (2010. április 16-ai állapot szerint)¹, ezen felül pedig naponta kétszer 10 napos előrejelzések is. Az ERA 40-et felváltó ERA Interim egyébként jóval bővebb is elődjénél, hiszen például 23 helyett 37 izobárszintet tartalmaz, és további felhőzeti paraméterekkel is kiegészült. Előnyei között van még, hogy új nedvességi analízis szerepel benne, valamint javítottak a modell fizikai hátterén. A megfigyelési adatokról pedig elmondható, hogy többnyire az ERA-40 által használt adatbázisból szerzi be azokat, és ez egészül ki a későbbi évekre vonatkozó ECMWF archívumból, azonban néhány kivétel is akad, például az ózonprofil vagy éppen egyes sugárzási paraméterek esetében (*Simmons et al.*, 2007, *Uppala et al.*, 2008).

Az összehasonlítást itt egyrészt becsült, 6 óránkénti reanalízis adatokra (00, 06, 12, 18 UTC), és a köztes 3 órákra (03, 09, 15, 21 UTC) szóló rövid távú előrejelzési adatokra végeztük el, melyek így ugyanarra a nyolc időpontra vonatkozó 2 méteres hőmérsékletek, illetve 10 méteres szélességek, mint a mérések esetében. A 3 órás csapadékösszegek kizárólag előrejelzett értéként szerepelnek az adatok között, csapadéokra vonatkozóan ugyanis nem készül analízis.

A reanalízis adatbázisból öt rácsponttal dolgoztunk: az állomáshoz legközelebb eső északi szélesség 47,5°, keleti hosszúság 19°-os rácspont értékeivel, valamint a tőle északra, délre, keletre és nyugatra 0,5-0,5°-ra lévő rácspontok adataiból képezett átlagértékekkel (2. ábra).

¹ ERA Project: <http://www.ecmwf.int/research/era/do/get/index>



2. ábra
A reanalízis adatoknál használt rácspontok és
a városklíma állomás elhelyezkedése
(háttérkép: Google Earth)

2.3. Az ECMWF operatív determinisztikus modellje

A determinisztikus előrejelzéseket 10 napra futtatják az ECMWF readingi központjában naponta kétszer, a 00 és a 12 UTC-s kezdeti meteorológiai mezőkből kiindulva. A modell a hidrotermodinamikai egyenletrendszert spektrális módszerrel oldja meg, miközben szférikus harmonikusokat alkalmaz, és számos fizikai kölcsönhatást vesz figyelembe, így például az óceán-légkör, a talajnedvesség-légkör, valamint a hótakaró-légkör kapcsolatot.² Ehhez nemcsak a felszíni és magas légköri megfigyeléseket használja fel, hanem a tengeri úszóbóják, illetve a repülőgépes és a műholdas mérések adatait is, valamint a legkorszerűbb, négydimenziós variációs analízis (4D-Var) módszerét alkalmazza (Tajti, 2009).

2000 novemberében még 0,5x0,5 fokos volt a modell horizontális felbontása, ám ez később többször is megváltozott. 2004-ben az új modellciklus hatására a szél és hőmérséklet értékek valamelyest javultak a trópusi troposzférában, azonban a

² OMSZ, Kutatás és fejlesztés, Numerikus prognosztika, ECMWF:
http://www.met.hu/omsz.php?almenu_id=homepages&pid=numprog&pri=8&mpx=0

sztratoszférikus hőmérsékletekben nagyobbak lettek a különbségek a megfigyelésekhez képest. 2006. februárban előrelépés történt a horizontális felbontásban, sőt a vertikálisban is, ugyanis ekkorra már 91 szintet vezettek be, és elérték az 0,01 hPa-t is. 2007. novemberben további négy nyomási szinttel (600, 800, 900, 950 hPa) bővült a rendszer. A 2010-es esztendő elején újabb fejlesztés történt, januártól kezdve a korábbi 0,25x0,25 fok helyett már globálisan 0,125x0,125 fokos a determinisztikus modell felbontása.³ A tervek között szerepel még, hogy a vertikális szintek számát 136 körülire növelik, ám ez még nem fejeződött be, tesztelése majd ősszel kezdődhet, és 2011 elején vezethetik be. A modell fizikai folyamatainak javítása is tovább folytatódik 2010-ben, a fő cél, hogy az esőre és a hóra vonatkozóan prognosztikai változókat vezessenek be, melytől a csapadék előrejelzésének szignifikáns javulását várják (*Marbouty*, 2010).

A folyamatos változások miatt nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a változó horizontális rácsfelbontás inhomogenitást eredményez az adatsorokban, tehát az elemzéskor ebből a tényből is következhetnek ellentmondások.

A determinisztikus modell esetén is ugyanazokkal az állapothatározókkal végeztük a számításokat, mint a reanalízisnél, ám itt csupán a legközelebbi rácspontot (é. sz. 47,5°, k. h. 19°) hasonlítottuk össze a városklíma állomás méréseivel.

³ The evolution of the ECMWF FC system:
http://www.ecmwf.int/products/data/operational_system/evolution/index.html

3. AZ ÖSSZEHASONLÍTÁSI ELJÁRÁS BEMUTATÁSA

A két adatsor összevetésére számos lehetőség kínálkozik. Mivel a kapott eredmények a későbbiekben nem csak összehasonlítási célt szolgálnak, hanem részben a mérési adathiányok pótlására, részben pedig előrejelzések esetleges pontosítására is alkalmasak lehetnek, így olyan eljárásra van szükség, mely ezen feltételeknek is eleget tesz.

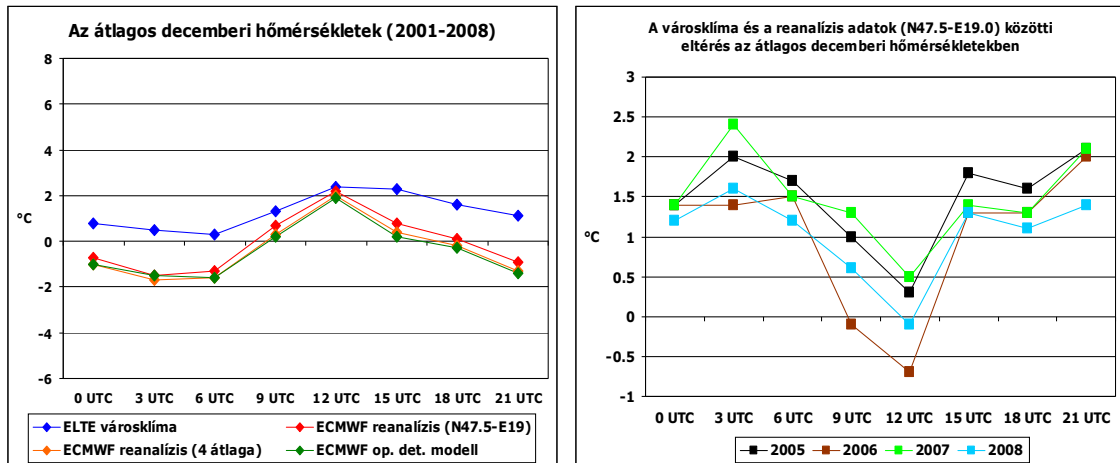
3.1. A havi átlagok, illetve összegek előállítása

Az adatok feldolgozásának első lépése volt, hogy a 10 percenkénti mért adatokból elő kellett állítani a 3 órás csapadékösszeget, majd ezután következhetett a napi 8 időponthoz tartozó hőmérsékletek, csapadékmennyiségek és szélsőségek kiválogatása. Ezáltal olyan formában kaptuk meg a mérési adatsort, mint amilyenben a reanalízis és a determinisztikus modelladatok is találhatóak. A $365 \cdot 8 = 2920$ (szökőév esetén $366 \cdot 8 = 2928$) adatot oly módon rendeztük sorba, hogy az adott hónapbeli és időpontbeli értékek alkottak egy csoportot (pl. január 00 UTC). Fontos szempont, hogy mivel viszonylag kevés az adat, ezért minden hónapot célszerű számításba venni, amihez viszont egységesítésre volt szükség. Ez alatt azt értem, hogy megkeresve a mérési adathiányokat, az ezen időpontokhoz tartozó modelladatokat figyelmen kívül hagytuk, így a két adatsor már teljes mértékben ugyanazt az időszakot ölelte fel. A hiány éves szinten általában 25-50 körül volt a 2920 értékből, de például 2004-ben és 2007-ben is igen magasán alakult, 2002-ben viszont csak a szélsőségnél hiányzott kimondottan sok érték, másutt egyébként nincs nagy különbség az állapothatározók között (*I. táblázat*). Ezek után pedig már kiszámolhattuk minden hónapban a 8 időpontra vonatkozó átlagos hőmérsékleteket és szélsőségeket, valamint a 3 órás csapadékösszegeknek a havi összegeit.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
hőmérséklet	52	35	24	270	42	7	98	29
csapadék	56	41	34	277	47	10	91	34
szélsőség	53	203	24	272	56	8	101	31

I. táblázat
Az adathiányok száma állapothatározónként, az egyes években

Az eredményekből többféle ábrát is készítettünk: az egyikben egy adott hónap átlagos hőmérsékleteinek, szélsőségeinek, illetve a 3 órás átlagos havi csapadékösszegeinek alakulása látható háromóránként a városklímára, a kétféle reanalízisre és a determinisztikus modellre, egy másikon az egyes években tapasztalható eltérést ábrázoltuk a mérési és a modelladatok között az állomáshoz legközelebbi rácspont esetén, az időpont függvényében (3. ábra). Ezen kívül oszlopdiagrammal szemléltettük a modelladatoknak a városklíma állomás adataitól való átlagos eltérését.



3. ábra

Példa az elkészített grafikonokra. Bal oldali ábra: havi átlagos napi menet görbék; jobb oldali ábra: az egyes adatforrások havi átlagos napi menete közti eltérések az egyes években

3.2. Relatív gyakoriságok, eloszlásfüggvény

Miután kiszámítottuk az átlagokat, a relatív gyakoriságok meghatározására került sor. A hőmérséklet esetén -25 és $+40$ °C között 1 fokként számoltuk össze, hogy az egyes intervallumokba hány érték tartozik, majd ezt az összes adat számával leosztva áll elő a relatív gyakoriság. Itt is létrehoztunk néhány diagramot: egy-egy évszakra vonatkozóan vizsgáltuk meg, hogyan viszonyulnak egymáshoz az állomás, valamint az ECMWF ERA Interim adatbázisában szereplő értékek és az ECMWF operatív determinisztikus modellje által szolgáltatott adatok gyakoriságai.

A hőmérséklet kapcsán egy speciális vizsgálatot is végeztünk. A hideg légpárnás eset tanulmányozása közben ugyanis észrevettük, hogy a különbség mellékterminusok alkalmával mintha nagyobb lenne a mérés és a modell között, mint főterminuskor, aminek következtében egyfajta hullámszerűség jelentkezik az adatsor grafikonján. Így

évszakonként még megnéztük azt is, hogyan alakulnak a mért és a modelladatok közti különbségek relatív gyakoriságai az egyes időpontokban.

A csapadéknál az intervallumokat már nehezebb volt létrehozni, ugyanis a sok 0 mm-es adat miatt lényegében nehézkessé válik az ábrázolás, így elkülönítettük a csapadékmentes időszakokat, és csak a legalább 0,1 mm-t elérőket tekintettem. Ezek közül 5 mm-ig, tehát a jelentős mennyiségű csapadék kritériumáig 0,2 mm-es felbontást alkalmaztunk, majd külön szemléltük az ezen felülieket, ugyanis évenként elég változatos képet mutatott a maximálisan előforduló 3 órás csapadékösszeg. Az előbbiből ábrát, az utóbbiból, illetve a 0 mm-es adatok megoszlásából táblázatot készítettünk.

A szélesebbesség tekintetében a gyakorlatban használt elnevezéseknek megfelelően másképpen bontottuk fel a tartományokat. Így szélcsendnél és gyenge szélnél (≤ 3 m/s) 0,2 m/s-os, mérsékelt szél esetén (4-7 m/s) 0,5 m/s-os, míg az élénk szélből (≥ 8 m/s) kezdődően már 1 m/s-os intervallumokat állítottunk elő. 10 m/s felett viszont már alig fordult elő eset, ezért összegeztük a legalább 7,5 m/s-ot elérő értékeket. Az első kettőt ebben az esetben diagramon ábráztuk, míg az élénk vagy annál erősebb szelek előfordulásait táblázatban hasonlítottuk össze.

A mérési és a modellklíma összehasonlításához fontos még az eloszlásfüggvény, mely azt mutatja meg, hogy egy adat milyen valószínűséggel kisebb egy adott értéknél. Segítségével egyszerűen el lehet végezni például modelladatok kalibrációját: megvizsgálhatjuk, hogy a reanalízisben vagy a determinisztikus modellben szereplő paraméter értékéhez milyen előfordulási valószínűség tartozik a modellklíma-eloszlásfüggvényben, és ehhez a valószínűséghez hozzákeressük a megfigyelési klíma eloszlásfüggvényében szereplő azonos valószínűséghez tartozó megfigyelési értéket, ami a kalibrált értékünk lesz (Üveges, 2009). Az eloszlásfüggvényeknél a hőmérséklet esetén 1 °C-os, a szélesebbeségnél és a csapadéknál 0,1-es beosztást alkalmaztunk.

4. AZ ÖSSZEHASONLÍTÁS SORÁN KAPOTT EREDMÉNYEK

Budapest belvárosában is, mint minden nagyvárosban, megfigyelhető a városi hősziget jelensége, vagyis hogy többnyire magasabb a hőmérséklet, mint az öt körülvevő területeken (Kern, 2001). Ennek erőssége éves és napi ciklusban egyaránt változik: télen az épületek fűtése miatt akár kétszer akkora is lehet, mint nyáron, míg a külterületeken jelentkező nagyobb éjszakai kisugárzás következtében éjjel intenzívebb a hősziget, mint nappal.⁴ A reanalízis és a determinisztikus modell esetében is, a modell horizontális felbontása miatt a városi hősziget hatása elhanyagolhatóan kicsi területre terjed ki, így elvárható, hogy a fent említett általános tapasztalatokat a kapott eredmények is alátámasszák.

