

# Tartalomjegyzék

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1</b>   | <b>BEVEZETÉS</b>  | <b>2</b>  |
| <b>2</b>   | <b>FELHASZNÁLT MÓDSZEREK</b>  | <b>2</b>  |
| <b>2.1</b> | <b>Homogenizáció</b> .....  | <b>2</b>  |
| <b>2.2</b> | <b>Interpoláció</b> .....   | <b>3</b>  |
| 2.2.1      | <i>A modellezés során felhasznált segédváltozók</i> .....   | 4         |
| 2.2.2      | <i>Az interpoláció során felhasznált háttérváltozók</i> .....   | 5         |
| 2.2.3      | <i>A MISH speciális outputjai</i> .....   | 5         |
| 2.2.3.1    | <i>Varianciaanalízis, ANOVA (Analysis Of Variance)</i> .....  | 5         |
| 2.2.3.2    | <i>A determinisztikus paraméterek statisztikai elemzése</i> .....   | 6         |
| 2.2.3.3    | <i>A modellezési eredmények tesztelése (benchmark study)</i> .....  | 6         |
| 2.2.3.4    | <i>Háttérinformációk vizsgálata</i> .....   | 6         |
| <b>2.3</b> | <b>A napfénytartam és a globálsugárzás közötti átszámítás</b> .....                                       | <b>7</b>  |
| <b>2.4</b> | <b>A globálsugárzás ultrarövid távú előrejelzésének verifikációja során felhasznált módszerek</b> .....   | <b>7</b>  |
| <b>3</b>   | <b>A KUTATÁS SORÁN FELHASZNÁLT ADATOK</b>   | <b>8</b>  |
| <b>4</b>   | <b>EREDMÉNYEK</b>   | <b>9</b>  |
| <b>4.1</b> | <b>Homogenizálási statisztikák</b> .....  | <b>9</b>  |
| <b>4.2</b> | <b>A globálsugárzás és a napfénytartam közötti átszámítási statisztikák</b> .....                         | <b>10</b> |
| <b>4.3</b> | <b>A napfénytartam és globálsugárzás modellezése a MISH interpolációs rendszerben</b> .....               | <b>11</b> |
| 4.3.1      | <i>A varianciaanalízis eredményei</i> .....   | 11        |
| 4.3.2      | <i>A tengerszint feletti magasság hatásának vizsgálata</i> .....  | 11        |
| 4.3.3      | <i>A modellváltozók hatásának vizsgálata a műholdas felhőborítottság figyelembe vételével és anélkül.</i> | 12        |
| 4.3.4      | <i>Reprezentativitás vizsgálat</i> .....  | 13        |
| <b>4.4</b> | <b>A napfénytartam és globálsugárzás sokévi átlaga</b> .....  | <b>14</b> |
| <b>4.5</b> | <b>A napi globálsugárzás interpolálása</b> .....  | <b>16</b> |
| <b>4.6</b> | <b>A globálsugárzás ultrarövid távú előrejelzésének verifikációja</b> .....                               | <b>17</b> |
| <b>4.7</b> | <b>Térképkészítés az adatbázisban</b> .....   | <b>22</b> |
| <b>5</b>   | <b>EGYEBEK</b>  | <b>22</b> |
| <b>6</b>   | <b>PUBLIKÁCIÓK</b>  | <b>22</b> |
| <b>7</b>   | <b>EGYÉB HIVATKOZÁSOK</b>   | <b>23</b> |

# 1 BEVEZETÉS

Interpolációs módszer fejlesztések régóta folynak az Országos Meteorológiai Szolgálatnál (OMSZ). A 90-es évek második felében kezdtük elkészíteni Magyarország új éghajlati atlaszát, melyhez már korszerű interpolációt alkalmaztunk. A későbbi évek folyamán – különböző kutatási kereteket is felhasználva – saját fejlesztésű módszert dolgoztunk ki, mely nemzetközi viszonylatban is elismertté vált (MISH). A módszert felhasználva egyre több meteorológiai elem interpolálását meg tudtuk oldani, de a napfénytartam és globálsugárzás interpolációjának kérdése sokáig nyitott volt.

Jelen kutatásainkat éppen ezért e két meteorológiai paraméterre irányítottuk, hiszen egyre többen érdeklődnek a napsugárzás térbeli eloszlása iránt, a mezőgazdasági kutatások, az építészet, az energiatermelés és a turizmus oldaláról.

Vizsgálataink során csak jó minőségű, ellenőrzött és homogenizált adatsorokat használtunk fel, melyhez az OMSZ-ban fejlesztett MASH homogenizációs rendszert alkalmaztuk. Az állomási adatokon túl műholdas felhőfedettségi adatokat, valamint numerikus előrejelzési produktumokat is használtunk.

A kutatás eredményeképpen elkészült a napfénytartam és globálsugárzás térbeli interpolációjához szükséges modellezés, az eredmények statisztikai ellenőrzésével együtt. A modellezés alapján napi, havi és sokévi térképeket, rácsponti adatbázisokat tudunk készíteni. Az eljárás alkalmas az előrejelzett globálsugárzás értékek térbeli eloszlásának finomítására is, ami alapján – jó előrejelzések esetén – a korábbiaknál pontosabb napenergia előrejelzéseket tudunk készíteni.

Az előrejelzések bevalását is verifikáltuk különböző időjárási helyzetekben.

A kutatásban kitűzött fő célokat sikerült elérni a kutatás időtartama alatt, az eredmények közzétevése azonban hosszabb időt vesz igénybe, így a beszámoló a főbb eredményeket tartalmazza.

## 2 FELHASZNÁLT MÓDSZEREK

### 2.1 HOMOGENIZÁCIÓ

Egy több évtizedes mérési adatsorban fellelhetők különböző korból adódó hibák és adathiányok, ezen felül pedig olyan hatások, amelyek a mérés körülményeinek változását tükrözik. Az éghajlati vizsgálatoknál nem hagyhatjuk figyelmen kívül, hogy az e tényezők által okozott mérési hiba összemérhető lehet az éghajlati adatsorokban rejlő tényleges változások nagyságával ezért ezeket valamilyen módon az adatsorokból ki kell szűrünk. A feladat tehát az adatsorokból – az éghajlatváltozás tetszőleges jelének megőrzése mellett – a mérésre ható, zavaró környezeti változások korrigálása, a hibás adatok kiszűrése és a hiányok pótlása. Ez lényegében az adatsorok homogenizálása, ami egy komoly adatellenőrzést is magába foglal.

Az OMSZ-ban készült egy szigorú matematikai alapokon nyugvó homogenizáló eljárás és számítási programrendszer, a MASH (Multiple Analysis of Series for Homogenization), amelynek szerzője Szentimrey Tamás. Hosszabb időszakot átfogó éghajlati vizsgálatokat ma már csak olyan adatsorokon végzünk el, melyeket a MASH módszerrel előzetesen homogenizáltunk.

A MASH rendszert hosszú havi és napi adatsorok pótlására, ellenőrzésére és homogenizálására dolgoztuk ki (Szentimrey, 1999, 2008). Lényegében ez a többi rendszerünk alapja is, hiszen az éghajlatra vonatkozó információ szempontjából a hosszú adatsorok jelentik a térbeli és időbeli mintát. A legújabb MASHv3.03 verzió (Szentimrey, 2011) módszertani alapelvei az alábbiak.

Havi adatsorok homogenizálása, ellenőrzése, pótlása:

- A rendszer az úgynevezett relatív homogenitás vizsgálati elv alapján működik. Ennek lényege, hogy egy adott éghajlati elem, különböző megfigyelési állomásokhoz tartozó, azonos időszakra vonatkozó, ugyanazon havi – vagy ugyanazon évszakos, esetleg éves – adatsorait hasonlítjuk össze, és az esetleges ellentmondásokat keressük, vizsgáljuk. Az ezen elv alapján történő homogenizálás célja pedig, pontosan a felfedezett ellentmondások megszüntetése, vagyis az ezeket okozó inhomogenitások kiszűrése az adatsorokból.
- Havi adatsorokat homogenizálunk, és a homogenizált évszakos, éves sorokat a homogenizált havi sorokból származtatjuk.
- A rendszer alkalmas additív (pl. hőmérséklet) és kumulatív (pl. csapadék) természetű éghajlati elemek havi, évszakos, éves adatsorainak homogenizálására.
- Lépésről lépésre működtethető interaktív, fél-automatikus iterációs eljárás.
- Az adattörténeti információkat (meta adatok) a rendszer képes automatikusan használni.
- A homogenizálás eredménye kiértékelhető, verifikálható. Ez annyit jelent, hogy az eredeti adatsorok és az eredményül kapott sorok inhomogenitásának mértékét, valamint a változtatás mértékét az eljárás során kvantitatíve jellemezzük.

Napi adatsorok homogenizálása, ellenőrzése, pótlása:

- A napi adatok homogenizálása a becsült havi inhomogenitások felhasználásával történik.
- A rendszer automatikus adatellenőrző és adatpótló eljárást is tartalmaz.

## **2.2 INTERPOLÁCIÓ**

Meteorológiai, éghajlati vizsgálatokhoz nemcsak az szükséges, hogy az adatsorok minősége időben egyenletes és jó legyen, hanem az is, hogy azokra a helyekre is képesek legyünk megbízható adatokat származtatni, ahol nem végeztek meteorológiai megfigyeléseket. Mivel a felszíni meteorológiai mérések pontszerűek, ezért az állomásokon mért adatokat interpolálni kell. Az interpoláció segítségével bármely tetszőleges helyen becslést adhatunk valamely meteorológiai elem értékére, s így akár az egész országra kiterjedő térképeket is készíthetünk.

Az interpoláció során természetesen arra törekszünk, hogy az eredmény a lehető legnagyobb mértékben megközelítse a valódi állapotot. Ennek előfeltétele, hogy a számítások során figyelembe vegyünk azokat a tényezőket, melyek hatással vannak az interpolálandó meteorológiai elemre. Így elsősorban a tengerszintfeletti magasság és más domborzati jellemzők (például a különböző kitettségű lejtők) hatására kell tekintettel lenni. Ugyancsak javítja az interpoláció pontosságát, ha nem csupán a kérdéses időponthoz tartozó mérések adatait használjuk fel, hanem a térbeli eloszlás modellezéséhez figyelembe vesszük az adott térség adatsoraiban rejlő éghajlati információtartalmat is.

A fenti feltételeknek eleget tevő interpolációs módszerek száma nemzetközi szinten is csekély. Ugyanakkor, Magyarországon, az OMSZ-ban készült egy olyan matematikai statisztikai alapokon nyugvó interpolációs rendszer, a MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis, szerzői Szentimrey Tamás és Bihari Zita), amely az összes fenti tényezőt figyelembe tudja venni (Szentimrey és Bihari, 2007a, 2011a). Az eljárás homogenizált adatsorokat használ fel. A MISH segítségével nemcsak sokévi átlagokat bemutató éghajlati térképeket készíthetünk, hanem akár egy napra vonatkozó adatokat is előállíthatunk. A MISH további sajátossága, hogy az interpoláció során úgynevezett háttér-információk alkalmazására is képes, azaz olyan, az interpolálandó elemmel összefüggő adatokat is felhasználhatunk, melyek valamilyen sűrű rácshálózaton állnak rendelkezésünkre (pl. előrejelzett értékek, műholdas vagy radar mérések eredményei).

Röviden összefoglaljuk a MISHv1.02 programrendszer alapvető tulajdonságait (Szentimrey és Bihari, 2007b). A rendszer tulajdonképpen két részre bontható, nevezetesen modellező és interpolációs részre. Az interpolációs rendszer a modellező rendszer eredményei alapján működik.

Modellező programrendszer az éghajlati statisztikai paraméterekre:

- Hosszú homogenizált adatsorok és determinisztikus modellváltozók (pl. topográfia) alapján működik.
- A modellezést csak egyszer kell elvégezni az interpolációs alkalmazások előtt.

Interpolációs programrendszer:

- Additív (pl. hőmérséklet), vagy multiplikatív (pl. csapadék) modell és interpolációs formula alkalmazható, a meteorológiai elem eloszlásától függően.
- Lehetséges mind a napi, havi értékek, mind a sokévi átlagok interpolálása.
- Kevés prediktor is elegendő, tekintettel a korábbi modellezésre.
- Becslés az interpolációs hibákra, mégpedig a reprezentativitás értékekre.
- Lehetőség háttérinformáció használatára, pl. műholdas információk, radaradatok, illetve előrejelzések.
- A programrendszer képes adatsorok rácspontra való interpolációjára (gridding).

