

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Meteorológiai Tanszék

A légköri viisszasugárzás parametrizálása

szakdolgozat



Készítette: Gulyás Márk

Földtudományi alapszak, Meteorológia szakirány

Témavezetők: Dr. habil. Ács Ferenc, Dr. Breuer Hajnalka

ELTE Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2018

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
1.1. A légköri viisszasugárzás folyamatának jellemzése	3
1.2. ϵ_{cs} parametrizációk	6
1.3. f_N parametrizációk	7
1.4. A légköri viisszasugárzás számítása napjainkban	8
2. Módszer	11
2.1. A légköri viisszasugárzás számítása	11
2.2. ϵ_{cs} parametrizációk	11
2.3. ϵ parametrizációk	12
2.4. Köppen módszere	13
3. Adatok	15
3.1. BSRN adatbázis	15
3.2. ERA5 adatok	16
4. Eredmények	18
4.1. A klímaspecifikus megfontolás	19
4.2. ET-klíma	21
4.3. Cf és Df klímák	23
4.3.1. Cfa és Cfb klímák	23
4.3.2. Dfb és Dfc klímák	23
4.4. A helyszínspecifikus paraméter-értékek meghatározása	24
5. Összefoglalás	30
6. Köszönetnyilvánítás	31
Irodalomjegyzék	32
Internetes hivatkozások	34
Függelék	36

1. Bevezetés

A légköri visszasugárzás releváns mennyiség a meteorológiai vizsgálatokban, mivel amellett, hogy fontos komponense a Föld sugárzási egyenlegének, számos más folyamatot is markánsan befolyásol. Ilyen például az evapotranszspiráció folyamata, mely meghatározó tagja a felszíni energia mérlegnek, a hidrológiai ciklusnak (Choi *et al.*, 2008), és a vegetáció elterjedésében is fontos szerepet játszik (Rotenberg *et al.*, 1998). A légköri visszasugárzás biztosítja a hó- és jégtakaró olvadásához szükséges hőt (Ohmura, 2001), így az oladási folyamatok modellezésében is meghatározó mennyiség mind a hegyvidéki környezetben (Sicart *et al.*, 2006; MacDonell *et al.*, 2013), mind a magasabb szélességi körök területein. Általában pyrgeométerrel mérik, de ezen műszerrel nem rendelkezik minden meteorológiai állomás, így a becslésére különböző komplexitású számítási eljárásokat alkalmaznak. A komplexebb eljárások a sugárzásátviteli modellek alkalmazásán alapulnak, míg az egyszerűbbek tapasztalati képleteken. Mi ezen utóbbiakkal fogunk foglalkozni. Az egyszerű parametrizációk két hatást jellemeznek: a felhőmentes égbolt emisszivitását (ϵ_{cs}) és a felhőzet módosító hatását (f_N). Az adott felhőzetű égbolt (pl. teljesen derült vagy borult) emisszivitása e két hatás alapján jellemezendő vagy a hatások ($\epsilon = \epsilon_{cs} \cdot f_N$) szorzatával, vagy a hatások összegével ($\epsilon = \epsilon_{cs} + f_N$). Az empirikus képletek meteorológiai változói általában a léghőmérséklet (T), a parciális vízgőznyomás (e) és a felhőzet, azaz az égbolt borítottsága (N).

E tanulmány célja egy, a Kárpát-medence térségére vonatkozó reprezentatív, a T , az e és az N felhasználásán alapuló légköri visszasugárzási parametrizáció bevezetése és validálása, illetve a CarpatClim adatbázis (Spinoni *et al.*, 2015) légköri visszasugárzási értékekkel való kiegészítésének előkészítése. A CarpatClim adatbázisban 16 meteorológiai változó tér- és időbeli eloszlását taglalják. A változók között megtalálható a T , az e és az N , de a légköri visszasugárzás (L) nem. Megemlítendő, hogy a sugárzási egyenleg összetevői közül csak globálsugárzási adatsorok vannak. Mivel nincs összefüggő T , e , N és L adatsor a Kárpát-medence térségére, olyan összefüggő T , e , N és L adatsorokkal rendelkező térségeket kerestünk, amelynek klímái nagyon hasonlóak a Kárpát-medence térségében létező klímákhoz. A klímák hasonlóságát a Köppen and Geiger (1936) féle klímaosztályozás klímaképletei alapján ítéltük meg.