4.1. A hőmérséklet

Ha a háromóránkénti hőmérsékleteket nézzük, akkor elmondható, hogy mindhárom téli hónapban, mind a nyolc időpont alkalmával a városklíma állomás mérései magasabbak, mint akár az ECMWF ERA Interim adatbázisából, akár a determinisztikus modelltől származó értékek (4. ábra). A legkevésbé a legközelebbi rácspontra vonatkozó reanalízis adatok térnek el a mérésektől, itt az átlagos különbség a nappali órákban (09, 12 UTC) 0-1 °C között van, helyi idő szerinti 13 órakor éri el minimumát, míg lényegében sötétedéstől (kb. 15 UTC) egészen reggelig 2 °C körül alakul. A vizsgált nyolc évre a legnagyobb differencia késő este, 21 UTC-kor tapasztalható, jellemzően 2-2,5 °C-os anomáliával, de a 4 pontos reanalízis átlag, illetve a determinisztikus modell esetében 3 °C körüli eltérés is előfordul (5. ábra).

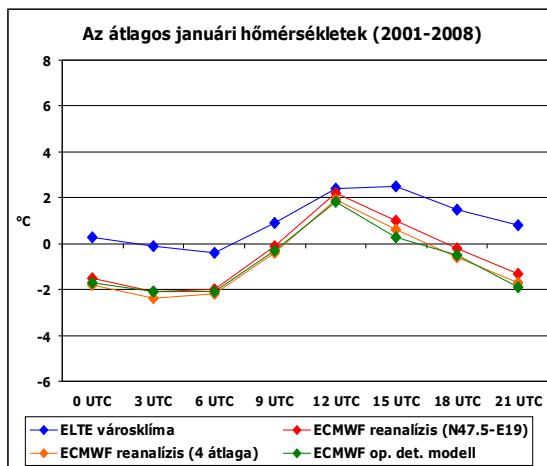
2003 februárjában azonban szokatlanul nagy különbségek adódtak, hiszen napközben többnyire 1-2 °C-kal, éjjel viszont 3-5 °C-kal is magasabbak voltak a városklíma állomás átlagai, mint a modelladatoké, különösen a reanalízis esetében kiugróak ezek az értékek (6. ábra). Ez talán annak tudható be, hogy a hónap elején egy, az ország közelében örvénylő ciklonból olyan nagy mennyiségű hó hullott, mely a hónap végéig sem volt képes elolvadni, a belvárosi részeken viszont általában kevésbé

⁴ Városi hősziget:

http://www.atmosphere.mpg.de/enid/6e83b9f1745088aa7687310aae619f25,0/2__V_rosi_kl_ma/_V_rosi_h_sziget_3ho.html

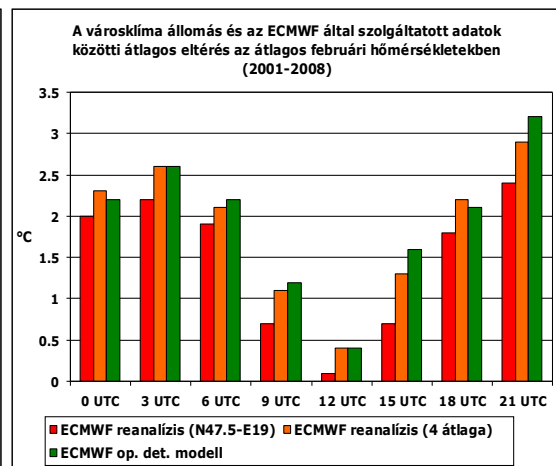
marad meg a hó, így a modell a szokásosnál jobban alábecsülhette a valós hőmérsékleteket.

Megemlíthető még két eset a 2001-es esztendőből is, amikor januárban például éjszaka is csak alig haladta meg az 1 °C-ot a különbség, míg 12 UTC-kor, sőt a reanalízis esetében 09 UTC-kor is, a modelladatok átlaga volt a magasabb (7. ábra), ami télen alig fordult elő. Ehhez egy enyhe januárra volt szükség, amikor országos átlagban 2,6 °C-kal melegebb volt az év első hónapja, mint az átlagos. Ez év decemberében pedig a „másik irányban” adódtak nagyobbak a differenciák, hasonlóan, mint 2003. februárban, bár ez ekkor inkább csak a reanalízis adatok átlagában volt érezhető.



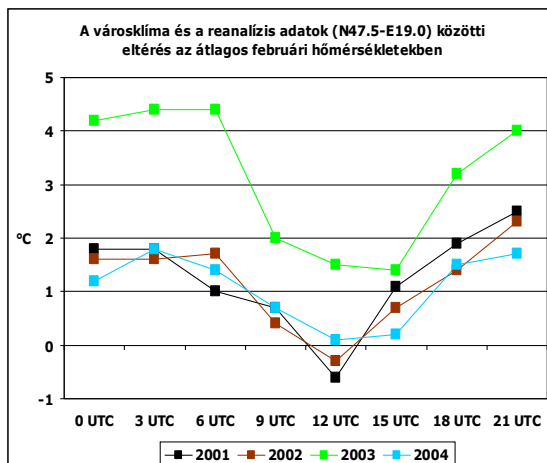
4. ábra

A több évre átlagolt januári hőmérsékletek



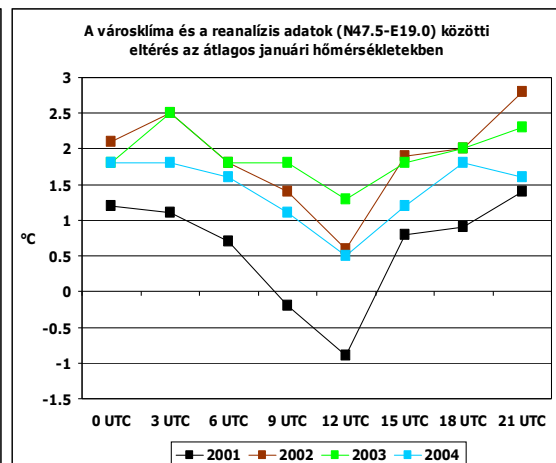
5. ábra

Az adatsorok közötti átlagos eltérés az átlagos februári hőmérsékletekben



6. ábra

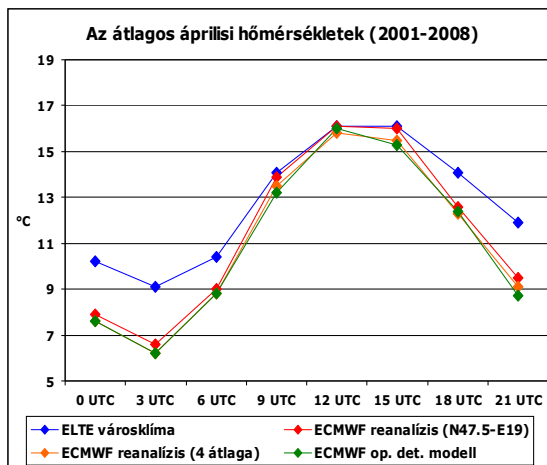
A városklíma és a reanalízis közötti eltérés az átlagos februári hőmérsékletekben (2001-2004)



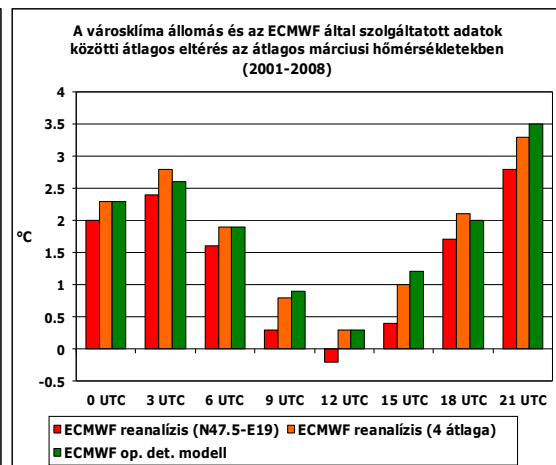
7. ábra

A városklíma és a reanalízis közötti eltérés az átlagos januári hőmérsékletekben (2001-2004)

A tavasz folyamán tendenciózus folyamatokat figyelhetünk meg a nappalok hosszának függvényében. A 15 UTC-kor, télen meglévő közel 2 fokok különbség fokozatosan csökken, olyannyira, hogy áprilisban már gyakorlatilag egyenlő a mérési és a legközelebbi rácspontra a reanalízis adatokból képezett átlag (8. ábra). Hasonló jellegű a változás eleinte a 6, majd később a 18 UTC-s időpontban is, igaz kisebb mértékben. Mindez azzal magyarázható, hogy később sötétedik, és korábban világosodik. A hosszabb és egyúttal erősebb besugárzás ott is jelentkezik, hogy 12 UTC alkalmával a közeli rácspontra már márciusban is magasabb hőmérsékletet jelez a reanalízis, mint ami a klímaállomáson mérhető, és ez a nyár felé haladva ugyanúgy megfigyelhető. Ennek lehetséges oka lehet, hogy a melegebb hónapokban alapjában véve is gyengébb a hősziget-hatás, ezen felül pedig az egyetem épülete árnyékot vet a műszerkertre, így a helyi hatások, azaz az őt körülvevő park, illetve a Duna befolyása érezhetőbbé válik. A 4 pontos reanalízis átlag, illetve a determinisztikus modell átlaga viszont mindvégig magasabb marad, mint a mérés. Az éjszakai órákra jellemző eltérés továbbra is fennáll, sőt a 21 UTC-s időpont, március hónapban a legnagyobb átlagos differenciákat produkálja, 3-3,5 °C-kal (9. ábra).



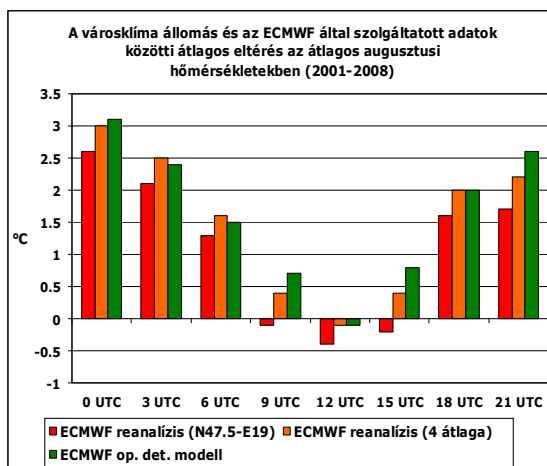
8. ábra
A több évre átlagolt áprilisi hőmérsékletek



9. ábra
Az adatsorok közötti átlagos eltérés az átlagos márciusi hőmérsékletekben

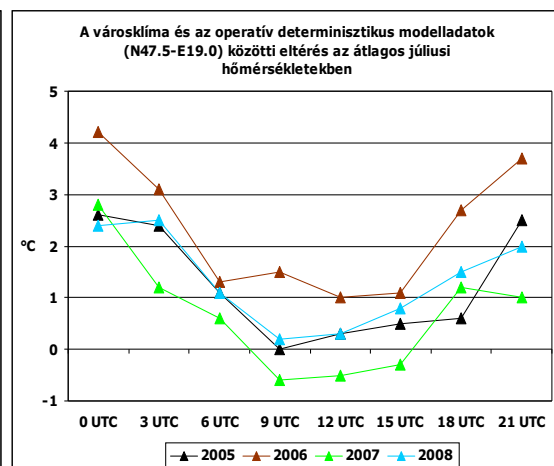
A nyarat tekintve elmondható, hogy tovább csökkennek az eltérések, különösen júliusban és augusztusban, és 21 UTC helyett egyre inkább 00 UTC-kor lesz észlelhető a legnagyobb különbség. Ezen felül 12 UTC mellett most már a 09 és a 15 UTC-s időpont alkalmával is alacsonyabb a városklíma állomás átlaga, mint a közeli rácspontra vonatkozó reanalízisé, 12 UTC-kor pedig nemcsak az utóbbira, hanem a 4 pontos

reanalízisre és a determinisztikus modellre is igaz mindez az év nyolcadik hónapjában (10. ábra). A negatív anomáliák közül egyébként talán elvárható lenne, hogy 2007 júliusában legyenek a maximálisak, ebben a hónapban ugyanis 15-e és 24-e között harmadfokú hőségriadó volt érvényben, 6 napon megdőlt az adott napra vonatkozó maximumhőmérsékleti rekord, 20-án az abszolút melegrekord is, ilyen forróságban pedig még élesebb lehet a hőmérsékletbeli kontraszt egy parkos, vízhez közeli terület és egy füves, pusztás felszín között. Ennek ellenére a reanalízis esetén egyáltalán nem rendkívüli a differencia a többi évhez vagy más nyári hónapokhoz képest, csak a determinisztikus modellnél beszélhetünk kevésbé szokványos értékekről (11. ábra).



10. ábra

Az adatsorok közötti átlagos eltérés az átlagos augusztusi hőmérsékletekben

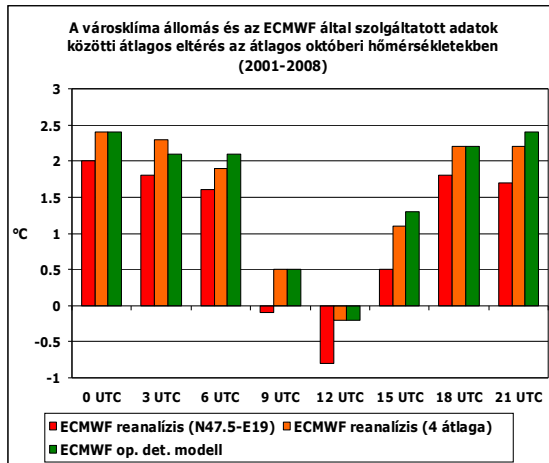


11. ábra

A városklíma és a determinisztikus modelladatok közötti eltérés az átlagos júliusi hőmérsékletekben (2005-2008)

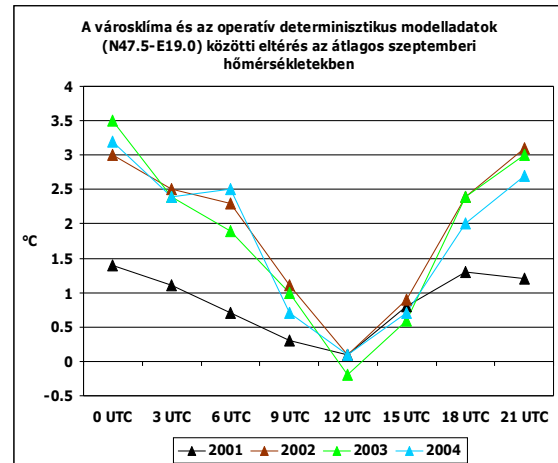
Ősszel többé-kevésbé a tavaszinak a fordítottja játszódik le: egyre hosszabb ideig lesz 2 °C körüli a differencia a napok során, bár a különbségek némileg kisebbek, mint tavasszal. Elképzelhető, hogy ennek oka a nagyobb átlagos felhőborítottság kisugárzást csökkentő hatásában keresendő. Ettől függetlenül 12 UTC-kor kezdetben nemhogy egyre kevésbé lépné túl a modelladatok átlaga a mértékét, hanem októberben alakulnak ki a legnagyobb átlagos eltérések (12. ábra), ami eléggé meglepő. Még novemberben is nyárra jellemzőek ekkor a különbségek, majd csak decemberben „normalizálódik” a helyzet.