### 2.2.1 A MODELLEZÉS SORÁN FELHASZNÁLT SEGÉDVÁLTOZÓK

A MISH első, modellező részében statisztikai módszerekkel előállítjuk azokat a modellváltozókat, melyeket a későbbi interpoláció során modellváltozókként használunk. Ebben a szakaszban olyan paramétereket keresünk, melyekről tudjuk, hogy az elemzett meteorológiai változóra hatással vannak, de determinisztikusak, azaz állandó értéknek tekinthetők. Determinisztikus változóként általában az ún. AURELHY paramétereket (Benichou et al, 1987) használjuk, melyek egy rácspontra és környezetének tengerszint feletti magasságából származtatott paraméterek. A módszerben egy digitális domborzati térkép minden egyes rácspontra meg kell határozni a pont és az öt körülvevő bizonyos számú (az általunk kidolgozott változatban összesen 1616) szomszédos pont magasságkülönbségét. Ezáltal az eredeti egy magasságadat mellett a pontot a környezetére, relatív helyzetére utaló adatok is jellemzik. Ez az adatmennyiség azonban feleslegesen sok egy pont leírására, ezért az információk kondenzálására a főkomponensanalízist használjuk.

A főkomponensanalízis segítségével az eredeti változókat korrelációjuk alapján kevesebb számú főkomponensváltozóvá vonjuk össze. Így nemcsak csökkentjük a változók számát, hanem az új változók bevezetésével, az ismeretek másfajta csoportosításával információnövekedéshez is jutunk. Vizsgálatainkban az egy adott pont környezetét jellemző változók számát az eredeti 1616-ról 15-re csökkentettük. Az így kapott főkomponensek a felszín varianciájának 90 %-át magyarázzák, így a pontosság megfelelő mértékű marad. Az információnövekedést tükrözi, hogy az eljárás során kapott első öt sajátvektorok jól magyarázható geometriai jelentése is van, a pontot övező területet jellemzik (hegy-völgy, lejtő, nyereghelyzet). A további sajátvektorok a finomabb térbeli szerkezetre utalnak.

Speciális esetekben más modellváltozót is használunk. Így pl. szél esetén figyelembe vesszük az érdességet és a szélmérő magasságát is, és ilyen lehet egy más meteorológiai paraméter sokévi átlaga is.

A napfénytartam, illetve globálsugárzás modellezésénél, ami a jelen kutatás célja, ez utóbbi eljárást alkalmaztuk. Nevezetesen a műholdas felhőfedettség sokévi átlagát használtuk segédváltozóként. Ennek előnye, hogy eleve rácspontra értékekből áll, hátránya viszont, hogy a megfigyelési időszak még nem túl hosszú.

A jelen kutatás során végzett modellfejlesztés jelentős mértékben hozzájárult a JRC (Joint Research Center) által kiírt tender megvalósításához, melynek keretében elkészült a Kárpát-régió területére egy 10 km-es felbontású napi interpolált adatbázis az 1961-2010 időszakra, 16 meteorológiai paraméterre, köztük a globálsugárzásra és a napfénytartamra. A megvalósítás a MASH és MISH eljárások felhasználásával történt (Szentimrey, T. et al., 2012; Lakatos et al., 2013a, 2013b).

## 2.2.2 AZ INTERPOLÁCIÓ SORÁN FELHASZNÁLT HÁTTÉRVÁLTOZÓK

A MISH interpolációs részében lehetőség van arra, hogy a pontszerű mérések mellett, ugyanarra a meteorológiai paraméterre vonatkozó, valamilyen rácshálózatra adott háttérváltozó értékeket is felhasználjunk. Ilyenek lehetnek pl. a műholdas és radarmérések, illetve az előrejelzések. A háttérinformációk használata lehetővé teszi az interpolációs hibák eseteleges csökkentését. Minél erősebb a háttérváltozó és az elsődleges felszíni input adatok közötti statisztikai kapcsolat, a módszer annál jobban támaszkodik a háttérváltozók értékeire.

Vizsgálatainkban a globálsugárzás interpolálásához használtuk fel háttérváltozóként az Európai Középtávú Előrejelző Központ (ECMWF) numerikus előrejelző modelljét. Az OMSZ a középtávú előrejelzéseit főként az ECMWF által előállított modell-előrejelzésekre alapozva készíti. A 15 napos középtávú előrejelzések 2006 novemberétől 00 és 12 UTC-kor kerülnek futtatásra. Az ECMWF 2003 márciusa óta naponta kétszer – 00 és 12 UTC-kor futtatja a 10 napos érvényességű, 6 órás felbontású 51 tagból álló ensemble előrejelzést, amely alapján valószínűségi prognózis készíthető. 2000 júliusa óta a determinisztikus és ensemble előrejelzés a globálsugárzásra valamint a napfénytartamra vonatkozó előrejelzést is tartalmaz (Ihász, 2004). A kutatásban az 1-10 napos determinisztikus előrejelzési produktumokat vizsgáltuk, a valószínűségi előrejelzések háttérinformációként történő felhasználását is érdemes megvizsgálni, ez is a további terveink között szerepel.

## 2.2.3 A MISH SPECIÁLIS OUTPUTJAI

### 2.2.3.1 Varianciaanalízis, ANOVA (Analysis Of Variance)

A térbeli trend modellezésének hatékonysága és a benchmark eredmények nem csupán a módszertől és a mintavételtől függenek, hanem a változók valószínűségi eloszlásától is. Ezért célszerű varianciaanalízist (ANOVA) végezni az adott változó jellemzésére. Az alkalmazott matematikai apparátus a következő:

Jelölések:

$X(\mathbf{s}_j, t)$  ( $j = 1, \dots, N; t = 1, \dots, n$ ) – havi adatsorok ( $\mathbf{s}_j$  : hely;  $t$  : idő)

$E(\mathbf{s}_j) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n X(\mathbf{s}_j, t)$  ( $j = 1, \dots, N$ ) – az  $\mathbf{s}_j$  állomáshoz tartozó átlag

$D^2(\mathbf{s}_j) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X(\mathbf{s}_j, t) - E(\mathbf{s}_j))^2$  ( $j = 1, \dots, N$ ) – az  $\mathbf{s}_j$  állomáshoz tartozó variancia

$E = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N E(\mathbf{s}_j)$  – teljes átlag

Teljes variancia:

Az egyszerű csoportosítás módszere alapján, az átlagos teljes térbeli és időbeli variancia az alábbi formában írható fel:

$$\frac{1}{N \cdot n} \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^n (X(\mathbf{s}_j, t) - E)^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (E(\mathbf{s}_j) - E)^2 + \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N D^2(\mathbf{s}_j) = S_{space}^2 + D_{time}^2,$$

ahol  $S_{space}^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (E(\mathbf{s}_j) - E)^2$  a térbeli trend variációjának becslése, míg  $D_{time}^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N D^2(\mathbf{s}_j)$  az időbeli variációk átlaga.

### 2.2.3.2 A determinisztikus paraméterek statisztikai elemzése

A MISH modellező részének egyik outputja (ábra) arról ad információt, hogy a felhasznált modellváltozók milyen kapcsolatban állnak a vizsgált meteorológiai paraméter térbeli trendjével. A modellezés folyamán elsőként mindig a tengerszint feletti magasságtól való függést vizsgálja a módszer, majd ezek után egyesével növelve a figyelembe vett modellváltozók számát, mindegyikből kiválasztja a legjobb kombinációt. Ezekre a legjobb kombinációkra kiszámolja a meteorológiai változó és a kiválasztott modellváltozók közötti többszörös korrelációt, illetve azt, hogy mekkora az aránya az általuk meghatározott résznek, valamint a lineáris regressziós egyenlet együtthatóit. Végül ezek közül hipotézisvizsgálat segítségével kiválasztja azt az optimális kombinációt, aminek felhasználásával elvégzi a modellezést.

### 2.2.3.3 A modellezési eredmények tesztelése (benchmark study)

Amennyiben jól, hatékonyan használható interpolációs paraméterekhez kívánunk jutni, akkor először meg kell vizsgálnunk az optimális interpolációs paramétereket, melyek ismert függvényei az éghajlati statisztikai paramétereknek.

Az optimális minimális hiba az optimális interpolációs paraméterekkel nyerhető. Belátható, hogy az optimális interpolációs paraméterek és az optimális reprezentativitás csupán a korrelációszerkezettől, valamint a lokális éghajlati statisztikai paraméterek térbeli változásától függenek.

Az optimális paramétereket nem ismerjük, ezeket modellezzük a hosszú éghajlati adatsorok és a determinisztikus modellváltozók alapján. A modellezés eredményességét számszerűsíti a reprezentativitás értéke. Az optimális reprezentativitás azt mutatja meg, hogy az adott állomáshálózat pontonkénti mérési értékei alapján milyen következtetéseket vonhatunk le az adott terület tetszőleges helyére vonatkozóan. A modellezett paraméterek alapján számolt reprezentativitás pedig azt mutatja meg, hogy mennyire közelíti meg az optimális helyzetet a konkrét modellezés.

A modellezési eredmények együttes kiértékelése, tesztelése, az állomások adatsorainak egymás közötti interpolációjával, és az így kapott  $REP(\mathbf{S}_j)$  ( $j = 1, \dots, N$ ) reprezentativitás-értékek vizsgálata alapján lehetséges. A reprezentativitás-érték egy igen szemléletes statisztikai mérőszám, az „egy” és a relatív hiba különbsége. A MISH modellező részének egyik outputja e reprezentativitás értékek bemutatása a felhasznált állomásokra.

### 2.2.3.4 Háttérinformációk vizsgálata

A modellező rész outputjaihoz hasonlóan automatikusan készülnek különböző statisztikák, melyekből leolvasható a háttérváltozó és az elsődleges felszíni input adatok közötti korreláció, valamint a lineáris regressziós egyenlet konstans tagja és együtthatója.

A vizsgált meteorológiai változónak ( $Z$ ) a háttérváltozóra ( $G$ ) vonatkozó lineáris regressziós formulája,

$$\hat{Z}(\mathbf{s}) = E(\mathbf{s}) + \gamma_0 + \gamma_1 \cdot (G(\mathbf{s}) - E(\mathbf{s})) \quad (\mathbf{s} \in D)$$

ahol  $\mathbf{s}$  helyvektor, és  $E(\mathbf{s})$  pedig a modellezett térbeli trend. A regressziós paraméterek a megfigyelések alapján becsülhetők.

## 2.3 A NAPFÉNYTARTAM ÉS A GLOBÁLSUGÁRZÁS KÖZÖTTI ÁTSZÁMÍTÁS

A globálsugárzás modellezéséhez szükségünk volt hosszú adatsorokra. Ugyanakkor térben reprezentatív mérések csak a 90-es évek közepétől állnak rendelkezésünkre. A két változó közötti nyilvánvaló kapcsolat számszerűsítésére a szakirodalomban számos példát lehet találni. Mi a CARPATCLIM projektben használt eljárást alkalmaztuk (Zita Bihari et al., 2013). Az eljárás a napfénytartamon kívül csillagászati adatokat vesz figyelembe az alábbiak szerint:

$$R_s = \left( 0,25 + 0,50 \frac{n}{N} \right) R_a$$

$R_s$  – globálsugárzás

$n$  – napfénytartam

$N$  – a csillagászatilag lehetséges maximális napfénytartam az adott napon

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s$$

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi)\tan(\delta)]$$

$\varphi$  – földrajzi szélesség [rad],

$$\delta - \text{napmagasság, } \delta = 0,409 \sin\left(\frac{2\pi}{365}J - 1,39\right)$$

$J$  – az adott nap sorszáma jan. 1-től.

$R_a$  [MJ m<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>] – globálsugárzás a légkör felső szintjénél

$$R_a = \frac{1440}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi)\sin(\delta) + \cos(\varphi)\cos(\delta)\sin(\omega_s)]$$

$G_{sc}$  – napállandó,  $G_{sc} = 0,0820$  [MJ m<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>]

$$d_r - \text{relatív naptávolság, } d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365}J\right)$$

## 2.4 A GLOBÁLSUGÁRZÁS ULTRARÖVID TÁVÚ ELŐREJELZÉSÉNEK VERIFIKÁCIÓJA SORÁN FELHASZNÁLT MÓDSZEREK

A globálsugárzás előrejelzése az AROME ultrarövid távú numerikus előrejelző modellben is megvalósul. Ezen előrejelzések verifikációját is elvégeztük a kutatás keretében. A verifikációhoz az AROME LAM modell futtatásának eredményeit, illetve az OMSZ globálsugárzás mérőhálózatának 21 kiválasztott állomásának mért értékeit használtuk fel. A verifikációt elvégeztük napi összegekre és fél napi (délelőtti és délutáni) összegekre is.

Mivel a numerikus modell operatív futtatásakor az előrejelzett globálsugárzás értékek nem kerülnek archiválásra, a vizsgálathoz a modellt újra kellett futtatni. Ez igen nagy gépidő, így csak korlátozott időtartamra (három hónap) tudtuk egyelőre a verifikációt elvégezni.

A verifikációhoz minden napra az AROME modell 12 UTC-s futtatásait használtuk, a fél napi összegek előállításához a 11 UTC-nek megfelelő értéknél szeltük ketté a napot.

Egy adott állomásra vonatkozó előrejelzett értéket úgy képeztük, hogy vettük azt a cellát, amelybe az adott állomás esik, és a körülötte lévő szomszédos 4 rácspontra érvényes előrejelzett értékek átlagát képeztük. A mért értéket referenciának tekintve az előrejelzés relatív hibája a következőképpen áll elő:

$$R = \frac{X - X_m}{X_m} 100$$

R: relatív hiba

X: modell által előrejelzett érték ( $J/cm^2$ )

$X_m$ : mért érték ( $J/cm^2$ ).

Később elvégeztük ugyanezt a vizsgálatot napi összegekre oly módon, hogy az állomásra vett előrejelzést a szomszédos 4 helyett 8 rácspont átlaga alapján képeztük. Végezetül megvizsgáltuk a modellt teljesen derült és borult esetekre. A döntéshez a birtokunkban lévő 30 éves mérési adatsor alapján a globálsugárzás értékeket lenormáltuk, kiszűrtük az éves menetet. A normáló adatsor pentádonként órás bontásban az időszak (1967-1997) alatt előforduló maximális értékeket tartalmazza. Borultnak a 0,25 alatti, derültnek a 0,85 feletti értékeket vettük.

### 3 A KUTATÁS SORÁN FELHASZNÁLT ADATOK

A kutatási időszak alatt az interpoláció modellező részéhez szükséges havi napfény és borultság adatok összegyűjtése az adatbázisból, évkönyvekből és az archívumból megtörtént, ez jelentős időráfordítást igényelt. Az 1961-70-es időszakból a napfénytartam mérések túlnyomó része nem volt digitalizálva, ezért ezeket is rögzítettük az adatbázisban, ez szintén időigényes folyamat volt. Összesen 21 állomás napi adatait dolgoztuk fel.

Ezzel a potenciálisan rendelkezésre álló felszíni adatokat összegyűjtöttük.

Globálsugárzás mérések az automata mérőállomások megjelenésével kezdtek kiváltani a napfénytartam méréseket. A OMSZ jelenleg mintegy 40 állomáson mér globálsugárzást, és 2013 januárjától gyakorlatilag megszűnt a napfénytartam mérés. Ugyanakkor a globálsugárzás modellezéséhez szükségünk volt hosszú adatsorokra, melyeket jobb híján a napfénytartamból állítottunk elő a 2.3 fejezetben bemutatottak szerint.

Az adatrögzítés, adatgyűjtés után az adatokat elő kellett készíteni a további vizsgálatokhoz, ami adatellenőrzést és homogenizálást jelent. A havi és napi napfénytartam adatsorok homogenizálása a MASH rendszerrel az 1961-2010-ig terjedő időszakra megtörtént. A globálsugárzás átszámítása pedig már a homogenizált napfényadatokból történt.

A globálsugárzás – napfénytartam átszámítás teszteléséhez a Budapest-Pestszentlőrinc 1981 és 2004 közötti napi globálsugárzás- és napfénytartam adatait használtuk fel.

A távérzékelési adatokat is összegyűjtöttük a EUMETSAT Éghajlati-megfigyelés Munkacsoport (CM-SAF) CLAAS adatbázisából. Vizsgálatainkhoz a havi felhőfedettséget (CFC - Cloud Fractional Coverage) töltöttük le a 2004-2011-es időszakra vonatkozóan. A műholdfelvételek Második Generációs METEOSAT (MSG - METEOSAT Second Generation) műhoddal, annak SEVIRI szenzorával készültek. Felbontásuk  $0,05^{\circ} \times 0,05^{\circ}$  fok.

Háttérváltozóként numerikus időjárás előrejelzési produktumokat is alkalmaztunk. Az ECMWF determinisztikus modell futtatásából az  $0,05^{\circ}$  felbontású, 24 órás globálsugárzás összeg előrejelzéseket használtuk fel a napi globálsugárzás interpolálásához. Beszámolóinkban a 2013.06.13-án készült 1-10 napos előrejelzéseket elemezzük.

Az ultrarövid távú előrejelző AROME modell eredmények verifikálásához három hónapot: 2013. április, június és az augusztus hónapokat választottuk. Annak oka, hogy nem egymás utáni három hónapot választottunk ki, az volt, hogy egyrészt elegendő számú teljesen derült nap álljon rendelkezésre, valamint az időszak kiválasztásakor szem előtt tartottuk azt is, hogy legyen időjárási szempontból változékonyabb, illetve stabilabb időszak.



## 4 EREDMÉNYEK

### 4.1 HOMOGENIZÁLÁSI STATISZTIKÁK

A napi és havi napfénytartam adatsorok ellenőrzése, homogenizálása a MASH rendszerrel az 1961-2010-ig terjedő időszakra megtörtént.

A homogenizálás során automatikusan generált statisztikák közül mutatunk be néhányat a 4.1-1, 4.1-2. táblázatokban. A bemutatott statisztikák az éves összegek adatsoraira vonatkoznak, és ezek teszik lehetővé, hogy az eredeti adatsorok és az eredményül kapott homogenizált sorok inhomogenitásának mértékét, valamint a sorok változtatásának mértékét kvantitatíve jellemezzük. A 4.1-1. táblázatban szereplő TSA és TSB próbastatisztikák a homogenizálás előtti és utáni inhomogenitást jellemzik, míg a 4.1-2 táblázatban lévő RI2 statisztikák a relatív változtatás mértékét. A TSA, TSB próbastatisztikák a 0,05 szignifikancia-szintű 20,86 kritikus értékhez viszonyíthatók, és látható, hogy az eredeti adatsorok TSB próbastatisztikái ezt jelentősen meghaladták, míg a homogenizálás utáni TSA próbastatisztikák jelentősen lecsökkentek. A relatív változtatást jellemző RI2 statisztikák lényegében RMSE/szórás arányok.

```

Statistics after and before homogenization
I. TEST STATISTICS FOR SERIES INHOMOGENEITY
Null hypothesis: the examined series are homogeneous.
Critical value (significance level 0.05): 20.86
Test statistics (TS) can be compared to the critical value.
The larger TS values are more suspicious!

1. Test Statistics After Homogenization
Series Index TSA Series Index TSA Series Index TSA
66519 30 43.08 44527 15 30.08 48101 18 28.84
23201 6 27.32 14706 2 26.19 46303 16 25.13
53101 21 23.33 16203 4 22.36 36100 10 22.26
61709 27 20.18 15307 3 20.16 44214 14 19.95
47106 17 19.14 55706 24 18.87 58113 26 18.24
26505 9 18.16 13703 1 17.89 17809 5 17.63
55502 23 16.44 44121 13 16.32 51705 19 15.49
52819 20 14.66 25212 8 14.35 36500 11 13.89
63411 28 12.54 56300 25 12.38 53521 22 11.91
23703 7 11.73 64704 29 9.86 39113 12 9.8
AVERAGE: 19.94

2. Test Statistics Before Homogenization
Series Index TSB Series Index TSB Series Index TSB
44527 15 612.06 61709 27 491.34 13703 1 463.93
58113 26 442.5 47106 17 329.94 17809 5 316.62
46303 16 306.33 53101 21 269.39 39113 12 183.76
66519 30 174.57 63411 28 166.75 44214 14 161.37
23201 6 159.21 52819 20 140.13 26505 9 131.65
55706 24 129.23 64704 29 129.04 44121 13 125.03
55502 23 118.16 56300 25 107.37 36500 11 106.39
23703 7 103.42 48101 18 92.1 14706 2 87.78
15307 3 82.32 16203 4 76.13 51705 19 44.35
25212 8 41.06 36100 10 37.24 53521 22 26.28
AVERAGE: 192.88
    
```

4.1-1. táblázat – Próbastatisztikák a homogenizálás előtt és után

```

II. Relative Modification of Series
Series Index RI2 Series Index RI2 Series Index RI2
61709 27 1.69 53101 21 1.16 47106 17 1.01
55502 23 0.84 26505 9 0.84 66519 30 0.76
63411 28 0.72 39113 12 0.60 13703 1 0.57
52819 20 0.56 58113 26 0.53 44527 15 0.52
64704 29 0.49 44121 13 0.44 15307 3 0.41
46303 16 0.39 44214 14 0.39 14706 2 0.32
23703 7 0.31 56300 25 0.29 23201 6 0.28
48101 18 0.26 17809 5 0.25 51705 19 0.24
55706 24 0.22 25212 8 0.22 53521 22 0.20
36100 10 0.14 16203 4 0.13 36500 11 0.12
    
```

AVERAGE: 0.48

4.1-2. táblázat – Az adatsorok relatív változása

A 4.1-3. táblázatban a napi adatsorokra futtatott, MASH rendszerbe épített automatikus adatellenőrzési eljárás összesítő eredményei láthatók.

|                               |        |
|-------------------------------|--------|
| Quality Control results       |        |
| Number of days with error(s): | 5072   |
| Total number of errors:       | 7237   |
| Maximal positive error:       | 35.1   |
| Minimal negative error:       | -10.30 |

4.1-3. táblázat – Az adatellenőrzés eredményei

## 4.2 A GLOBÁLSUGÁRZÁS ÉS A NAPFÉNYTARTAM KÖZÖTTI ÁTSZÁMÍTÁSI STATISZTIKÁK

A vizsgálat során Budapest-Pestszentlőrinc 1981 és 2004 közötti napi globálsugárzás- és napfénytartam adatait használtuk fel.

A napfénytartamból számolt globálsugárzás adatok szoros egyezést mutatnak a mért globálsugárzás adatokkal. A teljes időszakra számolt korreláció a napi adatok szintjén is 0,98 feletti, nyáron és télen valamivel kisebb, mint az átmeneti évszakokban. A számolt adatok a vizsgált 24 év alatt átlagosan  $0,52 \text{ MJm}^{-2}\text{nap}^{-1}$  mértékben voltak magasabbak a mért adatoknál, a különbségek abszolút értékének átlaga  $1,24 \text{ MJm}^{-2}\text{nap}^{-1}$  volt. Az abszolút eltérések télen voltak a legalacsonyabbak, tavasszal és nyáron a legmagasabbak (4.2-1. táblázat).

| (a)            | korreláció | különbség | kül abs | (b)            | korreláció | különbség | kül abs |
|----------------|------------|-----------|---------|----------------|------------|-----------|---------|
| teljes időszak | 0,98       | -0,52     | 1,24    | teljes időszak | 0,96       | 0,16      | 0,88    |
| tavasz         | 0,96       | -0,72     | 1,57    | tavasz         | 0,95       | 0,20      | 1,06    |
| nyár           | 0,95       | -0,72     | 1,54    | nyár           | 0,95       | 0,35      | 1,14    |
| ősz            | 0,97       | -0,17     | 1,96    | ősz            | 0,95       | -0,25     | 0,84    |
| tél            | 0,94       | -0,46     | 0,87    | tél            | 0,93       | 0,01      | 0,77    |

4.2-1. táblázat - számolt és mért napi globálsugárzás (a), illetve napfénytartam (b) adatok

Az eljárást visszafelé alkalmazva a globálsugárzásból számolt napfénytartam-adatok szintén jó egyezést mutatnak a mért adatokkal már napi szinten is. A teljes időszakra számolt korreláció 0,96 feletti, ez esetben is az átmeneti évszakokban szorosabb a kapcsolat. A módszerrel számolt értékek általában kissé alacsonyabbak a mért napfénytartamnál, a teljes időszakban 0,16 óra volt a különbség, kivételt az őszi időszak jelentett, amikor is általában inkább magasabb értékeket adott a számítás. A különbségek abszolút értéke 1 óra körül van, a pontatlanság nyáron volt a legnagyobb, télen a legkisebb (4.2-1. táblázat).