2001 szeptembere országos átlagban 1,8 °C-kal hűvösebb volt a sokéves átlagnál, ami azt eredményezte, hogy éjjel a megszokotthoz képest közelebb voltak a mért adatokhoz mind a reanalízis, mind pedig a determinisztikus modell értékei (13. ábra).



12. ábra

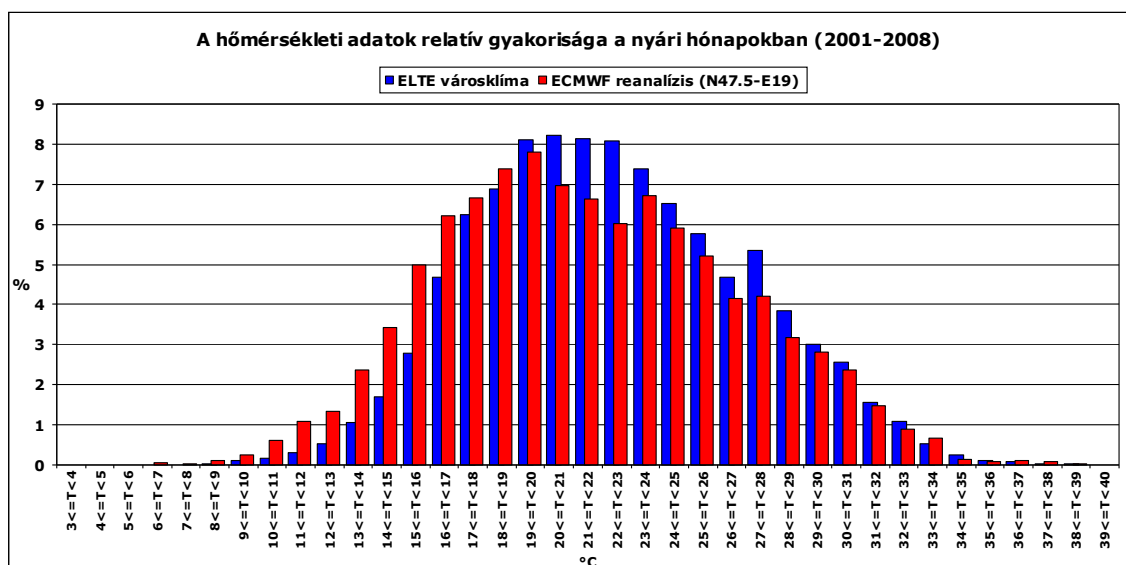
Az adatsorok közötti átlagos eltérés az átlagos októberi hőmérsékletekben



13. ábra

A városklíma és a determinisztikus modelladatok közötti eltérés az átlagos szeptemberi hőmérsékletekben (2001-2004)

Rátérve a relatív gyakoriságokra, az elvárásoknak megfelelően azt láthatjuk, hogy az ERA Interim és az operatív determinisztikus modell esetén is az alacsonyabb hőmérsékletek gyakorisága nagyobb a városklíma állomás méréseihez képest, minden évszakban, tehát Lágymányoson gyakoribbak a magasabb hőmérsékletek, mint az a reanalízis vagy az előrejelzett mezők alapján várható lenne (14. ábra). Ebből a szempontból nincs érdemi különbség a háromféle adatforrás között, tehát mindegyiknél nagyjából ugyanott fordul meg az arány a mérés és a modell között.



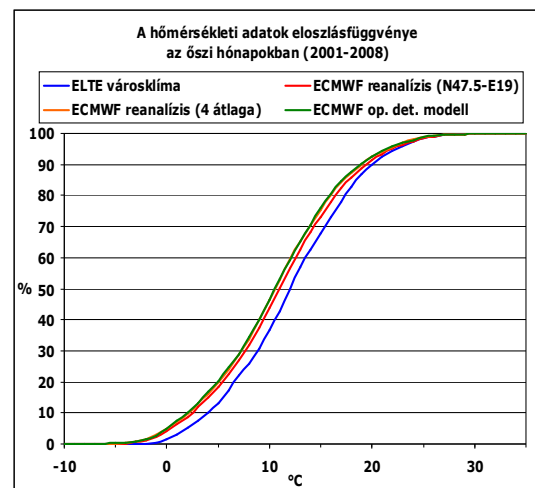
14. ábra

A hőmérséklet relatív gyakorisága nyáron (2001-2008)

Tavasszal és ősszel csak 5-7 %-os relatív gyakorisággal szerepelnek a legtöbbször előkerülő adatok, míg télen és nyáron 7-9 %-kal, ami azzal hozható összefüggésbe, hogy az átmeneti évszakokban szélesebb skálán ingadoznak a hőmérsékletek, éghajlatunk jellegéből fakadóan.

Ha egyfajta sorrendet szeretnénk felállítani az adatsorok között, akkor azt tapasztaljuk, hogy általában a legkevesebb alacsony hőmérsékleti érték a klímaállomáson fordul elő, őt követi a közeli rácspontra vonatkozó reanalízis, majd a 4 pontos reanalízis átlag, végül pedig a determinisztikus modell a legközelebbi rácspontra. Magas hőmérsékleteknél pont fordítva: a mért adatokból van több, a determinisztikus modellből a kevesebb. Ezek alapján arra következtethetnénk, hogy az állomástól legkisebb távolságra fekvő rácspont reanalízis adatai közelítik leginkább a városklíma állomást, azonban az évszakonként előforduló legnagyobb esetszám nem mindig e kettőnél van egymáshoz a legközelebb.

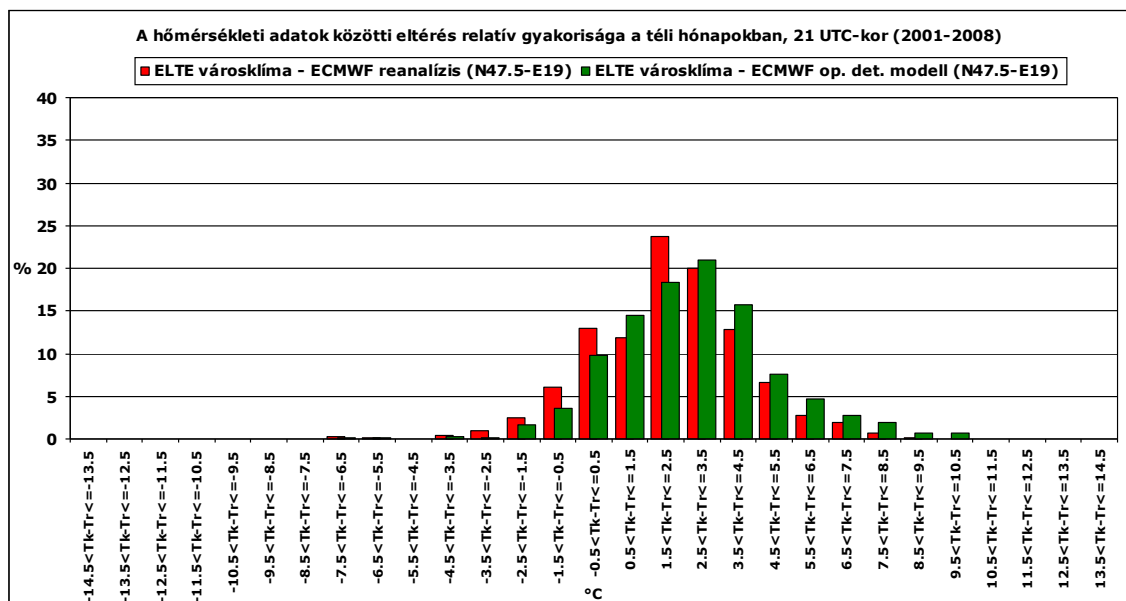
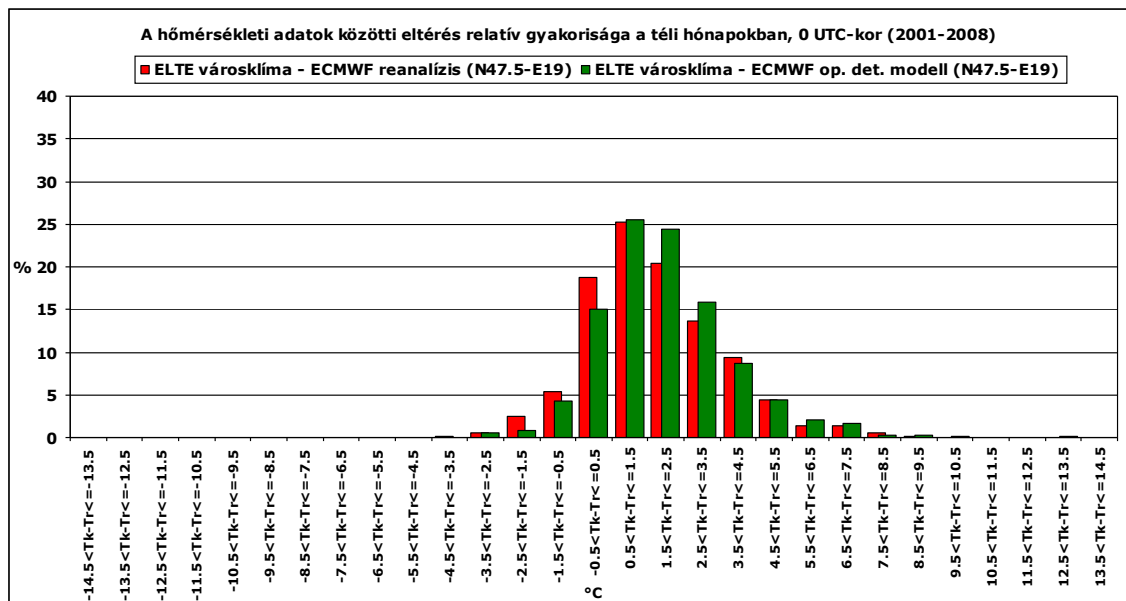
Az évszakonként felállított eloszlásfüggvények segítségével hasonló eredményeket kaptunk, mint a többi szempont szerinti összehasonlítás alkalmával. Legnagyobb valószínűséggel a determinisztikus modellnél lesz kisebb a hőmérséklet egy adott értéknél, míg a legkisebbel természetesen a mérésnél. Tehát az adathiányok pótlására ezen vizsgálatok alapján az északi szélesség 47,5°, keleti hosszúság 19°-os rácspont reanalízis adatsora lenne alkalmas, ezen belül is leginkább az őszi hónapokban (15. ábra).



15. ábra
A hőmérséklet eloszlásfüggvénye
ősszel (2001-2008)

Végezetül a harmadik fejezetben már említett, kiegészítő vizsgálatról írok, amit elsősorban a hideg légpárnás esetről a modelladatokban, különösen az éjszakai órákban megfigyelhető, hullámzó hőmérsékleti menet miatt végeztünk el.

A télen várt eltérés statisztikailag is kimutatható: 00 UTC-kor 25 %-os relatív gyakorisággal 0,6-1,5 °C-kal magasabb a hőmérséklet a mérőállomáson, mint ami a modellekben szerepel, ugyanakkor 03 és 21 UTC alkalmával 10 %-kal kisebb ennek gyakorisága, helyette az 1,6-2,5 °C-os tartományban ér el 20-25 %-ot (16. ábra). A diagram képe egyébként nagyon hasonló az éjfélhez a 06 és a 18 UTC-s időpontban is.



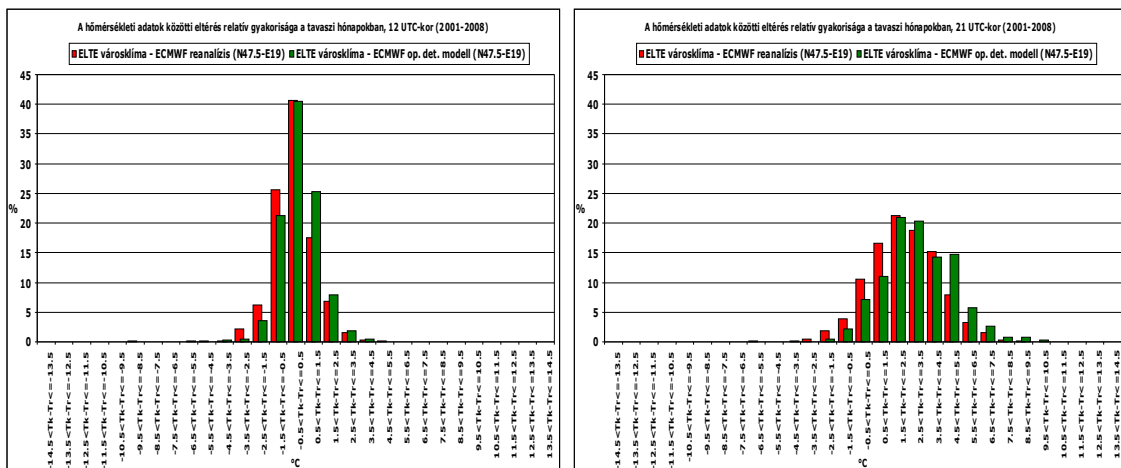
16. ábra
A városklíma és a modelladatok közötti eltérések relatív gyakorisága a téli hónapok hőmérsékleteiben, 00 és 21 UTC-kor

Tavasszal már sokkal kevésbé figyelhető meg éjjel a fő- és mellékterminusok közti különbség, és akkor is csupán 00 és 21 UTC vonatkozásában. Nyáron pedig a télivel pont ellentétes értékek adódnak, hiszen 00 UTC-kor gyakoribb a nagyobb eltérés a valóságban, míg 03 és 21 UTC-kor egyaránt kevesebb a számuk. Az őszi hónapokban, hasonlóan a tavaszihoz, ismét nem tapasztalhatók számottevő differenciák.