A havi adatokat elemezve még szorosabb összefüggés látható (4.2-2. táblázat).

| (a)            | korreláció | különbség | kül abs | (b)            | korreláció | különbség | kül abs |
|----------------|------------|-----------|---------|----------------|------------|-----------|---------|
| teljes időszak | 0,99       | -15,66    | 20,27   | teljes időszak | 0,98       | 4,75      | 13,62   |
| tavasz         | 0,99       | -22,05    | 26,56   | tavasz         | 0,96       | 8,49      | 14,68   |
| nyár           | 0,93       | -21,99    | 28,10   | nyár           | 0,89       | 12,92     | 18,99   |
| ősz            | 0,99       | -4,95     | 10,63   | ősz            | 0,98       | -5,10     | 10,96   |
| tél            | 0,97       | -13,66    | 15,82   | tél            | 0,92       | 2,71      | 9,86    |

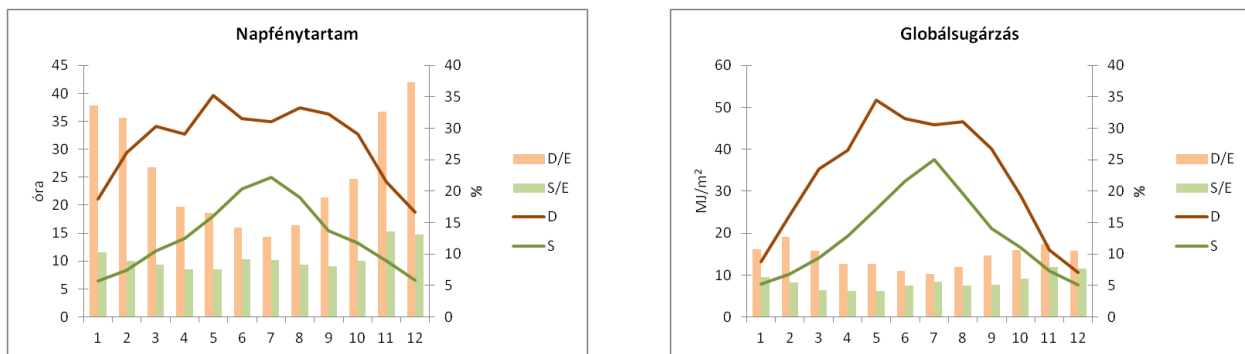
4.2-2. táblázat - Számolt és mért havi globálsugárzás (a), illetve napfénytartam (b) adatok

### 4.3 A NAPFÉNYTARTAM ÉS GLOBÁLSUGÁRZÁS MODELLEZÉSE A MISH INTERPOLÁCIÓS RENDSZERBEN

Vizsgálataink során a napfénytartamra és a globálsugárzásra egyaránt elvégeztük az interpolációhoz szükséges modellezést, kétféleképpen: a műholdas CFC értékeket felhasználva és anélkül. A modellezési folyamat során előállt statisztikai elemzések összegzését az alábbiakban mutatjuk be.

#### 4.3.1 A VARIANCIAANALÍZIS EREDMÉNYEI

A 4.3.1. ábrán a napfény és globálsugárzás varianciaanalízisének eredményeit mutatjuk be. Ahogy a 2.2.3.1 részben már leírtuk,  $S_{space}^2$  a térbeli trend varianciája, míg  $D_{time}^2$  az időbeli varianciák átlaga, a prediktorként felhasznált állomások adataiból számolva. Érdeemes megfigyelni, hogy mindkét meteorológiai elem esetén  $S$  és  $D$  évi menete hasonló jellegű, a téli hónapokban alacsonyabb értékek jellemzik,  $S$  júliusban a legmagasabb, míg  $D$ -nek májusban van maximuma, valamint az időbeli változékonyság sokkal jelentősebb, mint a térbeli. Ugyanakkor a két mérőszám aránya az átlagos várható értékhez ( $E$ ) képest különbözik, a napfénytartamnál sokkal nagyobb, mint a globálsugárzás esetében, a téli hónapokban meghaladja a 30%-ot.

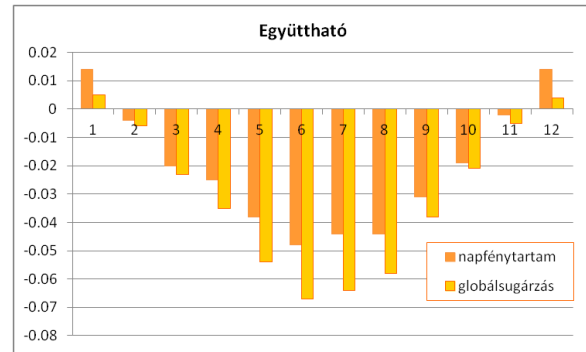
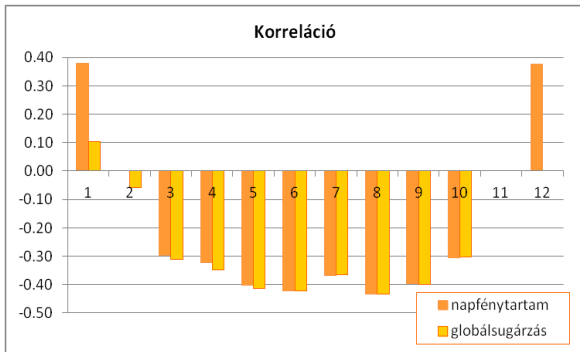


4.3.1. ábra A napfénytartam és a globálsugárzás térbeli trendjének és időbeli változékonyságának összehasonlítása ( $E$  – várható érték,  $D$  – időbeli változékonyság,  $S$  – térbeli változékonyság)

#### 4.3.2 A TENGERSZINT FELETTI MAGASSÁG HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA

A meteorológiai gyakorlatban sokszor lehet hallani, hogy a napfénytartam, illetve a globálsugárzás mennyisége nem függ a tengerszint feletti magasságtól. Ennek cáfolataként mutatunk be néhány modellezési eredményt. A 4.3.2. ábrán a két elem térbeli trendje és a magasság korrelációját mutatjuk be. Érdekes, hogy az évi menet majdnem teljes egészében megegyezik a két paraméterre, a nyári hónapokban magasabb, télen alacsonyabb értékekkel, de januárban és decemberben a globálsugárzás korrelációja – a szomszédos hónapokkal megegyezően – gyakorlatilag 0, míg a napfénytartamé a nyári hónapokéval megegyező.

Ugyanez nem mondható el a lineáris regressziós együtthatóról (4.3.2. ábra). Ebben az esetben a napfénytartamra, illetve a globálsugárzásra vonatkozó együtthatók nagyon hasonlóak, a két szélső hónapban pozitív értékkel. Az is igaz ugyan, hogy az értékek nagyon kicsik, 100 méterenként csak -1 és 7 órát, illetve MJ/m<sup>2</sup>-t változnak.



4.3.2. ábra A tengerszint feletti magasság figyelembevételével kapott statisztikák

### 4.3.3 A MODELLVÁLTOZÓK HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA A MŰHOLDAS FELHŐBORÍTOTSÁG FIGYELEMBE VÉTELÉVEL ÉS ANÉLKÜL

Az előző részben azt elemeztük, hogy milyen statisztikai kapcsolat van a tengerszint feletti magasság és a napfénytartam, illetve globálsugárzás térbeli trendje között. Az alábbiakban azt mutatjuk be, hogy milyen mértékben növelhető a kapcsolat erőssége, ha a magasság mellett a 2.2.1 részben bemutatott egyéb modellváltozókat is figyelembe vesszük, különös tekintettel a műholdas felhőborítottsági paraméterre (CFC). A modellezés során előállt eredmények tanulsága szerint a 16+1 (magasság, topográfia, CFC) modellváltozó között egy sem volt olyan, ami minden hónapban megjelent volna az optimális kombináció elemei között, de olyan sem volt, amit egyszer sem használt fel a módszer. Érdekes módon a legtöbbször figyelembe vett változók a 14-15-ös számúak voltak, melyekre már nem tudunk geometriai magyarázatot adni. Példaképpen a június modellezési eredmények összegzését mutatjuk be a MISH automatikusan előálló eredményeiből (*Hiba! A hivatkozási forrás nem található., Hiba! A hivatkozási forrás nem található.*). Az ábrán látható, hogy a két meteorológiai paraméter esetében eltérő számú és egymástól különböző modellváltozók kerültek bele az optimális kombinációba.

```

MODELLING OF DETERMINISTIC PART (linear regression)

FINAL RESULT:

number of model variables: 5      correlation: 0.697      percentage: 28.3%
model variables and coefficients:
   h      8      10      12      15
-0.0959  2.8884  -2.9556  2.9803  -7.0783

(percentage=(1-RMSE/(Standard Deviation))*100%)

```

4.3-1. táblázat A modellváltozók optimális kombinációja, június, napfénytartam

```

MODELLING OF DETERMINISTIC PART (linear regression)

FINAL RESULT:

number of model variables: 6      correlation: 0.718      percentage: 30.4%
model variables and coefficients:
   h      2      4      13      14      15
-0.1182  1.1560  2.2154  -4.3475  4.7474  -7.2200

(percentage=(1-RMSE/(Standard Deviation))*100%)

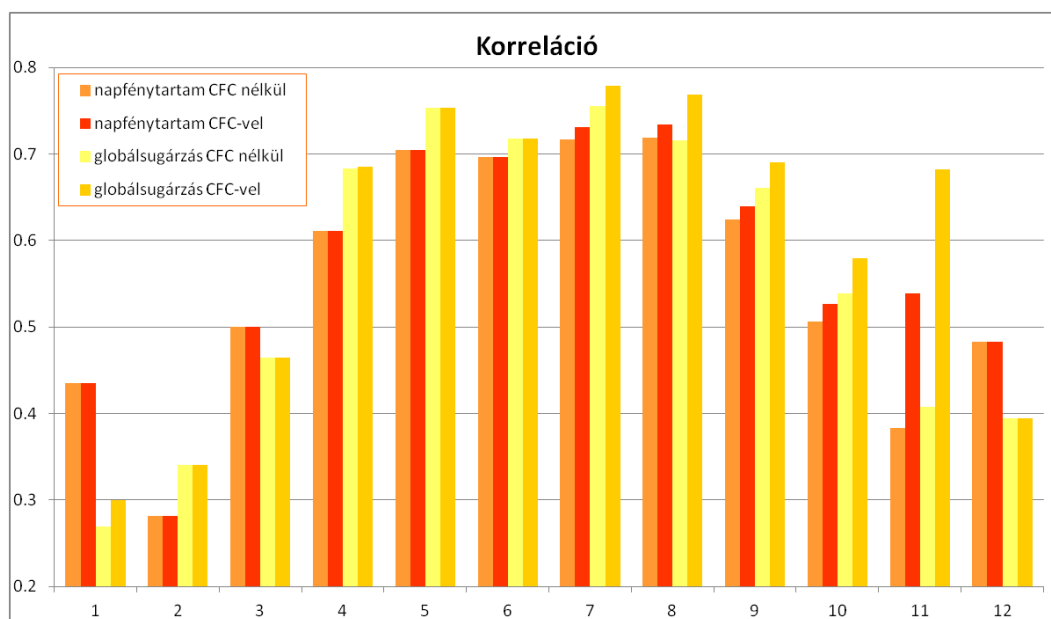
```

4.3-2. táblázat A modellváltozók optimális kombinációja, június, globálsugárzás

A CFC sem lett kiválasztva minden hónapban (például júniusban sem), és azokban a hónapokban sem okozott nagy változást, melyben bekerült a leginkább hatást gyakorló modellváltozók közé (4.3.3. ábra). Ez alól csak november kivétel, amikor mind a napfénytartam, mind a globálsugárzás esetén jelentősen megnőtt a korreláció a CFC alkalmazásával.

Mi lehet ennek az oka? Előzetesen azt vártuk, hogy a felhőzet figyelembe vétele jelentősen javítja majd a modellezés pontosságát. Ezért is próbáltuk elsőként a felszíni felhőzet megfigyeléseket alkalmazni. Ebben az esetben viszont egyrészt azt tapasztaltuk, hogy a borultság meghatározása annyira szubjektív, hogy az adatsorok inhomogenitását nem lehet megszüntetni. Másrészt a felhőzet adatok ugyanúgy csak állomási értékek voltak, mint a napfénytartam, és ezeket is modellezni kellett először. Annak ellenére, hogy a borultsági értékek nagyjából kétszer annyi állomáson álltak rendelkezésünkre, mint a napfénytartam mérések, a modellezés-eredmények statisztikái nem lettek jobbak.

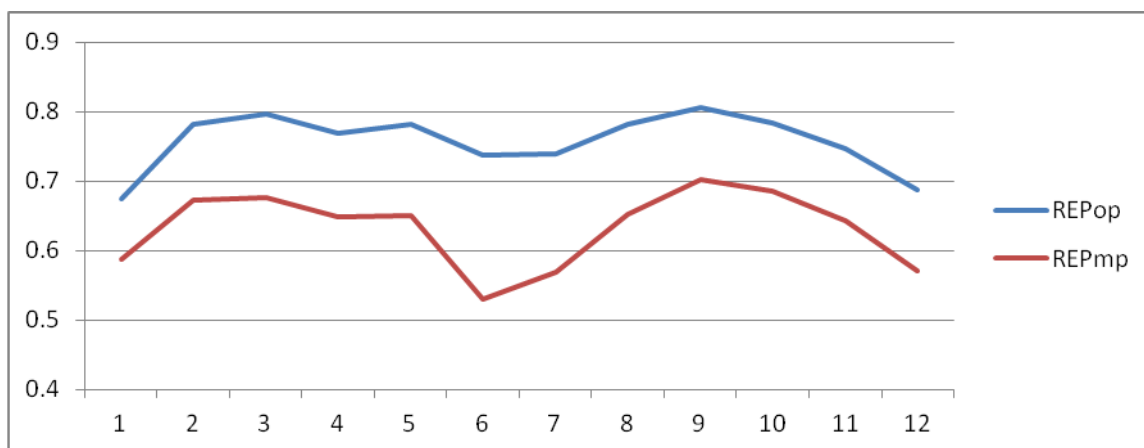
Ezek után fordultunk a műholdas adatok felé. Úgy tűnik azonban, hogy a rendelkezésünkre álló 8 éves adatsor még nem elegendő hosszúságú ahhoz, hogy modellváltozóként felhasználva jelentős javulást eredményezzen.



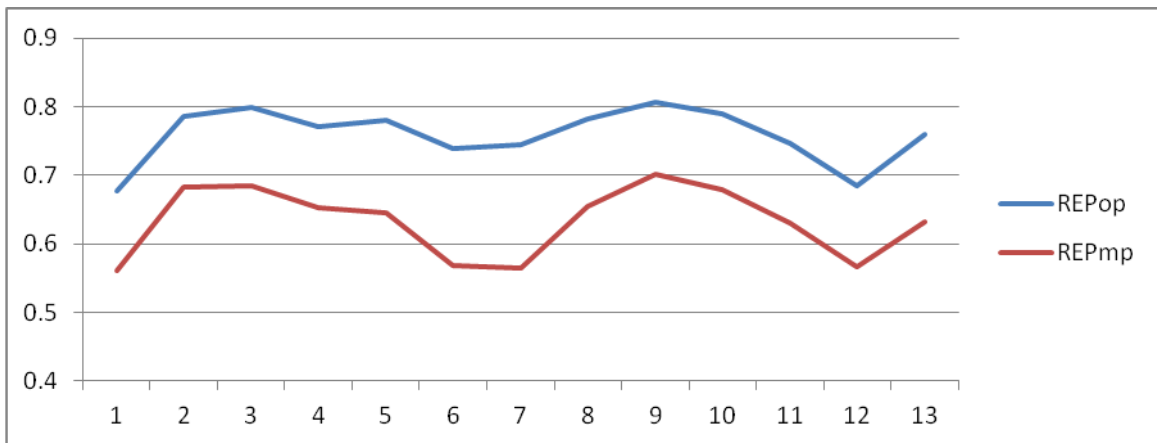
4.3.3. ábra Többszörös korreláció a modellváltozók és a napfénytartam, illetve a globálsugárzás térbeli trendje között

#### 4.3.4 REPRESENTATIVITÁS VIZSGÁLAT

Az alábbiakban a napfénytartam és a globálsugárzás reprezentativitás értékeit mutatjuk be. **A Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** és 4.3.4. ábra alapján elmondhatjuk, hogy a két meteorológiai paraméter reprezentativitása hasonlóan viselkedik. Az optimális reprezentativitás értékek 0,7 és 0,8 között változnak (az éves átlag 0,75 körül van), míg a modellezett paraméterekkel számolt reprezentativitás értékek nagyjából 0,1-del alacsonyabbak, a legnagyobb különbségek a június-júliusban figyelhetők meg.



4.3.4. ábra Havi közepes reprezentativitás értékek, napfénytartam, 30 állomás

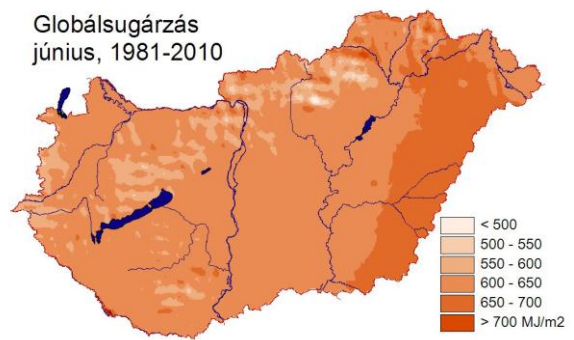
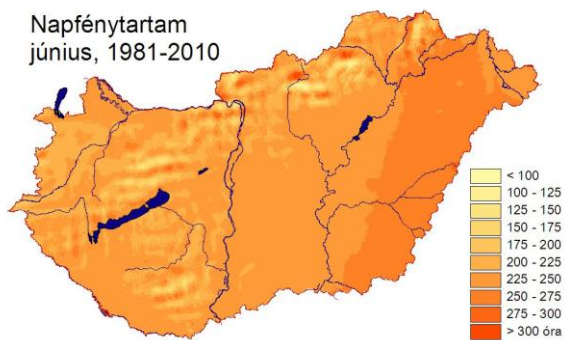
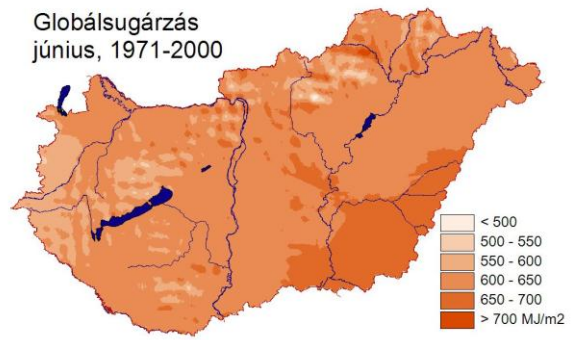
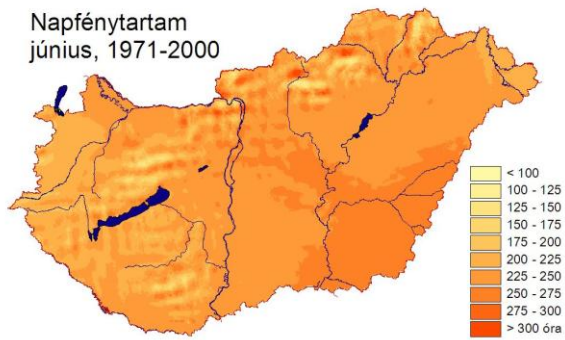
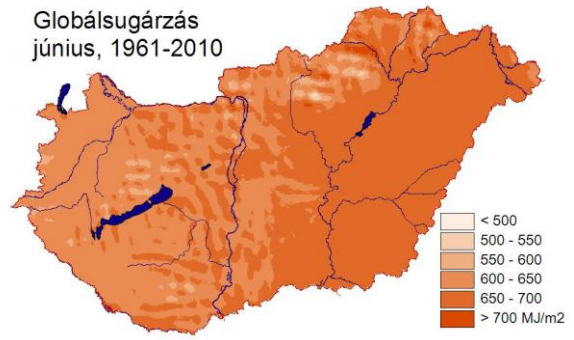
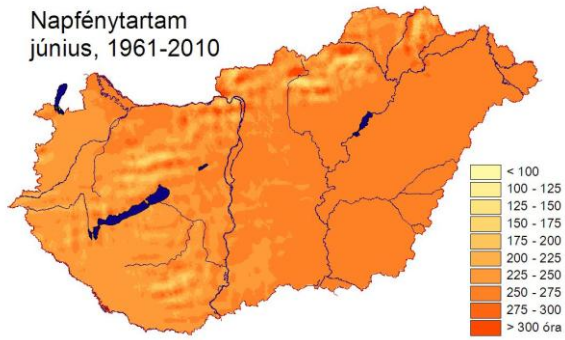


4.3.5. ábra Havi közepes reprezentativitás értékek, globálsugárzás, 30 állomás

#### 4.4 A NAPFÉNYTARTAM ÉS GLOBÁLSUGÁRZÁS SOKÉVI ÁTLAGA

A modellezési eljárás során állnak elő azok a statisztikai paraméter fájlok, melyeket a későbbi interpolációs eljárásoknál használunk a szükséges interpolációs paraméterek számításához, mint pl. súlytényezők meghatározása. Ezek alapján természetesen az adott meteorológiai változó sokévi átlaga is könnyen interpolálható, az előre meghatározott nagyfelbontású rácshálózat pontjaira.

A 4.4.1. ábra a napfénytartam, illetve globálsugárzás sokévi átlagait ábrázolja júniusra. Jól látható, hogy annak ellenére, hogy a modellezés során felhasznált modellváltozók nem voltak egyformák, az általuk generált térbeli eloszlások a két meteorológiai paraméterre gyakorlatilag megegyeznek. Ugyanakkor jelentős különbség figyelhető meg attól függően, hogy milyen átlagolási időszakot választunk. Ahogy az ANOVA vizsgálatnál már láthattuk (4.3.1 fejezet), az időbeli változékonyság sokkal jelentősebb, mint a térbeli, ez a tulajdonság tükröződik a sokévi átlagok különbözőségében is. Éppen ezért célszerű a lehetséges leghosszabb időszakot felhasználni a modellezés során (jelen vizsgálatunkban az 1961-2010-es, 50 éves időszakot választottuk).



4.4.1. ábra A napfénytartam, illetve a globálsugárzás júniusi sokévi átlagai többféle időszakra

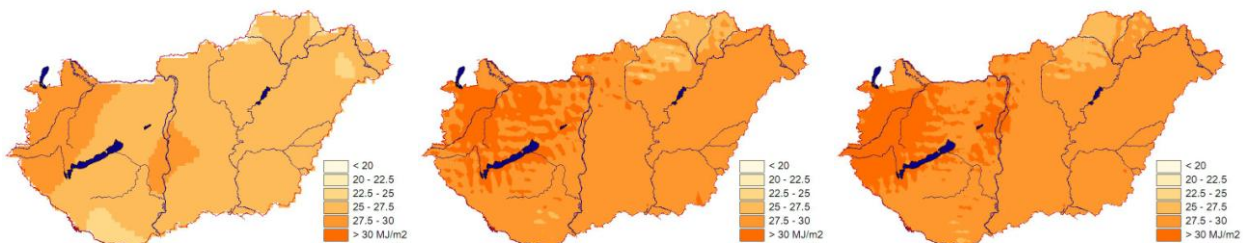
## 4.5 A NAPI GLOBÁLSUGÁRZÁS INTERPOLÁLÁSA

Vizsgálataink során a globálsugárzás interpolálását tűztük ki célul, mivel 2013 januárjától a napfénytartam mérések gyakorlatilag megszűntek. Ahogy a 2.2.2 részben leírtuk, a MISH alkalmas a háttérváltozók felhasználására is az interpoláció pontosságának növelésére. Háttérinformációként az ECMWF globálsugárzás előrejelzését alkalmaztuk. Elemeztük az előrejelzés beválását, valamint azt, hogy mennyire változtatta meg a felhasznált háttérinformáció a globálsugárzás térbeli eloszlását. A 4.5.1 ábrán a prediktor megfigyeléseknek a háttérinformációként használt előrejelzésekre vonatkozó lineáris regressziós vizsgálati eredményeit mutatjuk be.