Az is látható, hogy napközben egyre kevesebb lesz az alulbecslés, miközben a túlbecslések száma növekszik („balra tolódik” a grafikon), éjszaka pedig pont fordítva, és ez összhangban van a korábbi eredményekkel is. A determinisztikus modelladatok

esetén többször fordul elő nagyobb mértékű alulbecslés, mint a reanalízisnál, a felülbecslések viszont inkább a reanalízisre jellemzőek.

Minden egyes évszakban észrevehetjük még, hogy napközben jelentősen megnő bizonyos értékek gyakorisága, ami főleg főterminuskor jelentkezik, és azzal jár együtt, hogy 12 UTC alkalmával például a „csúcspontban”, azaz jelen esetben a $\pm 0,5$ °C-os tartományban, 40-45 %-os a relatív gyakoriság, tehát elég pontosak a modellek adatai. Az éjszaka felé haladva, különösen a mellékterminusokban azonban egyre kevesebb eset kerül a legnagyobb gyakoriságú intervallumokba, ami pedig azt jelenti, hogy nagyobb lesz a szórása az adatoknak (17. ábra).



17. ábra

A városklíma és a modelladatok közötti eltérések relatív gyakorisága a tavasi hónapok hőmérsékleteiben, 12 és 21 UTC-kor

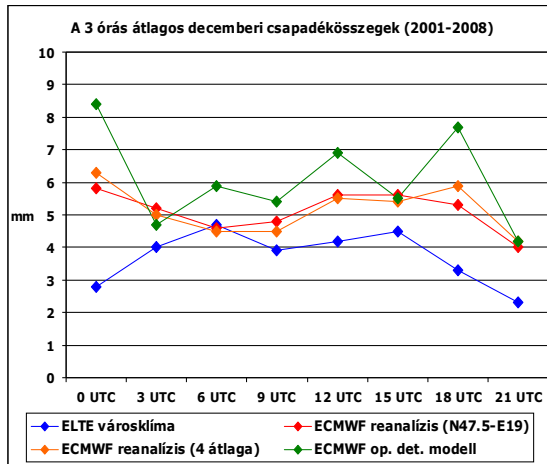
A feltételezés tehát többé-kevésbé igaznak bizonyult, valóban vannak különbségek a fő- és mellékterminusok között, ám ez évszakonként és napszakonként más-más mértékben mutatkozik meg.

4.2. A csapadék

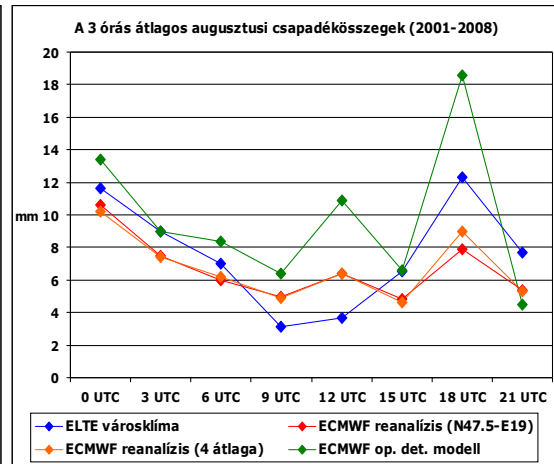
A 3 órás csapadékösszegekre vonatkozóan jóval nehezebb általános összefüggéseket felállítani, éppen ezért fontos megvizsgálni, hogy valóban igazak-e azon kutatási eredmények, melyek szerint télen a modellek a kis csapadékokat felül-, míg nyáron, a konvektív csapadék jellegéből és a modell területi átlagolásából fakadóan a nagy csapadékmennyiséget inkább alulbecslik (Göber *et al.*, 2008).

A hónapok közül decemberben mind a 8 darab 3 órás intervallumban magasabb a determinisztikus modell alapján becsült átlagos csapadékösszeg, és a két reanalízis

adatsor esetén is csak 06 UTC-kor lesz a mérés a nagyobb (18. ábra). A másik irányban viszont már nincs ilyen egyértelmű példa, a reanalízis adatok átlagos összegei zömmel alacsonyabbak, ugyanakkor a determinisztikus adatokéi többnyire nyáron is magasabbak (19. ábra).

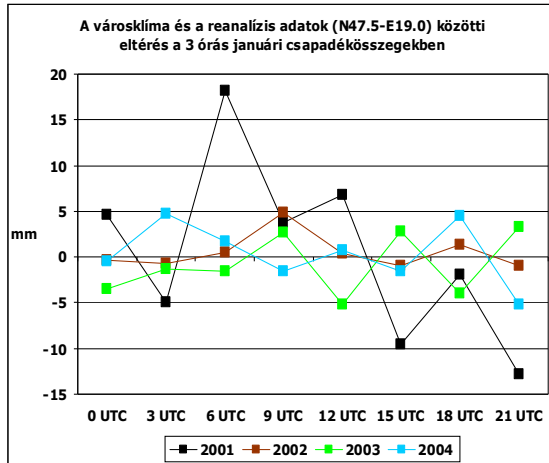


18. ábra
A több évre átlagolt decemberi csapadékösszegek

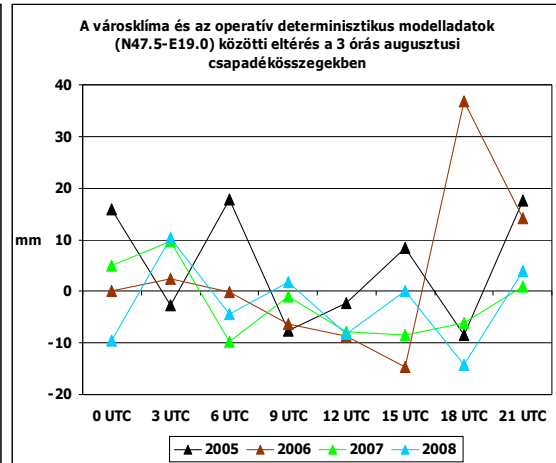


19. ábra
A több évre átlagolt augusztusi csapadékösszegek

Télen jobbra 10 mm-en belüliek az eltérések a 3 órás havi összegeknél, a 2001-es esztendő januárjában azonban a szokásosnál nagyobbak a különbségek, ami a reanalízisnél és a determinisztikus modellnél is megfigyelhető (20. ábra). Ezt azzal lehet magyarázni, hogy ugyan átlag feletti volt a lehullott csapadék mennyisége, de szeszélyes területi eloszlásban. Az első két tavaszi hónapra is jobbra a ± 10 mm-ek jellemzőek, egyedül 2005 áprilisa képez kivételt, amikor négyszer is eltér a szokásostól a különbség, ám ez itt inkább csak a reanalízisre áll fenn. Az OMSZ honlapján olvasható, hogy ekkor is több volt az átlagnál a csapadék, ám a csapadékhozam országon belüli eloszlása ekkor sem volt egyenletes. Májusban és júniusban már megszorodnak a 10 mm feletti differenciák, ahogy egyre gyakoribbá válnak a záporok, zivatarok, így nem meglepő, hogy már ekkor is fellép egy-egy 20-25 mm-es eltérés 2004-ben, mindkét hónapban. Júliusban és augusztusban pedig már nem ritkák a nagyobb csapadékhiányok, illetve -többletek sem. A legnagyobb „pozitív” irányú különbség például 2006 augusztusában alakult ki, ekkor körülbelül 35 mm-rel hullott több az állomáson, a 15-18 UTC közötti időszakokban, mint amennyi az ECMWF ERA Interim adatbázisban vagy éppen a determinisztikus modellben szerepel (21. ábra).

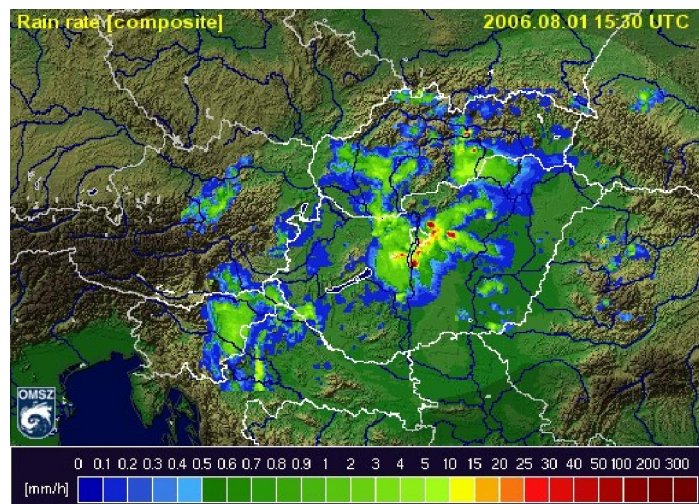


20. ábra
A városklíma és a reanalízis közötti eltérés a 3 órás januári csapadékösszegekben (2001-2004)



21. ábra
A városklíma és a determinisztikus modelladatok közötti eltérés a 3 órás augusztusi csapadékösszegekben (2005-2008)

Az utóbbihoz nagyban hozzájárulhatott egy augusztus 1-jei konvektív rendszer, mely 16:00 és 16:10 UTC között, 10 perc leforgása alatt 8,7 mm-t, míg a 3 órás időszakban 38,1 mm-t produkált (22. ábra). Azt, hogy valóban nagy „vihár” volt, két pestszentlőrinci synop távirattal szeretném illusztrálni, kiemelve a fontosabb részeket (97-es jelenidő, erős zivatar, esővel; valamint 39,7 mm egy órás csapadékösszeg):



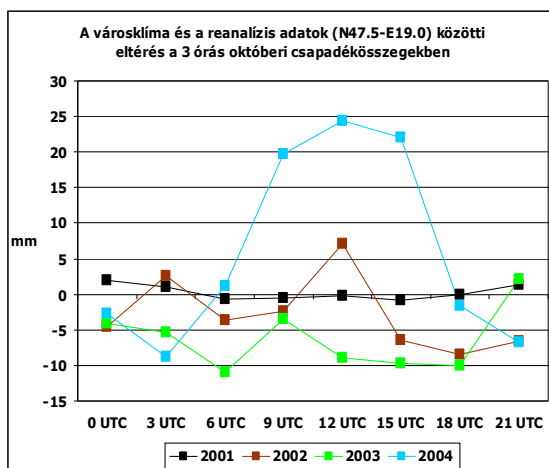
22. ábra
OMSZ kompozit radarkép
2006. augusztus 1. 15:30 UTC

```
AAXX 01161 12843 41502 81906 10217 20203 39932 40094 53002
79792 889// 333 88926 555 10092 55114 6083/=
AAXX 01171 12843 41515 82304 10189 20184 39936 40099 53015
79599 889// 333 88926 555 10097 55152 6397/=
```

Az ősz egyébként a „megszokott” képet mutatja, tehát már csak ritkán jelenik meg egy-egy 10 mm feletti eltérés, kiugró adattal is inkább csak 2004. októberben találkozhatunk, ekkor viszont 12 és 15 UTC-kor, sőt a reanalízis szerint 09 UTC

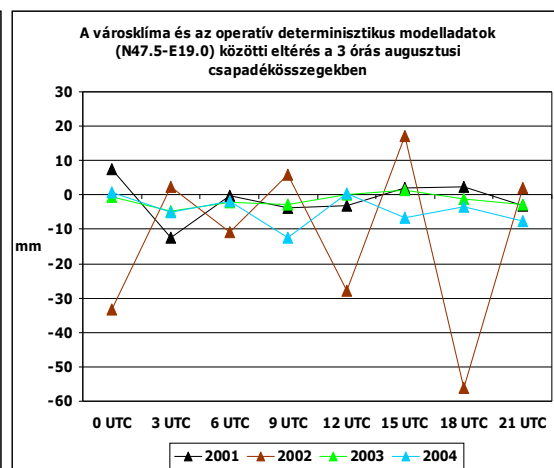
alkalmával is körülbelül 20 mm-rel volt több csapadék a légmányosi mérőállomáson, mint azt a modellek becsülték vagy előrejelezték (23. ábra).

Egy érdekességet még mindenképpen megemlítenék. Bár azt várnánk el, hogy a legnagyobb differencia a modellek alulbecslésekor áll elő, mégis egy olyan esetről van szó 2002 augusztusából, 15 és 18 UTC között, amikor a determinisztikus modellben 80,2 mm csapadék szerepel szemben a mért 24,1 mm-rel, ez tehát 56,1 mm-es különbség (24. ábra). Az előbbinek a nagy része két nap alatt, 13-án és 22-én gyűlt össze, míg az utóbbi döntően 11-éről származik. A modellben várt csapadékok közül a 13-ai csendes típusúnak, a 22-ei pedig valószínű, hogy konvektív jellegűnek ígérkezett volna a pezsztentlőrinci állomás megfigyelései szerint.



23. ábra

A városklíma és a reanalízis közötti eltérés a 3 órás októberi csapadékösszegekben (2001-2004)



24. ábra

A városklíma és a determinisztikus modelladatok közötti eltérés a 3 órás augusztusi csapadékösszegekben (2001-2004)

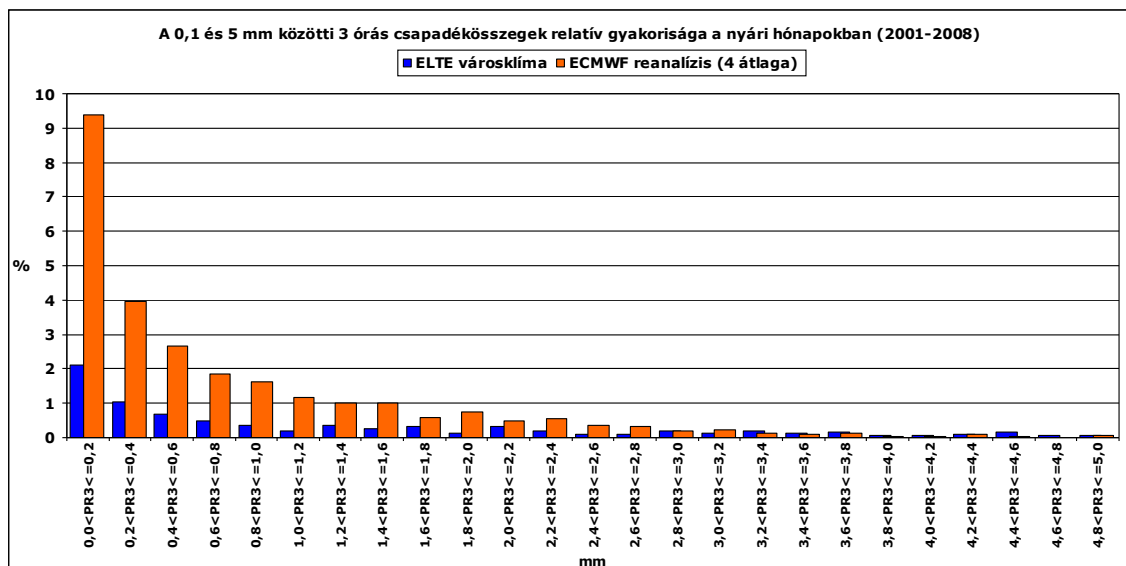
A relatív gyakoriságoknál először tekintsük a csapadékmentes időszakok eloszlását. A legtöbb minden évszakban a városklíma állomáson fordul elő, míg a legkevesebb a 4 pontos reanalízis átlagból kerül ki, ami ugye annak köszönhető, hogy a kisebb csapadékot hajlamosak felülbecsülni a modellek, így aztán többször adnak csapadékot, mint ahányszor valójában van. A legjobban egyébként a közeli rácspont reanalízis adatai becslik a 0 mm-es csapadékösszegek gyakoriságát, de még ez is jócskán elmarad a valóságtól, hiszen 10-13 %-kal gyakoribbak a városklíma állomáson. Abban egyetértés van az adatforrások között, hogy ősszel a legnagyobb az esélye egy csapadékmentes 3 órának, viszont a legkisebb gyakoriságnál már nem azonosak az egyes adatsorok eredményei. Bár az állomáshoz legközelebb eső rácspont reanalízise áll

ugye a legközelebb a bekövetkezett értékekhez, mégis ez az egyedüli, mely tavaszra teszi a gyakoriságok minimumát, a többi a téli időszakra (II. táblázat).

	tavasz	nyár	ősz	tél
ELTE városklíma	89,88 %	90,6 %	91,21 %	88,48 %
ECMWF reanalízis (N47,5°-E19°)	76,95 %	78,7 %	81,2 %	77,92 %
ECMWF reanalízis (4 átlaga)	72,27 %	73,03 %	76,04 %	72,14 %
ECMWF op. det. modell	76,27 %	75,85 %	76,68 %	74,03 %

II. táblázat
A 0 mm-es 3 órás csapadékösszegek gyakorisága adatforrásonként,
az egyes évszakokban (2001-2008)

Ha megnézzük a 0,1 és 5 mm közötti 3 órás összegeket, akkor az összes évszakra vonatkozóan csak a 0,1-0,4 mm közötti tartományban vannak a 0 mm-essel összhangban a látottak, azaz, hogy leggyakoribb a 4 pontos reanalízis átlag, legkevésbé gyakori a városklíma, ami legtávolab egyébként nyáron áll fenn, ott egészen 1 mm-ig. Később kaotikussá válik a kép, szinte intervallumonként változó, hogy melyikből van a legtöbb, de természetesen egyre csökken az előfordulás, minél nagyobb csapadékösszegekről van szó (25. ábra).



25. ábra
A 3 órás csapadékösszegek relatív gyakorisága nyáron (2001-2008)

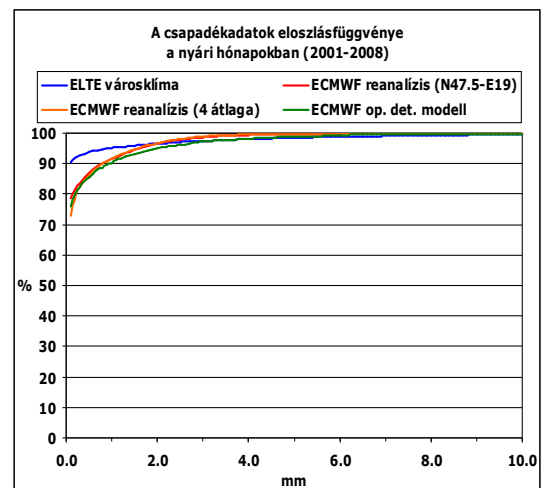
Éppen ezért célszerű még a 3 óra alatt lehulló jelentős mennyiségű, tehát 5 mm feletti csapadékokat megvizsgálni. A városklíma állomáson a tapasztalatoknak megfelelő az évszakok közötti megoszlás, tehát amikor többször van konvektív

csapadék (főleg tavasszal és nyáron), nagyobb a hirtelen lezúduló csapadék esetszáma is. A modellekre egyrészt teljesül az a megállapítás, hogy általában alulbecslik a nagy csapadékot, de másképpen oszlanak el az évszakok között, mint a városklíma állomáson. Ezekben az esetekben az operatív determinisztikus modell nyújtja a legjobb teljesítményt, igaz, télre már túl is becsli előfordulásukat (III. táblázat).

	tavas	nyár	ősz	tél
ELTE városklíma	39	82	29	18
ECMWF reanalízis (N47,5°-E19°)	6	18	32	10
ECMWF reanalízis (4 átlaga)	7	15	18	4
ECMWF op. det. modell	21	68	29	23

III. táblázat
Az 5 mm feletti 3 órás csapadékösszegek esetszáma adatforrásonként, az egyes évszakokban (2001-2008)

A csapadékatatok eloszlásfüggvényén szembeötlő, hogy a kisebb csapadékok valószínűsége egyértelműen a klímaállomáson nagyobb, összhangban a modellek felülbecslésével, majd 2-4 mm környékén megfordul ez az arány, és már a modelldatok következnek be nagyobb valószínűséggel. Ez a folyamat legjobban a nyári hónapok eloszlásfüggvényén figyelhető meg (26. ábra). A hőmérséklettel ellentétben, az eddigiek alapján itt már nehezebb lenne a pótláshoz legmegfelelőbb adatbázis kiválasztása.



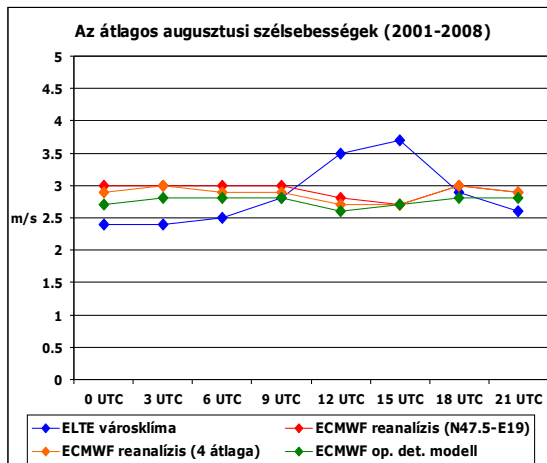
26. ábra
A csapadék eloszlásfüggvénye nyáron (2001-2008)

4.3. A szélsőesség

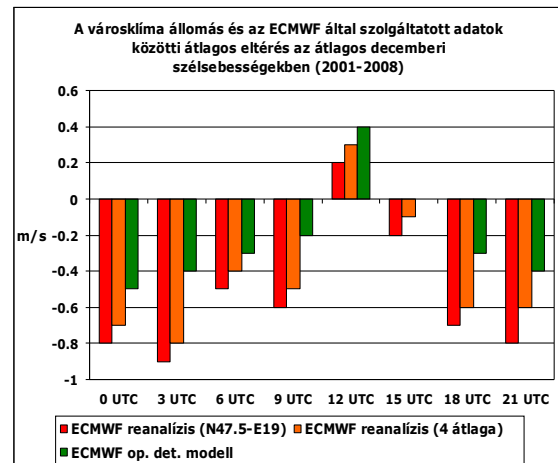
A havi átlagos szélsőességek grafikonjait szemlélve arra a megállapításra juthatunk, hogy a téli időszakot kivéve, az egyes időpontokban mért adatok jobban ingadoznak a nap folyamán, mint a modellek adatai. Ráadásul, míg a városklíma állomáson délután van a maximális szélsőesség (ez természetes, hiszen napközben

alakulnak ki nagyobb hőmérséklet-különbségek, ami erősödő légmozgást eredményez), addig, noha nem számottevően és nem is mindig, de a modellek akkorra számolták a kisebb értékeket (27. ábra). Az ECMWF adatok között többé-kevésbé egy sorrendiség is látható, a legtöbb időpontban és hónapban a közeli rácspont reanalízis értékei adják a legmagasabb, míg a determinisztikus modell a legalacsonyabb szélsőségeket.

Télen, ezen belül is decemberben és januárban még csak 12 UTC-kor magasabb a mérés, közel 0,5 m/s-mal, az éjszakai órákban viszont akár 1 m/s-os is túlbecslés is bekövetkezhet (28. ábra).



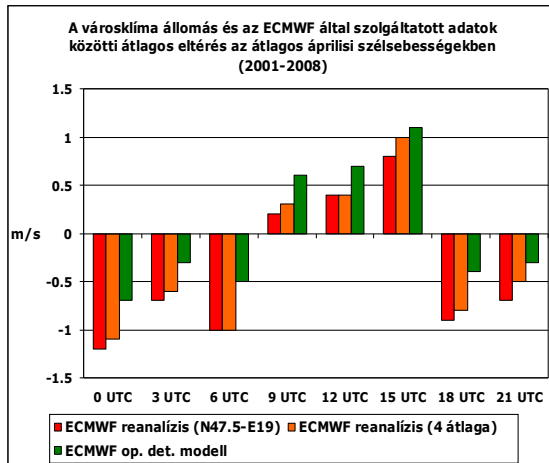
27. ábra
A több évre átlagolt augusztusi szélsőségek



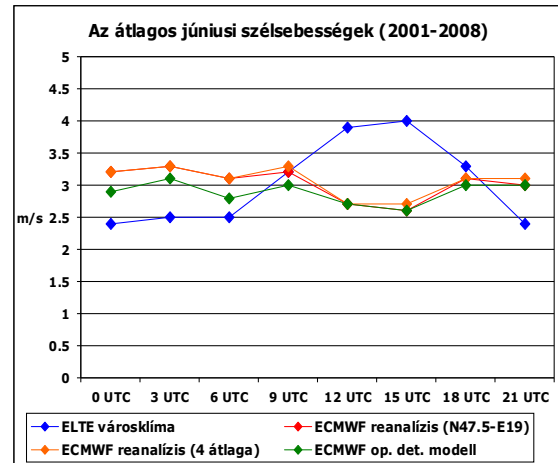
28. ábra
Az adatsorok közötti átlagos eltérés az átlagos decemberi szélsőségekben

A hőmérséklethez hasonlóan, itt is az évszakoknak, és így a nappalok hosszának megfelelően változnak a különbségek. Már februárban észlelhető, hogy 15 UTC-kor nagyobb az átlagos szélsőség a valóságban, ekkor még csak alig 0,5 m/s-mal, tavasszal viszont már az 1 m/s-ot is meghaladhatja a differencia, olyannyira, hogy az év negyedik hónapjától a kilencedikig, vagyis közel fél évig 12 UTC helyett ekkor lesz a legerősebb az alábecslés. Ilyen irányú változás 09 UTC alkalmával is végbe megy, ott márciusban még csupán a determinisztikus modellnél, majd áprilisban már mindegyiknél megfigyelhető, de ez stabilan nem marad jellemző a későbbiekben. Ezzel szemben éjszaka eleinte még nem csökkennek az eltérések, sőt időnként több mint 1 m/s-mal is fölébecsülik a szél sebességét (29. ábra).

A nyár lényeges változást nem hoz, a napközbeni alulbecslés néha a 1,5 m/s-ot is eléri, éjszaka végig 1 m/s alatt van a túlbecslés, rövid ideig viszont 18 UTC-kor is meghaladják a mérések a modelladatokat, ám csak nagyon kis mértékben (30. ábra).



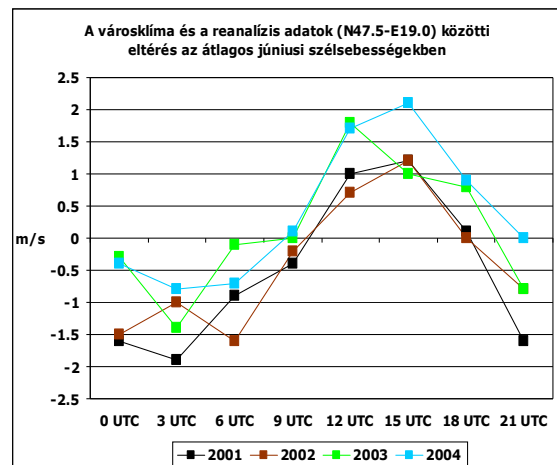
29. ábra
Az adatsorok közötti átlagos eltérés az átlagos áprilisi szélesebségekben



30. ábra
A több évre átlagolt júniusi szélesebségek

Ősszel ugyanakkor a nappalok rövidülésével, a besugárzás gyengülésével fordított irányt vesznek a folyamatok: nappal egyre kevésbé és egyre rövidebb ideig lesz magasabb a mérés, éjszaka pedig nagyobb mértékben és tovább alacsonyabb.