|  |  |
|--|--|
| 01 EXAMINATION OF BACKGROUND INFORMATION<br>Correlation: 0.593<br>Constant: 4.427<br>Coefficient: 0.620  | 06 EXAMINATION OF BACKGROUND INFORMATION<br>Correlation: 0.409<br>Constant: 0.436<br>Coefficient: 1.024    |
| 02 EXAMINATION OF BACKGROUND INFORMATION<br>Correlation: 0.002<br>Constant: 6.301<br>Coefficient: 0.003  | 07 EXAMINATION OF BACKGROUND INFORMATION<br>Correlation: 0.171<br>Constant: 4.450<br>Coefficient: 0.284    |
| 03 EXAMINATION OF BACKGROUND INFORMATION<br>Correlation: 0.440<br>Constant: 2.282<br>Coefficient: 0.863  | 08 EXAMINATION OF BACKGROUND INFORMATION<br>Correlation: 0.210<br>Constant: 3.735<br>Coefficient: 0.446    |
| 04 EXAMINATION OF BACKGROUND INFORMATION<br>Correlation: 0.758<br>Constant: -4.893<br>Coefficient: 1.828 | 09 EXAMINATION OF BACKGROUND INFORMATION<br>Correlation: -0.456<br>Constant: 6.516<br>Coefficient: -0.141  |
| 05 EXAMINATION OF BACKGROUND INFORMATION<br>Correlation: 0.575<br>Constant: 1.574<br>Coefficient: 0.899  | 10 EXAMINATION OF BACKGROUND INFORMATION<br>Correlation: -0.781<br>Constant: -1.110<br>Coefficient: -0.830 |

4.5-1. táblázat A háttérinformáció felhasználásának eredményei a MISH-ben (háttérinformációk: 2013.06.13-án készült ECMWF előrejelzések 1-10 napra)

A 2013.06.13-án 00 UTC-kor készült 1-10 napos előrejelzéseket elemeztük, a globálsugárzás napi összegét interpoláltuk az előrejelzések felhasználásával és anélkül. Annak ellenére, hogy a szubjektív verifikáció szerint a 2013.06.13-ra készült ECMWF előrejelzés jónak volt mondható, a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** tanulsága szerint az előrejelzés és a mért adatok között a vártnál alacsonyabb, 0,59 volt a korreláció, továbbá a konstans tagból (4,43) az is látható, hogy az előrejelzés alulbecsülte a sugárzás mennyiségét. A 10 napos időszak további részében a helyzet általában egyre rosszabbá vált, egyetlen kivétel a 4. nap, mikor a korreláció magasabb volt, mint az első napon (0,76), de ekkor az előrejelzés felülbecsült (konstans: -4,89). A 9. és 10. napon a korreláció már negatív, tehát a térbeli eloszlás az előrejelzés szerint fordított volt.



4.5.1. ábra Interpolált globálsugárzás 2013.0613-án  
a) háttérinformáció – ECMWF 1 napos előrejelzés, b) interpoláció háttérinformáció nélkül, c) interpoláció háttérinformációval



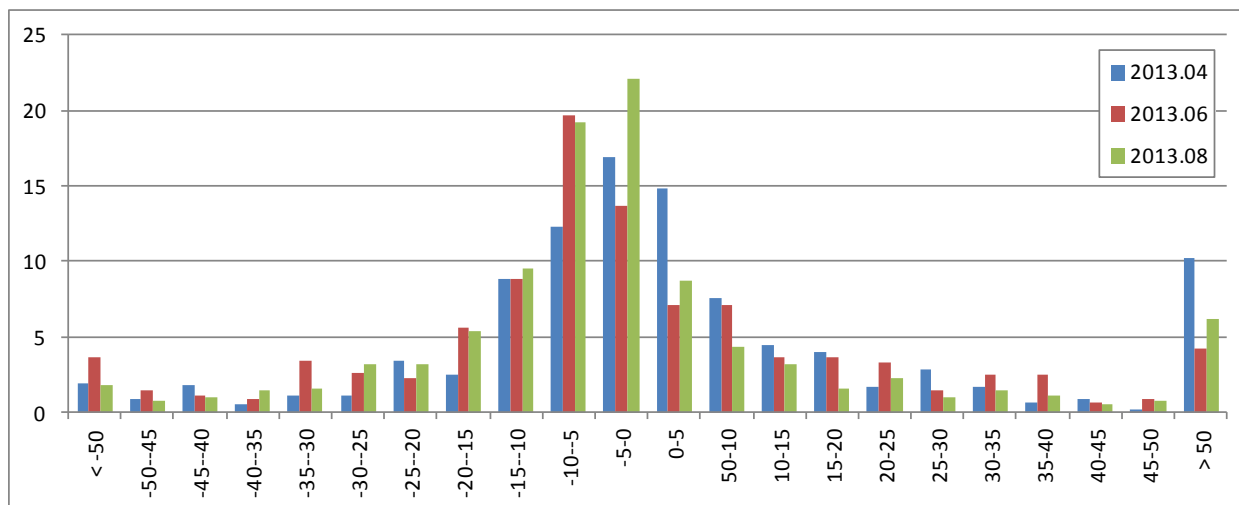
A 4.5.1. ábra a térbeli különbségeket mutatja. Jól látható, hogy az előrejelzés által kapott értékek 2-3 MJ/m<sup>2</sup>-rel alacsonyabbak, mint a mért értékek, és a térbeli eloszlás is más. Az előrejelzésnél a Dunántúl északnyugati részén, majd a Duna mentén láthatók a magasabb értékek, a mérések alapján viszont a Balatontól északra fekvő részek kapták a legtöbb besugárzást. Mivel az előrejelzés és a mérések közötti korreláció viszonylag alacsony volt (0,59), az interpoláció során az előrejelzett értékek nem lettek nagy súllyal figyelembe véve, így a háttérinformáció felhasználásával, illetve anélkül készült térképek nem sokban különböznek egymástól (4.5.1. ábra b), c)).

#### 4.6 A GLOBÁLSUGÁRZÁS ULTRARÖVID TÁVÚ ELŐREJELZÉSÉNEK VERIFIKÁCIÓJA

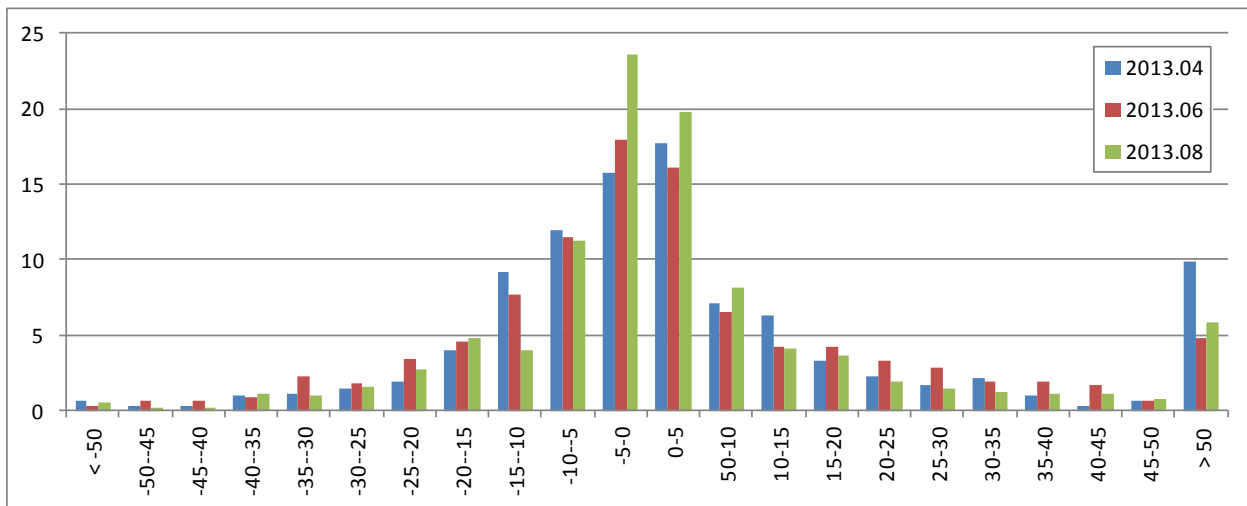
A kiértékelést a napi összegekre kezdtük, először a 4 rácspont alapján képzett értékeket vizsgáltuk. **(Hiba! A hivatkozási forrás nem található.)**

Az áprilisi, júniusi értékek alakja meglehetősen hasonló, az augusztusi ezektől eltérő, ami visszaadja, hogy sugárzási szempontból különböző időjárási helyzet volt augusztusban. A legpontosabb a modell augusztusban (derült idő, minimális zivatarvegyenység), a legpontatlanabb júniusban (zivataros helyzetek) volt. A gyakoriságokból alkotható sűrűségfüggvény görbéje némileg közelíti a normális eloszlás görbáját, ám a szélsőséges hibák száma (>50%) túl magas ehhez. A szimmetriát a szélsőséges kategóriát leszámítva júniusban és augusztusban hasonlóan a pozitív tartomány (0-5%), míg áprilisban épp a negatív tartomány (-0-5%) rontja el. Érdekes, hogy a legkisebb júniusban ez az érték, amikor az átlagos jóság a legalacsonyabb, ez a zivatar előrejelzés, illetve az AROME ultrarövidtávú természetéből adódhat.

Más a helyzet a 8 rácspontos esetben **(Hiba! A hivatkozási forrás nem található.)**. Itt döntő változtatás nem mutatható ki, a szimmetriát minden esetben a negatív tartomány rontja el. Érdekes megjegyezni, hogy a több pontból vett átlagolás ez esetben nem hoz javulást.

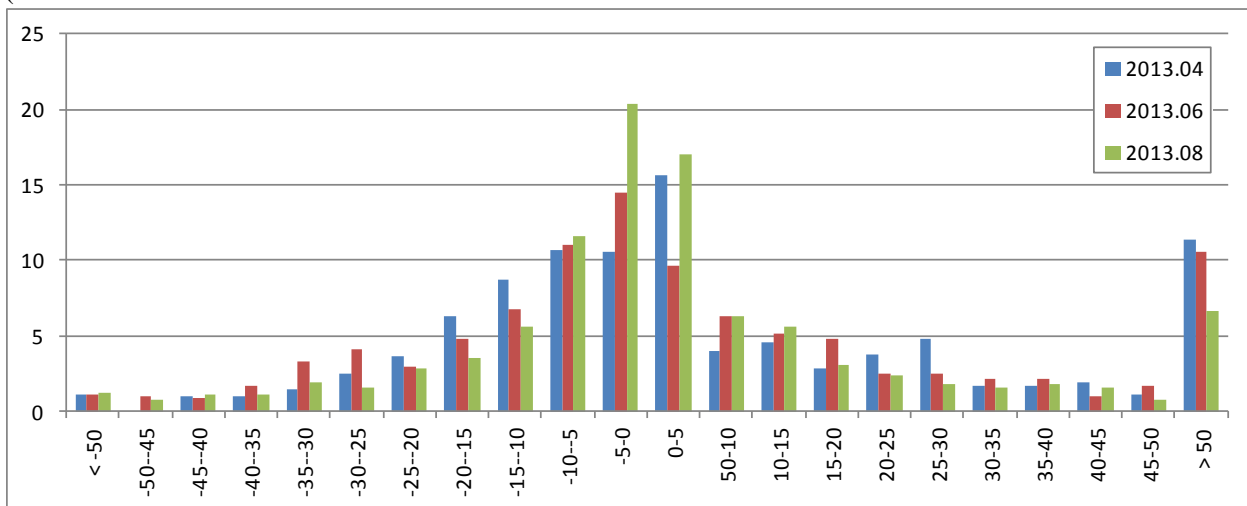


4.6.1. ábra A mért és előrejelzett napi összeg különbségei (%) relatív gyakorisága (%) 4 rácspont felhasználásával