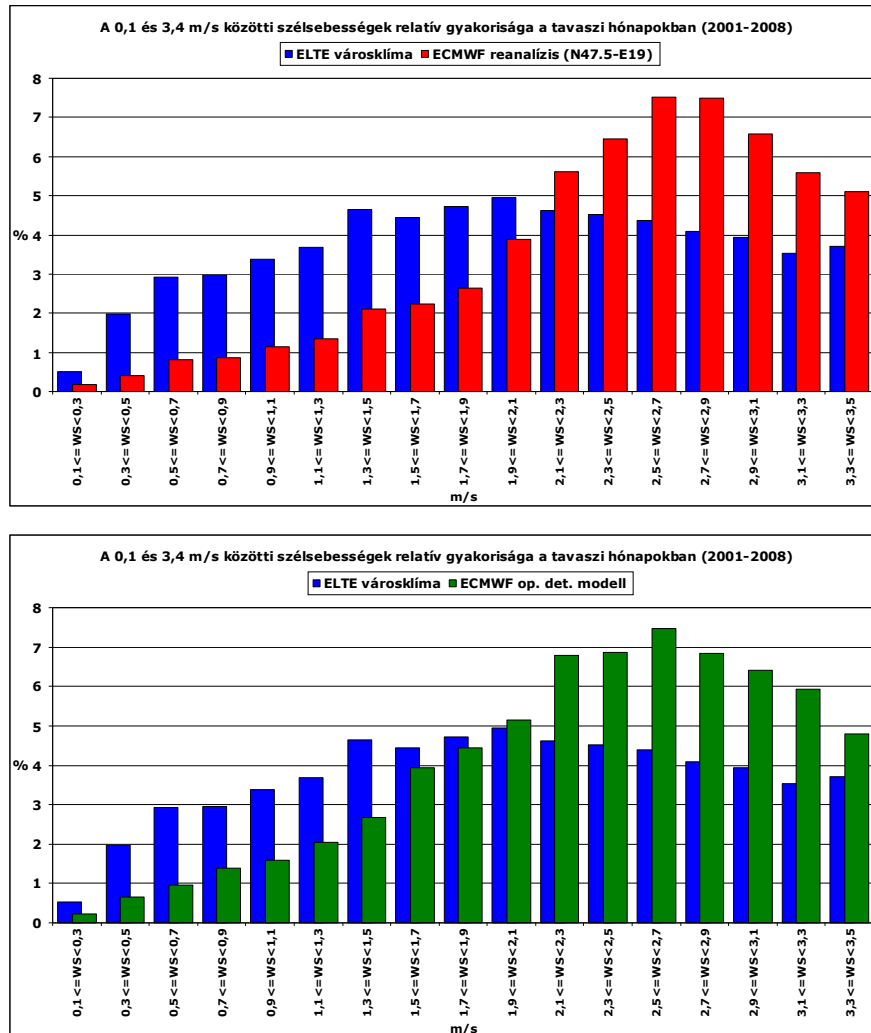
Az adatsorok közötti eltérés az egyes években a szélesebségnél nem hozott rendkívüli eseteket, mint a hőmérséklet vagy a csapadék esetében, aminek meg lehetne vizsgálni az időjárási hátterét. Ez amiatt lehet, hogy nagyon ritka egy tartósan szeles vagy szélcsendes hónap, ami nagyban befolyásolhatná a különbségeket. A lágymányosi 45 méteres mérési magasság ellenére ugyanúgy előfordulnak mind pozitív, mind negatív irányban 2 m/s körüli eltérések, sőt talán gyakrabban becslnek jobban felül a modellek, mint alul, mert előbbi az év bármely részére jellemző, utóbbi inkább csak a tavaszra és a nyárra (31. ábra).



31. ábra
A városklíma és a reanalízis közötti eltérés az átlagos júniusi szélesebségekben (2001-2004)

A széladatok relatív gyakoriságot több tartományra bontva szemléltük. 0,0 m/s-os szélesebség a klímaállomáson egyáltalán nem volt, és a modelladatok között is csupán évszakonként egy-egy darabot találunk az 5500-5800-ból. A magasabb értékek felé egyre nő a gyakoriság, ám a mérésnél hamarabb éri el maximumát, mint akár a becslt, akár az előrejelzett adatsornál, és emellett az előbbi nem is rendelkezik határozott

csúccsal, csak a téli és tavaszi időszakban. Nagyjából 2 m/s-nál fordul meg az arány, nyáron ennél valamivel előbb, az átmeneti évszakokban, tehát tavasszal és ősszel kicsit később, ha pedig az egyes ECMWF produktumokat nézzük, akkor a determinisztikus modellnél mindig hamarabb a reanalízisekhez képest (32. ábra).



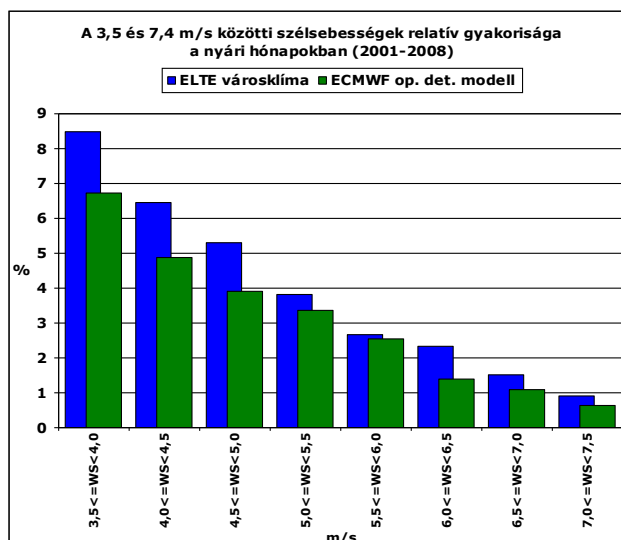
32. ábra

A gyenge szél relatív gyakoriságai tavasszal, a reanalízis és a determinisztikus modell esetén (2001-2008)

Ez azonban nem mindig marad így, ugyanis nyáron körülbelül 3 m/s felett újból a mérések válnak gyakoribbá (33. ábra), mérsékelt szél esetén pedig tavasszal szintén megfigyelhető mindez, de ebben az esetben csak a determinisztikus modellnél. Tehát még a 4-7 m/s-os intervallumban sem lesznek minden évszakban gyakoribbak a 45 méteren mért értékek a 10 méterre becslétekkel szemben.

8 m/s felett, azaz legalább élénk alapszél esetén azonban már a várakozásoknak megfelelően mért adatokból van a legtöbb, emellett pedig az is látható, hogy mindkét

reanalízis adatsor jóval közelebb van hozzá, mint a determinisztikus modellben előforduló esetszámok (IV. táblázat).

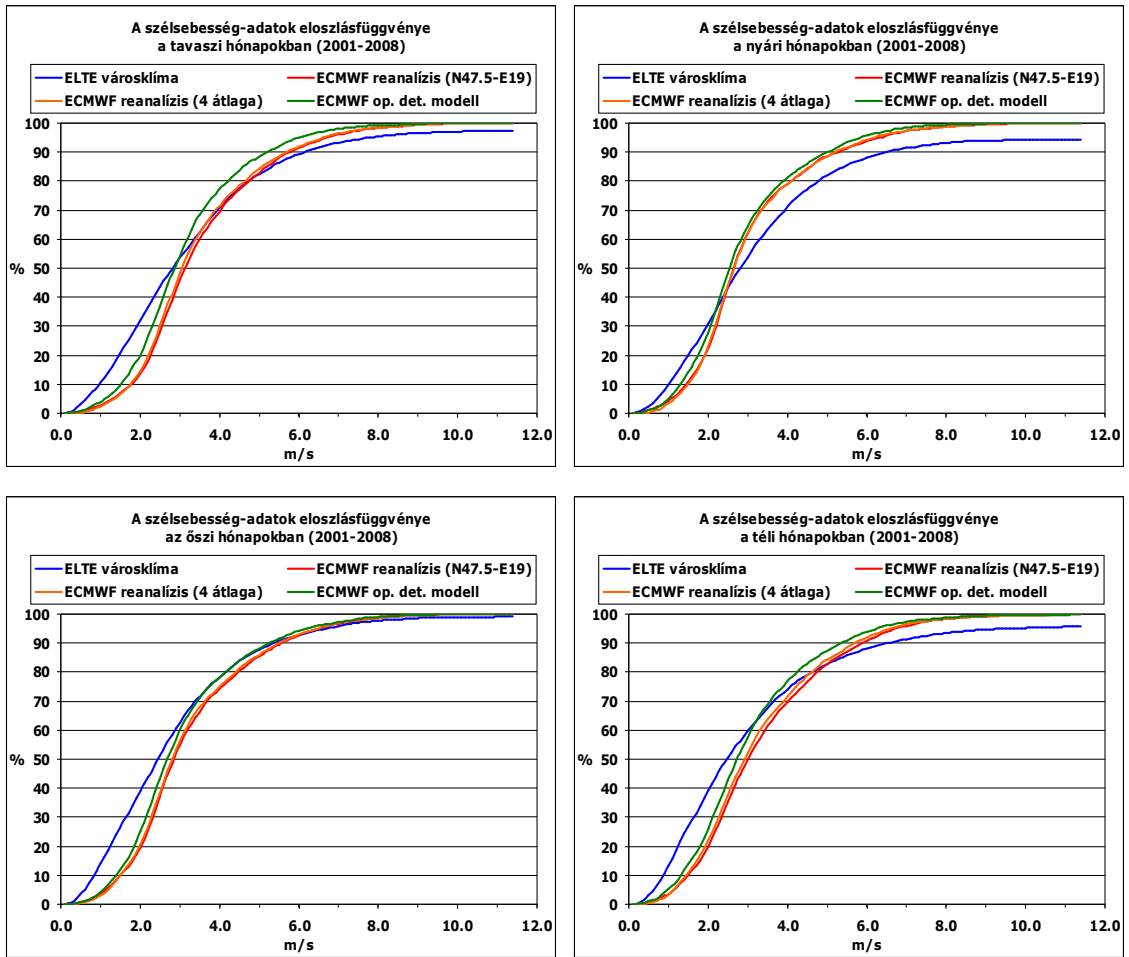


33. ábra
A mérsékelt szél relatív gyakoriságai nyáron a determinisztikus modell esetén (2001-2008)

	tavaszi	nyár	ősz	tél
ELTE városklíma	190	127	132	211
ECMWF reanalízis (N47,5°-E19°)	143	105	123	140
ECMWF reanalízis (4 átlaga)	139	101	117	138
ECMWF op. det. modell	74	53	93	103

IV. táblázat
Az élénk vagy annál erősebb (≥ 8 m/s) szelek esetszáma adatforrásonként, az egyes évszakokban

Az eloszlásfüggvények tükrözik az eddig kapott eredményeket: kis szélességek esetén (2-3 m/s alatt) a determinisztikus modell közelíti legjobban a városklíma adatok eloszlását, nagyobb szélességeknél viszont egyre inkább a reanalízis. Ez a különbség a nyári hónapokban nagyon élesen jelentkezik, ugyanakkor ősszel elmosódnak, télen és tavasszal pedig hasonló képet mutatnak. Tehát a hiányzó értékek majdani pótlása során használandó adatbázis erősen függ nemcsak a szél sebességétől, hanem az évszaktól is (34. ábra).



34. ábra

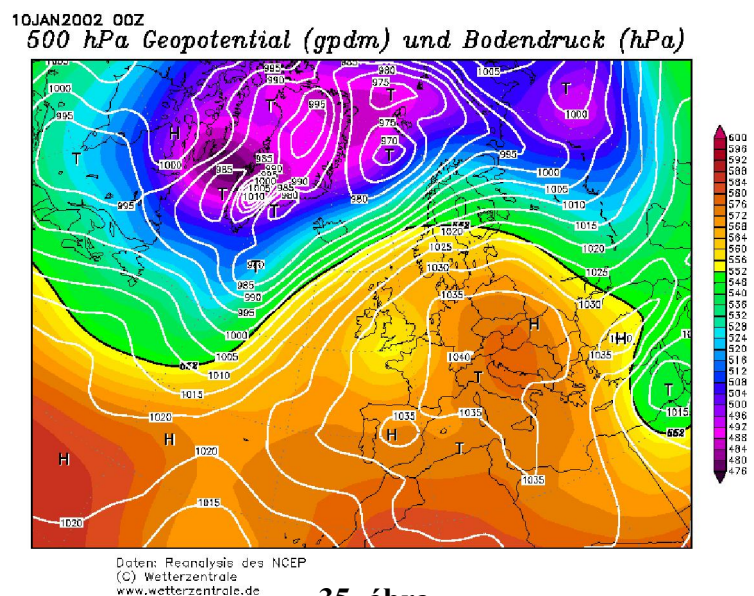
A szélesebbesség eloszlásfüggvényei tavasszal, nyáron, ősszel és télen (2001-2008)

5. ESETTANULMÁNYOK

Az időjárás alakulása sokszor meghatározó az adatsorok közti különbségekre nézve. A nyári, derült, illetve a téli, hideg légpárnás helyzetben is két, ötnapos időszakra vetettük össze a mért hőmérsékleteket a modelladatokkal, míg a Kyrill érkezésekor emellett a mért csapadékot is összehasonlítottuk.

5.1. Téli, hideg légpárnás időjárás helyzet

Elsőként a 2002. január 9-e és 13-a közötti periódusra esett a választás. Az első napon, hajnalban még kevés volt a felhő a pestszentlőrinci adatok szerint, majd reggelre köd képződött, mely később megemelkedve alacsony szintű rétegfelhőzetet hozott létre, és 12 UTC-től kezdve már végig borult volt az ég. Ezen felül időnként, de

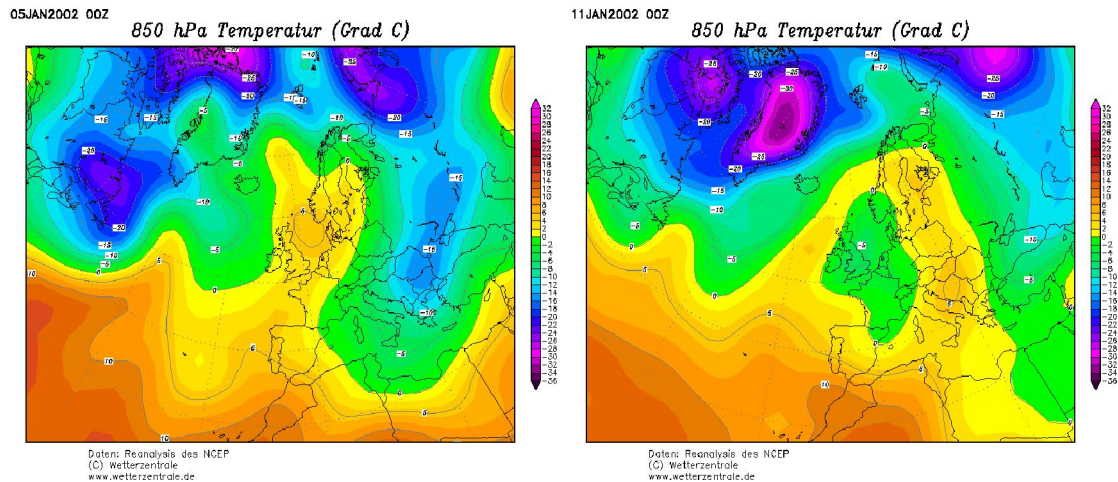


35. ábra
500 hPa geopotenciál (gpm) és légnyomás (hPa)
2002. január 10. 00 UTC

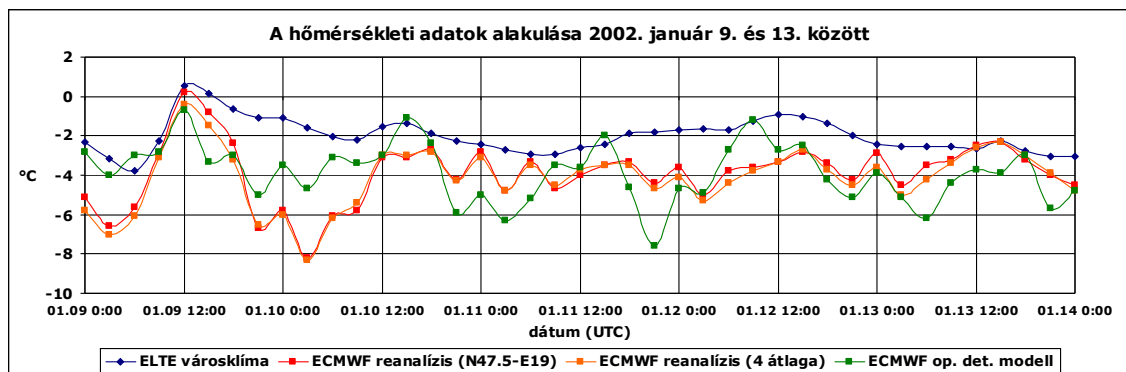
főleg 13-án ónos szitálás, szemcsés hó is előfordult. A hideg légpárnás helyzetért egy nyugat felől ránk húzódó anticiklon volt felelős (35. ábra), mely a 850 hPa-os nyomási szinten komoly felmelegedést okozott, ugyanis néhány nap alatt közel 15 °C-kal nőtt a hőmérséklet, tehát adottak voltak a feltételek a jelenség kialakulásához (36. ábra).