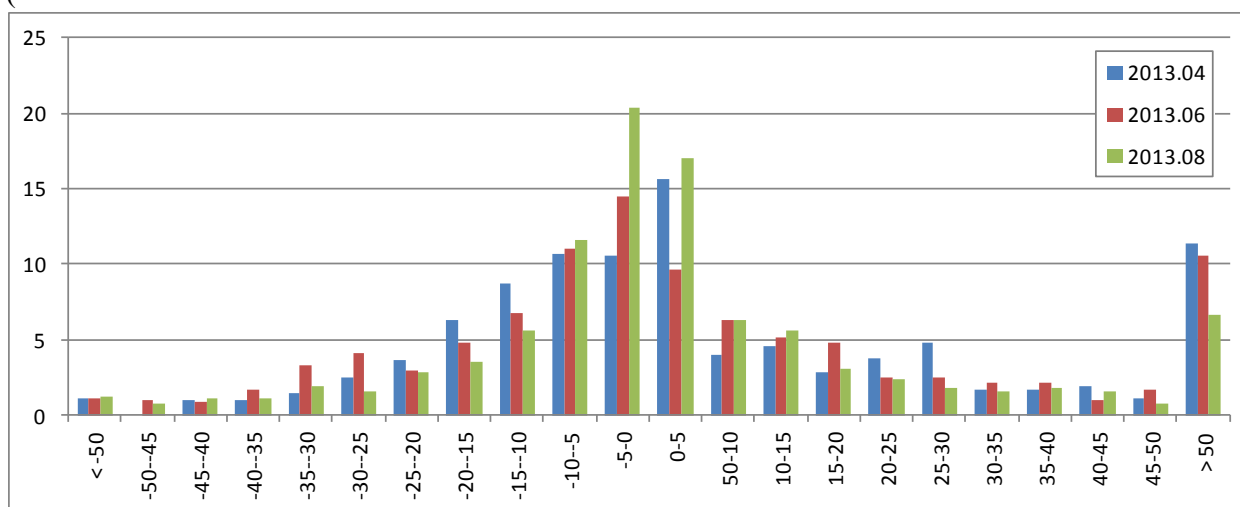
4.6.2. ábra A mért és előrejelzett napi összeg különbségek (%) relatív gyakorisága (%) 8 rácspont felhasználásával

A fél napi összegeket tekintve, délelőtt

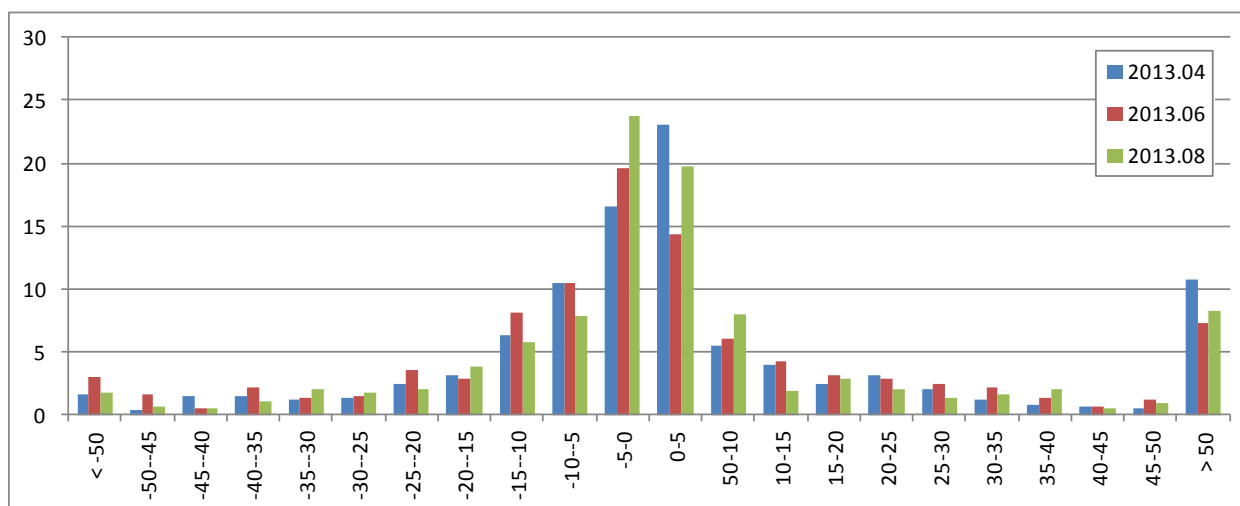


4.6.4. ábra) lényegében hasonló a hibák jellege, mint napi esetben (**Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**). Az április itt is lényegesen eltér a júniusitól és az augusztusitól. Ebben az esetben augusztusban legjobb az előrejelzés, ahol 0% a domináns kategória. A diagramok szélén megjelenő értékek alapján láthatjuk, hogy kisebb időskálára lemenve a modell előrejelzése romlik.

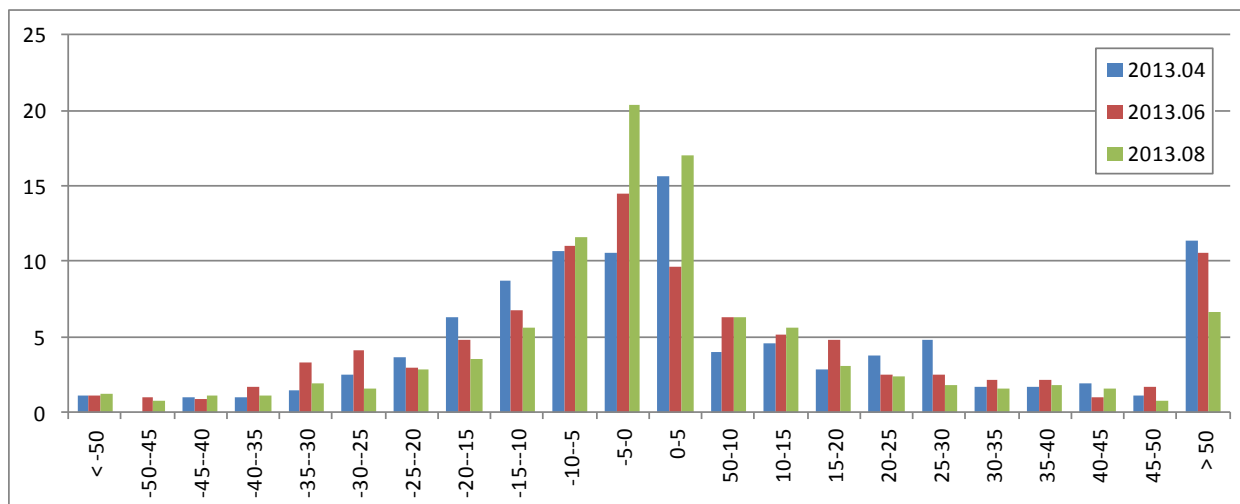
Az eredmények pontossága a legkisebb a délutáni napszakra nézve



4.6.4. ábra) Itt a relatív gyakoriságok áprilisban már meg sem közelítik a normális eloszlású sűrűségfüggvény jellemzőjét, ami fizikai szemléletbeli eltérésekre enged következtetni, szemben a június és augusztus hónapokkal. További érdekesség, hogy június hónapban a legnagyobb a szélsőséges hibák relatív gyakorisága, ami napi összegeknél a legalacsonyabb volt.



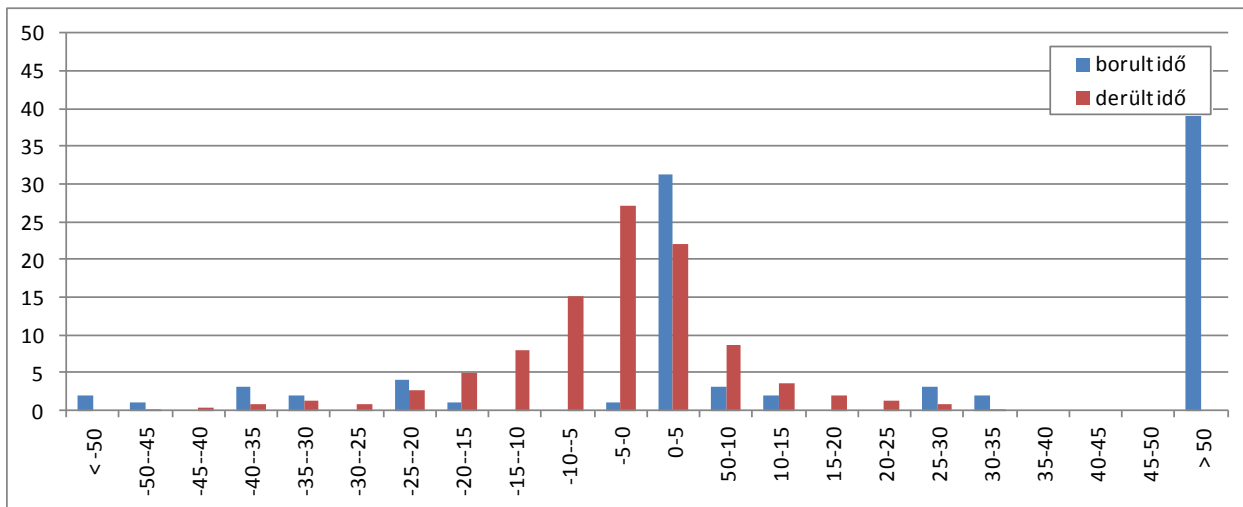
4.6.3. ábra A mért és előrejelzett délelőtti összeg különbségei (%) relatív gyakorisága (%) 4 rácspont felhasználásával



4.6.4. ábra A mért és előrejelzett délutáni összeg különbségek (%) relatív gyakorisága (%) 4 rácspont felhasználásával

Napenergia hasznosításnál kiemelt fontosságú a termelés meghatározása. Történhet-e egyáltalán értelmes mennyiségű termelés? Pontosan emiatt vizsgáltuk a modellt, hogyan teljesít borult, illetve derült esetben. Vagyis a távlati cél a napenergia hasznosítója számára a hasznosítható energia megadása egy bizonytalansági sávval. Borult időben a termelt energia elenyésző.

A 4.6.5. ábra alapján látható, hogy a két helyzet esetén a különbség szembevetendő. Derült időben meglehetősen pontosan (89,7%) képes a modell előrejelezni a napi összeget, azt is normális eloszlású hibákkal, míg borult esetben képtelen. A borult időbeli hibák fő okozói a szélsőséges hibák, jellemzően a fölébecslések adják a legnagyobb részt. Ehhez a kettőhöz képest a többi kategória elenyésző borult idő esetén. Borult idő esetén a gyengébb teljesítés oka feltehetően a felhőfizikai folyamatok modellezésében keresendő.



4.6.5. ábra A mért és előrejelzett napi összeg különbségek (%) relatív gyakorisága (%) 4 rácspont felhasználásával borult és derült időben

Összegezve az eredményeket, elmondhatjuk, hogy a relatív hibák tekintetében, napi összegekre bontva a modell általánosan jól teljesít. Kisebb időskálán (félnapi összegek) az eredmény már romlik. A hibák legnagyobb része a borult, derült időszak vizsgálat során deríthető fel. Itt összességében kiderült, hogy a hibákért a felhőfizikai folyamatok modellezését tehetjük felelőssé, azon belül is a felhők megjelenése lehet a fő ok. Érdekes további vizsgálat tárgyát képezheti az előrejelzés és a mérés összehasonlítása különböző napmagasságok esetén. Különösen érdekes lehet a jövőben a közepes napmagasságok és különböző felhőzet esetén a vizsgálat kisebb időskálákra.

**További vizsgálatokat végeztünk teljesen derült napokra**, mivel így tesztelhető az előrejelzési modellben használt sugárzásátviteli modul, hiszen felhős napokra a verifikáció – bár áttételesen, de - tulajdonképpen elég jelentősen a modell felhőzet előrejelzésének, a felhőmikrofizika parametrizációjának a verifikációja, hiszen ez döntően befolyásolja a sugárzási outputot. Derült napokra viszont az vizsgálható, hogy a légkör sugárzás átbocsátási képességét (alapvető sugárzásátviteli viszonyait, a légkör átlátszóságát) hogyan kezeli és jelzi előre a modell.

Ehhez a vizsgálathoz a vizsgálati időszakban előfordult derült napokat kellett kiválasztani, amik sajnos elég korlátozott számban fordultak elő. Itt azt vizsgáltuk, hogy függ-e, és ha igen, hogyan függ az előrejelzés hibája a légoszlop sugárzás átbocsátó képességétől. Azt, hogy a légkör sugárzás átbocsátó képességét mivel jellemezzük, attól függ, milyen mérések állnak rendelkezésre. Budapest-Pestszentlőrinc (OMSZ Marczell György Főobszervatórium) és Kékestető mérőállomásokon direkt sugárzásmérés és aeroszol optikai mélység mérés is rendelkezésre áll, így ezen két mérőhely esetén az előrejelzés hibájának mindkét fizikai mennyiséggel való kapcsolatát vizsgálni tudtuk. A direkt sugárzásból a monokromatikus optikai mélység definíciójának véges, szélesebb hullámhossztartományra (ti. a direkt sugárzást mérő pirheliométer érzékenységi tartományára) való kiterjesztésével a szélessávú (szürke) optikai mélység

határozható meg, amely az aeroszol optikai mélységgel ellentétben nem egy adott légköri közeg, azaz az aeroszol általi sugárzás gyengítésre jellemző, hanem gyakorlatilag a teljes rövidhullámú besugárzási tartományra jellemző, tulajdonképpen a spektrálisan átlagolt gyengítés mértékét adja meg. Az optikai mélység értéke annál nagyobb, minél gyengébb a légoszlop sugárzás átbocsátó képessége.

Megjegyezzük, hogy a különböző hullámhosszokon meghatározható aeroszol optikai mélységek közül - melyek között szükségszerűen igen nagy az autokorreláció – a 500 nm-en meghatározott aeroszol optikai mélységet használtuk.

A többi állomáson csak globálsugárzás mérés áll rendelkezésre, így egyikféle optikai mélység meghatározására sincs lehetőség. Ezen mérőhelyekre így csak az ún relatív globálsugárzást (RELG) használhatjuk a sugárzás átbocsátó képesség jellemzésére. A relatív globálsugárzás azt mutatja, hogy az adott helyen adott időpontban mért globálsugárzás értéke hányad része az adott helyen és időpontban korábban előfordult maximális értéknek (ezt a maximális értéket Nagy Zoltán határozta meg egy korábbi munka során az 1967-1997 időszakból.). Ebből következően RELG egy zérus és 1 közötti szám.

A sugárzás átbocsátó képesség jellemzésére fizikai definíciója következtében érzékenyebb paraméter az optikai mélység, de az várható, hogy a kívánt vizsgálathoz a RELG is elegendő lesz optikai mélység értékek hiányában.

Ahogy fentebb jeleztük, a három vizsgálati hónap alatt igen kevés teljesen derült napot találtunk, átlagosan kicsivel több, mint 20 nap körül van ez a szám összesen. A vizsgálathoz ennél egy kicsivel kevesebbet tudtunk használni, mert voltak olyan napok, amik ugyan a valóságban derültek voltak, de a modell felhőzetet jelzett előre az adott napra. Ezeket ki kellett hagynunk, amely 15 és 20 % közti csökkenést okozott a használható napok számában.

A rendelkezésre álló napok igen kis száma miatt nem mutatunk be pontos statisztikákat, csak az előrejelzés hibájának fő viselkedési jellemzőit mutatjuk be. A vizsgálatokat itt is elvégeztük a napi, és a két félnapi összegre. Előljáróban annyit mindenképp meg kell jegyezni, hogy a modell igen jól teljesített a derült esetekre, tehát az alapvető sugárzásátvitel jól működik benne: minden esetben (napi, első félnapi, második félnapi) minden derült napra az előrejelzés relatív hibája 10 százalékon belül volt.

Az eredményeket összegző megállapításokat – ahogy majd a félnapi összegek esetén is – külön közöljük Budapestre és Kékestetőre, hiszen utóbbi hegyi állomás, amelyre máshogy viselkedhetnek a modell outputok, mint a tengerszint közeli mérőhelyekre.

Az előrejelzés relatív hibájának a szürke optikai mélységtől (GBOD) való függésének vizsgálata alátámasztja, hogy Budapestre és Kékestetőre az a tendencia figyelhető meg – bár Kékestetőre kifejezettebben, szabályosabb módon -, hogy az optikai mélység növekedésével, azaz a légkör átlátszóságának csökkenésével a modell egyre nagyobb eséllyel fölébecsül. Ezt azt jelenti, hogy a modell nem tudja elég jól megfogni a sugárzás átbocsátás szempontjából szélsőségesebb helyzeteket, azaz simít, átlagol: az extrémén nagy átlátszóságú, alig szennyezett esetekben alábecsüli a beérkező sugárzást, az erősen szennyezett, kis átlátszóságú esetekben pedig fölébecsli, azaz „tisztább” légkört jelez előre. Ez a jelenség lesz tapasztalható a félnapi összegekre és a többi mérőállomásra is, ahol a relatív globálsugárzást használtuk a légkör átlátszóságának jellemzésére.

Az előrejelzés relatív hibájának az aeroszol optikai mélységtől (AOD) való függését is megvizsgáltuk Budapest és Kékestető mérőhelyekre. A különbség annyi, hogy a fent vázolt függés kicsivel kevésbé kifejezett, ami persze a vizsgálathoz használható napok kisebb száma is lehet az oka, így nem érdemes elemzésbe bocsátkozni a különbséget illetően. Ettől függetlenül ez várható, hiszen a globálsugárzás széles spektrumtartományon értelmezett mennyiség, így egy adott időpontban a felszínen mérhető mennyiségének kialakításában egy sor tényező játszik szerepet, és az aeroszol csak egy ezek közül.

A többi mérőállomásra elvégzett vizsgálat eredménye hasonló, - ahogy fentebb már említettük - minél nagyobb a RELG, azaz minél jobb a légkör átlátszósága, annál nagyobb eséllyel becsül alá a modell. Összegesképpen az mondható el, hogy általánosságban is az alábecslés a jellemző.

Az előrejelzés hibájának időbeli menetét is megvizsgáltuk. Mivel három hónap áll csak rendelkezésre, sajnos nem lehet éves menetet megállapítani. Az viszont kiderült a vizsgálatból, hogy az előrejelzés

relatív hibájának szórása áprilisban a legnagyobb (3,81), és legkisebb júniusban (2,58). Augusztusban az értéke 3,08.

Megvizsgáltuk az előrejelzés relatív hibája és RELG közti kapcsolat területi függését is. Ezt úgy végeztük el, hogy a ponthalmaz adott állomásra számított átlagának, szórásának, illetve az előrejelzési hiba és RELG kapcsolatára vonatkozó lineáris illesztés paramétereinek területi függését vizsgáltuk. A vizsgálat nem mutatott ki szignifikáns függést se a napi, se a két félnapi összegekre.

Az első és második félnapi összegekre vonatkozó vizsgálat eredményei nagyon hasonlóak a napi összegekre kapotthoz. A modell szélsőséges átlátszósági helyzeteket való gyengébb kezelése itt is egyértelmű. Az előrejelzés hibájának az átlátszóságtól való függését megvizsgáltuk külön Budapestre és Kékestetőre a délelőtti félnapra, és a délutáni félnapra, ugyanúgy, ahogy a napi összegek esetén. A többi állomásra összegzett eredményeket tekintettünk. Azt tapasztaltuk, hogy a függés szabályszerűbb, és a napi összegekre kapotthoz erősen hasonló a délutáni félnapra, ugyanakkor lényegesen nagyobb a pontok diszperziója a délelőtti félnapra.

Az előrejelzés hibájának időbeli menetét illetően azt tapasztaltuk, hogy a délelőtti félnap esetén áprilisra legnagyobb a szórás (3,53), de június és augusztus között nincs számottevő különbség (2,20 és 2,34). A hiba időbeli menetét is megvizsgáltuk.

A délutáni félnap esetén a napi összegekre kapottakkal összehangban a legnagyobb a szórás áprilisra (4,46), és a legkisebb júniusban (3,63). Az augusztusra kapott érték 3,98. Az értékekből az is látszik, hogy a szórások a délelőtti félnapra lényegesen kisebbek, mint a délutáni félnapra. (Tóth Zoltán, Morvai Krisztián, Nagy Zoltán, 2013)

#### **4.7 TÉRKÉPKÉSZÍTÉS AZ ADATBÁZISBAN**

Feladataink közé tartozott, hogy a mért napfénytartam és globálsugárzás adatokból interpolált térképek kerüljenek az OMSZ adatbázisába. Ehhez az eredetileg pc-re fejlesztett interpolációs programokat nagygépes környezetbe kellett átültetni, hogy közvetlenül az adatbázisból futtathatók legyenek. A fejlesztés megvalósult.

Mivel 2013 januárjától a napfénytartam mérések gyakorlatilag megszűntek, a napi globálsugárzás értékeket interpoláljuk minden napra operatíván, az előző napra vonatkozóan, egy 0,05°-os rácshálózat pontjaira. A számolt rácsponti értékeket ebben a formában tároljuk is a későbbi könnyebb felhasználhatóság érdekében.

### **5 EGYEBEK**

A projekttervezetben vállaltakhoz híven, 2009-ben megszerveztük a II. Interpolációs konferenciát. A konferencián tartott előadások nagy része cikk formájában is elkészült, és az Időjárás című negyedéves folyóirat különszámában, *Proceedings from the Second Conference on Spatial Interpolation in Climatology and Meteorology, Időjárás. Vol. 115.* megjelent.

### **6 PUBLIKÁCIÓK**

A kutatás során időrendben:

- Szentimrey, T., Lakatos, M., Bihari, Z., 2010: "Methodological questions of data series comparison for homogenization", 11<sup>th</sup> International Meeting of Statistical Climatology, 12-16 July 2010, Edinburgh, Scotland
- Szentimrey, T., Bihari, Z., Lakatos, M., 2010: "Quality control procedures in MISH-MASH systems", European Conference on Applied Climatology (ECAC), 13-17 September 2010, Zürich, Switzerland
- Szentimrey T., Bihari Z., Lakatos M., Szalai S. 2011a: Mathematical, methodological questions concerning the spatial interpolation of climate elements. Proceedings from the Second Conference

on Spatial Interpolation in Climatology and Meteorology. Budapest, Hungary. *Időjárás*. **Vol. 115**. No. 1-2. 1-11.

Lakatos, M., Szentimrey, T., Bihari, Z., Szalai, S. 2013a: Creation of a homogenized climate database for the Carpathian region by applying the MASH procedure and the preliminary analysis of the data, *Időjárás* **Vol. 117**. No. 1, January-March 2013. pp. 143-158.

M. Lakatos, Z. Bihari, T. Szentimrey, S. Szalai and the CARPATCLIM project Team, 2013b: Climate of the Carpathian Region - summary of the CarpatClim project, 3th EMS Annual Meeting & 11th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM) | 09 – 13 September 2013, Reading, United Kingdom

Szentimrey, T. et al., 2013: Final report on the creation of national gridded datasets, per country, Deliverable D2.9, CARPATCLIM project

Szentimrey, T. 2013: Theoretical questions of daily data homogenization, *Időjárás* **Vol. 117**. No. 1, January-March 2013. pp. 113-122.

Tóth Zoltán, Morvai Krisztián, Nagy Zoltán, 2013: Az AROME modell globálsugárzás előrejelzésének verifikációja. OMSZ belső dokumentum

## 7 EGYÉB HIVATKOZÁSOK

Benichou, P. és Le Breton, O., 1987: Prise en compte de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques. La Météorologie 7e série, n 19

Bihari, Z. et al., 2013: Final version of metadata per country of all national gridded datasets created within Module 2, Deliverable D2.10, CARPATCLIM project, [www.carpatclim-eu.org](http://www.carpatclim-eu.org)

Ihász, 2004: Determinisztikus és valószínűségi felhőzet, napfénytartam és globálsugárzás célprognózisok készítése különös tekintettel az energiaszolgáltatók igényeire (OMSZ, belső dokumentum)

Szentimrey, T., 1999: Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH), Proceedings of the Second Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data, Budapest, Hungary; WMO, WCDMP-No. 41, pp. 27-46.

Szentimrey, T., Bihari, Z., 2007a: Mathematical background of the spatial interpolation methods and the software MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis), Proceedings from the Conference on Spatial Interpolation in Climatology and Meteorology, Budapest, Hungary, 2004, COST Action 719, COST Office, 2007, pp. 17-27

Szentimrey, T., Bihari, Z., 2007b: Manual of interpolation software MISHv1.02, Hungarian Meteorological Service, p. 32

Szentimrey, T., 2008: Development of MASH homogenization procedure for daily data, Proceedings of the Fifth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases, Budapest, Hungary, 2006; WCDMP-No. 71, WMO/TD-NO. 1493, 2008, pp. 123-130.

Szentimrey, T., 2011: Manual of homogenization software MASHv3.03, Hungarian Meteorological Service, p. 64.