Ha megnézzük először a méréseket és a determinisztikus modelladatokat, akkor rögtön látható, hogy 9-én, a nap első felében még viszonylag kicsik a különbségek, tehát ekkor még jó volt az előrejelzés, majd 15 UTC-től már megnő az eltérés: míg a mért adatok alig ingadoznak, addig az előrejelzettek többé-kevésbé periodikusan változnak. Ennek az lehet az oka, hogy ilyen időjárás helyzetben a legtöbb modell gyakran kevesebb felhővel számol, mint amennyi valójában van, így az éjszakai kisugárzás miatt erősebb lehűlést mutathatnak. Ezek alapján magyarázhatók lennének az esti, éjszakai, illetve reggeli órákban megfigyelhető különbségek. Ezzel szemben

viszont napközben a feltételezett napsütés következtében megközelíti, sőt akár meg is haladhatja az előrejelzés a mért értékeket (37. ábra). A reanalízis adatsora viszont az első két éjszakán még jelentősen, 5-6 °C-kal is alábecsli a valós értékeket, azonban az ezt követő időszakban már általában jobban közelíti azokat.



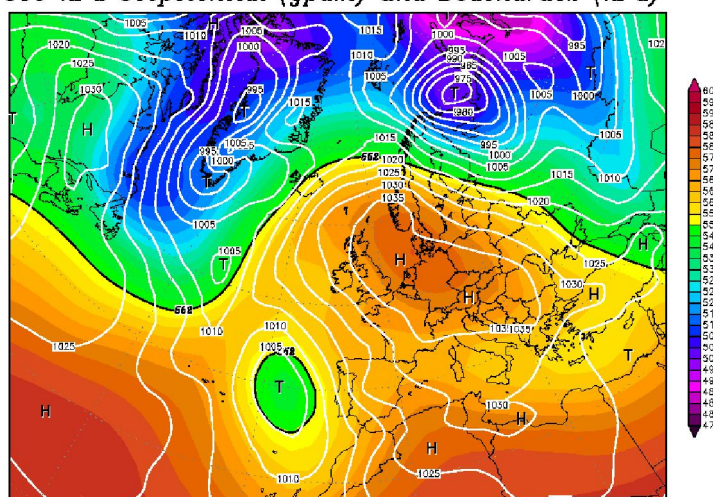
36. ábra
A 850 hPa-os hőmérséklet (°C)
2002. január 5. 00 UTC, illetve 2002. január 11. 00 UTC alkalmával



37. ábra
A hőmérséklet alakulása, 2002. január 9-13.

A másik ötnapos időszak a 2007. december 19. és 23. közötti, ami szintén kevés felhővel, még hozzá felhőtlen égbolttal indult 19-én hajnalban, majd Pestszentlőrincen sűrű köd keletkezett, és a továbbiakban már itt is a borult ég volt jellemző, alkalmanként szemcsés hóval. A hideg légpárnás helyzetet ekkor egy északnyugat felől főlénk helyeződő igen erős anticiklon okozta (38. ábra), a 850 hPa-os nyomási szinten pedig ugyancsak nagy mértékű melegedés volt tapasztalható, hiszen 5 nap alatt -10 °C-ról +5 °C fölé emelkedett a hőmérséklet (39. ábra).

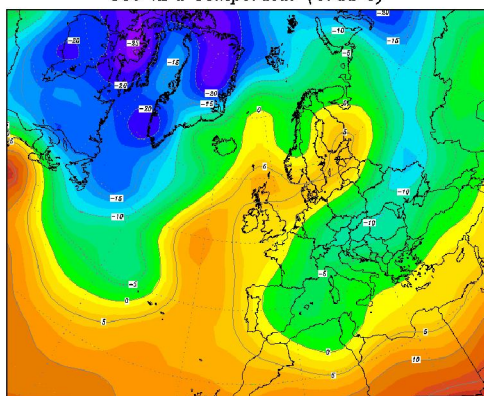
20DEC2007 00Z
500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)



Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

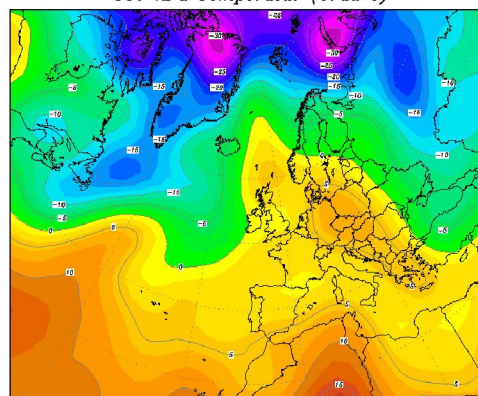
38. ábra
500 hPa geopotenciál (gpm) és légnyomás (hPa)
2007. december 20. 00 UTC

17DEC2007 00Z
850 hPa Temperatur (Grad C)



Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

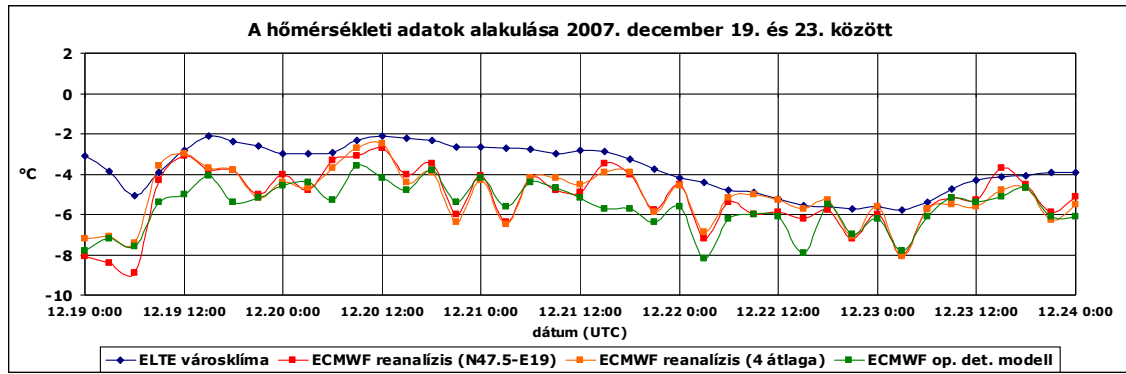
22DEC2007 00Z
850 hPa Temperatur (Grad C)



Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

39. ábra
A 850 hPa-os hőmérséklet (°C)
2007. december 17. 00 UTC, illetve 2007. december 22. 00 UTC alkalmával

Ezek a napok kissé eltérő képet mutatnak a különbségek, hiszen csak az első éjjelen nagyok, később egyre kisebbek az eltérések, olyannyira, hogy az időszak legvégére már alig alacsonyabbak a modellek értékei. Tehát elképzelhető, hogy ekkor jobban sikerült kezelnie ezt az időjárási helyzetet a modellnek, de a valódi ok meghatározása még további vizsgálatokat igényel. Mindenesetre az azért nagyrészt ekkorra is elmondható, hogy éjszaka vannak a nagyobb, nappal pedig a kisebb alábecslések, ám közel sem olyan egyenletesen, mint az előző esetben (40. ábra).



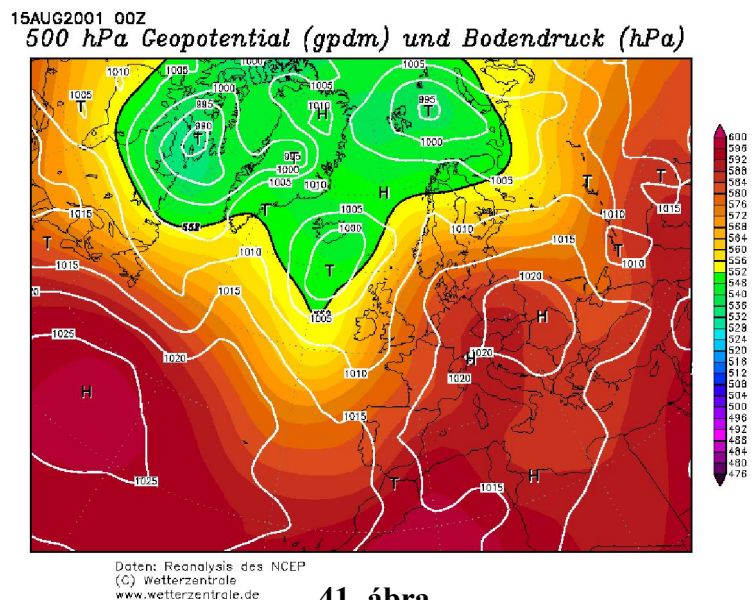
40. ábra
A hőmérséklet alakulása, 2007. december 19-23.

5.2. Nyári, derült időjárási helyzet

Itt először a 2001. augusztus 14-18. közötti időjárást vizsgáltuk meg, amikor Budapest-Lőrincen egyszer sem volt 4 oktánál több gomolyfelhő az égen (csak 14-én hajnalban, illetve 18-án éjfél körül fordult elő átmenetileg erősen felhős ég), köszönhetően egy magas nyomású légköri képződménynek, mely nyáron szép időt okoz, a télivel ellentétben (41. ábra).

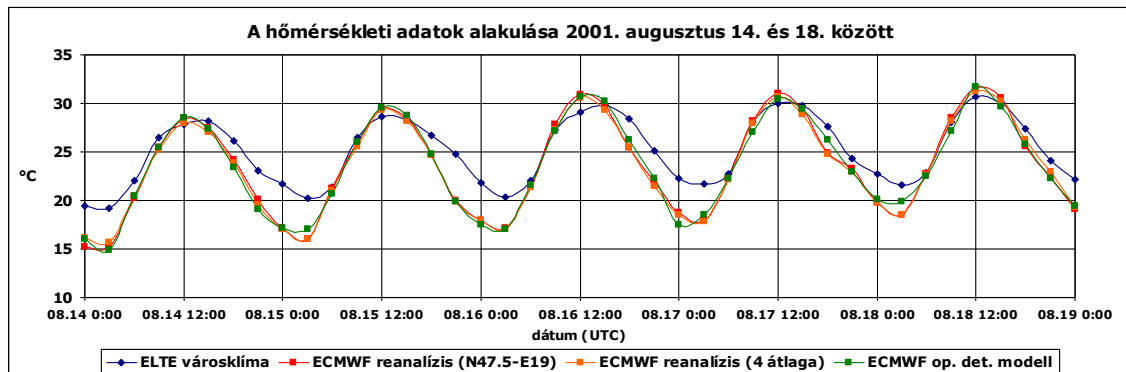
Tipikusan nyári menet volt megfigyelhető a hőmérséklet alakulásában: többnyire hajnali 2 órakor volt a legnagyobb különbség, a kevésbé lehűlő belvárosban akár 3-4 °C-kal

is magasabb hőmérsékletet mért a lágymányosi városklíma állomás, délután 2-kor viszont esetenként több mint 1 °C-kal alacsonyabbat. A legkisebb differencia a nappali órákban 17-én adódott, ezen a napon volt egyébiránt a legtöbb felhő, míg éjjel számottevően nem változtak az eltérések, csak az idő előrehaladtával csökkentek kicsit.



41. ábra
500 hPa geopotenciál (gpdm) és légnyomás (hPa)
2001. augusztus 15. 00 UTC

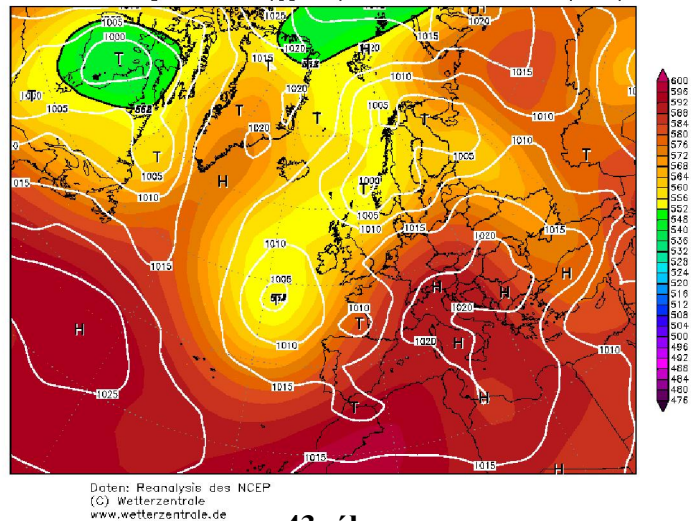
Fontos még kiemelni, hogy a három különböző modelladat között végig elenyészőek voltak a különbségek (42. ábra).



42. ábra
A hőmérséklet alakulása, 2001. augusztus 14-18.

A másik példa erre az időjárási helyzetre a 2007-es, emlékezetes hőhullám kezdetéhez kötődik, nevezetesen a július 14-e és 18-a közötti időszakot öleli fel. Ekkor még kevesebb volt a felhő a pestszentlőrinci obszervatórium megfigyelései szerint: 16, 17 és 18-án egész nap felhőtlen volt az ég, 15-én is derült, csupán 14-én volt felhősebb az idő, főleg a nap

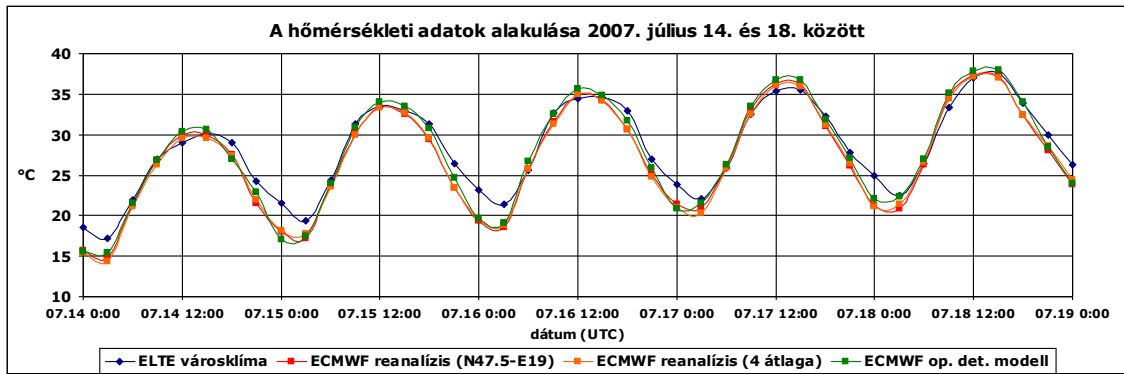
15.JUL.2007 00Z
500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)



Daten: Reanalyse des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de
43. ábra
500 hPa geopotenciál (gpm) és légnyomás (hPa)
2007. július 15. 00 UTC

első részében, ezen az éjszakán még erősen felhős időszakok is voltak. Természetesen ebben az öt napban is anticiklonális hatásoknak köszönhetjük a napsütéses időjárást (43. ábra).

Az előző esettel teljesen megegyezik a hőmérsékleti menet: az éjszakai órákban kezdetben ezúttal is 3-4 °C körüliek a különbségek, később azonban jelentősen csökkennek, míg nappal 0-1 °C körül van, előbbi esetben a mért, utóbbinál a modelladatok a magasabbak. A korábban már említett okokból kifolyólag, ahogy egyre inkább erősödött a forróság, már nem csak helyi idő szerint 14, hanem 11 és 17 órakor is magasabbra becsülte a reanalízis adatbázis a valós hőmérsékleteket (44. ábra).

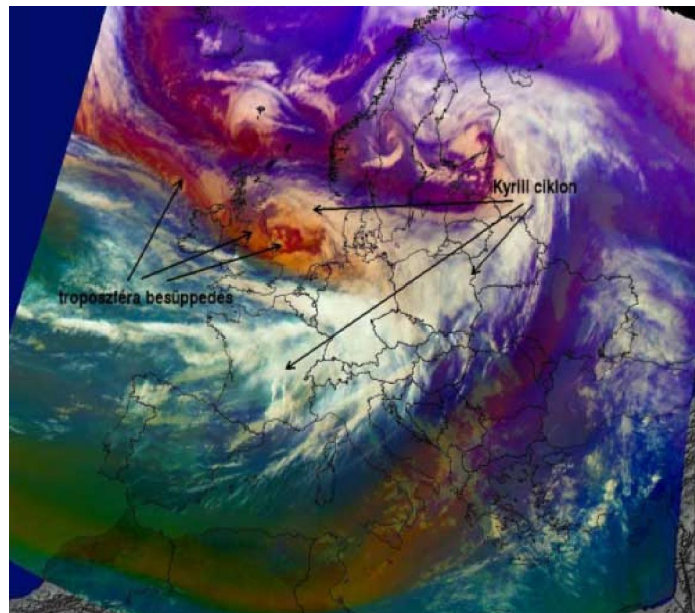


44. ábra
A hőmérséklet alakulása, 2007. július 14-18.

5.3. Kyrill nevű viharciklon, 2007. január 19.

A viharciklonok olyan légköri képződmények, melyek magjában a legnagyobb nyomássüllyedés 24 óra alatt eléri a 24 hPa-t. Ilyen volt a Kyrill is 2007. január 19-én, amikor a kis területen fellépő nagy légnyomásbeli különbségek miatt erős szelek léptek fel, és ez Európa több pontján is komoly károkat okozott (45. ábra). Hazánkban, hidegfrontja átvonulásakor megdőlt a legmagasabb éjszakai minimum-hőmérséklet rekordja: Sellyén 12,2 °C-nál nem mértek alacsonyabbat.

Ezen a napon egy helyi időben hajnali 4 órás mélypontot követően, reggel és délelőtt még emelkedett a hőmérséklet a városklíma állomáson, majd dél körül erőteljes csökkenésbe kezdett, ám este megtorpant a lehülés, sőt kissé melegedett is az idő. Ezt a menetet legjobban a közeli rácspont reanalízis adatai



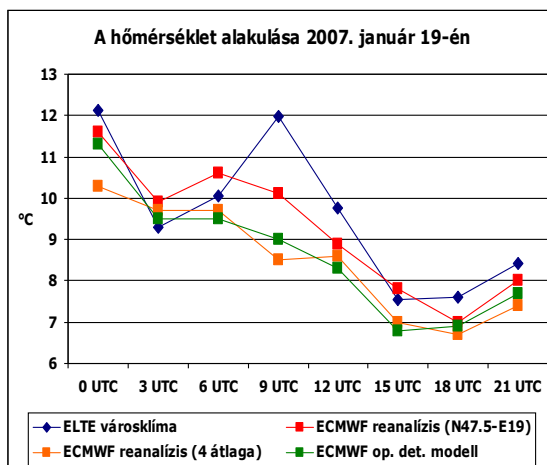
45. ábra
A METEOSAT-8 nevű meteorológiai műhold által 2007. január 18-án 12 óra 10 perckor készült légtömeg kompozit kép

adják vissza, bár ott rövidebb ideig tart a délelőtti, átmeneti emelkedés, ez viszont a 4 pontos reanalízis átlag, illetve a determinisztikus modell esetén egyáltalán nem jelenik

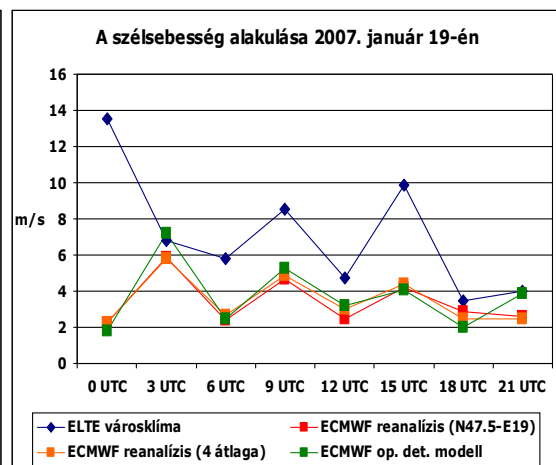
meg. Az esti órákban bekövetkező melegedést ugyanakkor mindhárom adatforrás tökéletesen visszaadja (46. ábra).

A csapadékban ugyancsak találunk különbségeket: míg a klímaállomás adatsorában 03 és 06 UTC-re is szerepel mérhető 3 órás csapadékösszeg (3,6, illetve 3,7 mm), addig az ERA Interim adatbázisban, akár a legközelebb eső rácspontra, akár a környező négy átlagát tekintjük, csupán nullás összegeket találunk. A determinisztikus modell esetén sem sokkal jobb a helyzet, hiszen ott is csupán 03 UTC-kor van mindössze 0,1 mm. Ez azzal lehet kapcsolatban, hogy a csapadékszámítás minden bizonnyal nem volt összefüggő.

A hidegfront hatására a 00 UTC-s időpontban erős alapszelet regisztrált az állomás (a szélesebbség 10 perces átlaga ekkor 13,6 m/s volt), majd mérséklődött a légmozgás, és napközben ugyan még előfordult élénk szél, estére azonban már a gyenge szél vált jellemzővé. A modelladatok ezzel szemben jóval alacsonyabb értékeket mutatnak, ami valószínűleg a légmánsosi 45 méteres mérési magasságnak tudható be (szemben a modell 10 méterével), viszont a szélerősödések, -gyengülések a nap nagy részében ugyanolyan ütemben jelentkeznek. Egyedül 00 és 03 UTC esetén nem teljesül mindez, hiszen az előbbi időpontban hatalmas a differencia, utóbbiban azonban szinte megegyeznek az adatok (47. ábra).



46. ábra
A hőmérséklet alakulása
2007. január 19-én



47. ábra
A szélesebbég alakulása
2007. január 19-én

6. ÖSSZEGZÉS

Dolgozatom fő célja az volt, hogy a budapesti városklíma-állomás mérési adatait összevegyük a korszerű ERA Interim reanalízis adatbázis, valamint az operatív determinisztikus modell legfinomabb felbontású eredményeivel.

Az adatok elemzése során sok tapasztalatot szereztünk, melyek közül talán az egyik legfontosabb, hogy nehéz olyan egységes szempont szerint végezni a klíma- és modelladatok összevetését, melyet a későbbiekben eredményesen tudunk majd alkalmazni a hiányzó adatok pótlásánál.

A reanalízisből, az előrejelzésből és a mérésből származó csapadékadatok gyakran ellentmondásosak, ami a modelladatok területi átlagolásával magyarázható. Előfordul olyan eset is, amikor nincs nullától különböző csapadékösszeg a modelladatokban, miközben jelentős, tehát 5 mm feletti csapadékot regisztrált az állomás. Ettől függetlenül a tendenciák leszűrhetők, viszont a szisztematikus eltérés hiánya miatt az adathiányok feltöltése már körültekintést igényel. Ebből a szempontból a hőmérséklettel kedvezőbb a helyzet, itt ugyanis már nagyobb az összhang az adatsorok között, azaz itt nagyobb az esély arra, hogy nem tévednénk túl nagyot a helyettesítés folyamán. A szélsőségek esetén pedig több tényező, így az évszak és a szélerősség együttes figyelembevételével érhető el a legjobb eredmény.

A jelen dolgozat még nem tett kísérletet a hiányzó adatok pótlására, ez az elkövetkezendő időszak teendői között szerepel. Tervezzük még az eljárás más változóira, így a szélirányra, relatív nedvességre, légnyomásra, globálsugárzásra történő kiterjesztését is.

Teljesen új megközelítésként 2 paraméteres vizsgálatokat is végzünk majd, ahol például a hőmérséklet eltérését vizsgáljuk a modell és a mérés között, a szélsőségek vagy éppen a globálsugárzáson keresztül a felhőzet függvényében, és ezekből egy 2 dimenziós tömböt, úgynevezett look-up-table-t (LUT) készítünk.

Az eredmények alapján világos, hogy noha eltérőek a módszerek, mégis sokféleképpen érdemes az adatsorokat összevetni, hogy a legpontosabb képet kapjuk azok egymáshoz való viszonyáról. Az eljárás más mérőállomásokra való kibővítésével az eredmények az előrejelzők munkáját is segíthetik, ha figyelembe veszik a modellek szisztematikusan jelentkező hibáit.

IRODALOMJEGYZÉK

- Göber, M., Zsótér, E. and Richardson, D. S., 2008: Could a perfect model ever satisfy a naive forecaster? On grid box mean versus point verification. *Meteorological Applications* 15., Royal Meteorological Societ., 359-365.
- Kern, A., 2001: Budapesti városklíma állomás az Eötvös Loránd Tudományegyetemen. *Tudományos Diákköri Dolgozat, ELTE TTK Meteorológiai Tanszék, Budapest*, pp 37.
- Marbouty, D., 2010: ECMWF's plan for 2010. *ECMWF Newsletter No. 122*, 4-5.
- Roth, G. D., 2000: Meteorológiáról mindenkinek. *Magyar Könyvklub, Budapest*, pp 295.
- Simmons, A., Uppala, S., Dee, D. and Kobayashi, S., 2007: ERA-Interim: New ECMWF reanalysis products from 1989 onwards. *ECMWF Newsletter No. 110*, 25-35.
- Tajti, D., 2009: Az ECMWF determinisztikus és valószínűségi előrejelzések összehasonlító verifikációja. *Szakedolgozat, ELTE TTK Meteorológiai Tanszék, Budapest*, pp 30.
- Uppala, S., Dee, D., Kobayashi, S., Berrisford, P. and Simmons, A., 2008: Towards a climate data assimilation system: status update of ERA-Interim. *ECMWF Newsletter No. 115*, 12-18.
- Uppala, S., Kallberg, P., Hernandez, A., Saarinen, S., Fiorino, M., Li, X., Onogi, K., Sokka, N., Andrae, U. and Bechtold, V. Da Costa, 2004: ERA-40: ECMWF 45-year reanalysis of the global atmosphere and surface conditions 1957–2002. *ECMWF Newsletter No. 101*, 2-21.
- Üveges, Z., 2009: Az ECMWF havi ensemble előrejelzéseinek kalibrációja. *Diplomamunka, ELTE TTK Meteorológiai Tanszék, Budapest*, pp 56.

INTERNETES FORRÁSOK

- 1. ábra: A lágymányosi városklíma állomás elhelyezkedése
<http://nimbus.elte.hu/klima/allomas/terulet.html>
- 35-36., 38-39., 41., 43. ábra: 500 hPa geopotenciál (gpm) és légnyomás (hPa), illetve 850 hPa hőmérséklet (°C) térkép, NCEP reanalízis
<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsreaeur.html>
- 45. ábra: A METEOSAT-8 nevű meteorológiai műhold által 2007. január 18-án 12 óra 10 perckor készült légtömeg kompozit kép
<http://www.met.hu/pages/vihar20070117.html>

- OMSZ, Éghajlat PAGE, Az elmúlt évek időjárása
http://www.met.hu/eghajlat/visszatekinto/elmult_evek/

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Hálával tartozom témavezetőmnek, Barcza Zoltánnak a munkám során nyújtott rengeteg segítségért, illetve a hasznos tanácsokért. Emellett szeretnék köszönetet mondani Ihász Istvánnak a támogatásáért.