1.1. A légköri visszasugárzás folyamatának jellemzése

Most rátérünk a légköri abszorpció és emisszió folyamatának részletesebb ismertetésére. E folyamatok kvantáltak, ezért egyedi vonalas szerkezetű emissziós/abszorpciós színeképpel

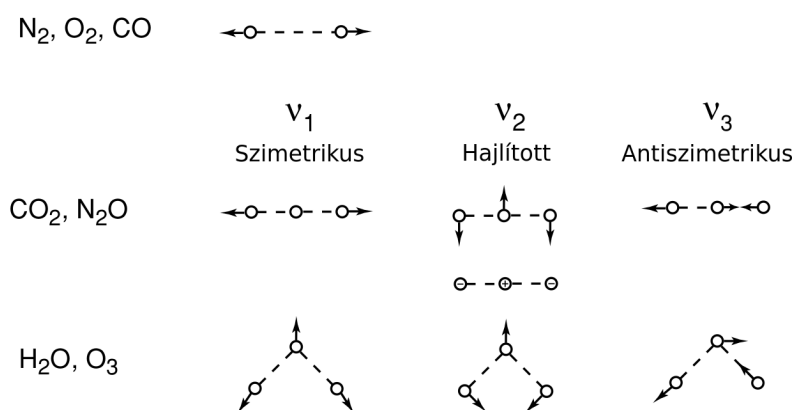
rendelkezik. A színek vonalas szerkezetére Niels Bohr adott elsőként magyarázatot bevezetve a stacionárius elektron héjak kvantált energiaszintezését. Az elmélete szerint a stacionárius állapotok közötti elektron-átmenetekkel valósul meg a sugárzás elnyelése és/vagy kibocsátása. Az elnyelt/kibocsátott sugárzási energia nagyságát a két állapot közötti energiaszint különbségével határozandó meg ($h \cdot \nu = E_1 - E_2$) (Kiss *et al.*, 1998; Liou, 2002). Az energia-elnyelési és/vagy kibocsátási folyamatok azonban nem csak elektron-átmenetekkel, hanem az atom, a molekula vibrációs és rotációs mozgási állapotai közötti átmenetekkel is teljesülhet. Mi több, az ilyen típusú átmenetek száma, gyakorisága sokkal nagyobb, mint az elektron átmenetek száma.

Amikor a molekula kölcsönhatásba lép egy külső elektromágneses térrel, pl. a beeső sugárzás terével, energiacsere zajlik. A molekula és a beeső sugárzás kölcsönhatása annál nagyobb és valószínűbb, minél inkább erősebb dipólus a molekula. A dipólus szerkezet szétválasztott töltés centrumokat jelent, ez pedig nő a szerkezet aszimmetrikusságának növekedésével. Ilyen pl. a H_2O (víz vagy vízgőz) molekula, amely az infravörös tartományban igen aktív gáz, mivel állandó dipólussal rendelkezik, az pedig könnyen kölcsönhatásba lép a külső elektromágneses térrel. Ha a molekula szerkezete szimmetrikus, mint pl. az N_2 és az O_2 , akkor inaktívak. Megemlítendő, hogy az N_2 , O_2 rendelkezik gyenge mágneses dipólussal, ami lehetővé teszi, hogy lejátszódjon a kölcsönhatás, de csak az ultraibolya és kis mértékben a látható tartományban.

A rotációs átmenetekhez tartozó energia meglehetősen kicsi, a legkisebb a felsorolt esetek közül. Ezért is vannak az elnyelési sávjai a mikrohullámú és a távoli infravörös tartományban. A vibrációs átmenetekhez tartozó energiák jóval nagyobbak, mint a rotációs átmenetekhez tartozóak, továbbá mindig a rotációs átmenetekkel együtt fordulnak elő. Ezen két átmenet egyidejű megjelenése eredményezi a vibrációs-rotációs sávokat a színekben az infravörös tartományban. Az elektron-átmenetekhez (electronic transition) tartozó energiák a legnagyobbak, így az elektron átmenetekkel megvalósuló abszorpció és emisszió általában az ultraibolya és a látható tartományban van. Mivel a molekulák általában több fajta átmenettel is rendelkezhetnek, az elnyelési/kibocsátási sávjaik is jóval komplexebbek (Liou, 2002).

Azt, hogy a légkört alkotó különféle molekulák (pl. H_2O , O_2 , N_2) milyen tartományban és mértékben abszorbeálják az elektromágneses sugárzást, a molekulák szerkezete határozza meg. Az egyszerűbb molekula felépítés a kétatomos struktúra (pl. N_2 , O_2 , CO_2), amelyben az atomok egymáshoz közeledve vagy egymástól távolodva mozoghatnak. Így a kétatomos felépítésnek van egy vibrációs modulja, az ún. szimmetrikus nyúlvány. Az N_2 és az O_2 molekuláknak nincs állandó dipólus momentumuk a szimmetrikus felépítésük miatt, ezért

nem aktívak a látható és az infravörös tartományban. A háromatomos molekulák lineáris és szimmetrikus felépítésű molekulák, mint pl. a CO_2 és az N_2O , így három vibrációs móddal rendelkeznek: a szimmetrikussal (ν_1), a keresztirányúval (ν_2) és az antiszimmetrikussal (ν_3), ahogy az 1. ábrán is láthatjuk. A ν_1 -es vibrációs állapot teljesen inaktív a szimmetria miatt. A ν_2 -es vibrációs állapot a megegyező frekvenciájú ν_{2b} és ν_{2a} állapotokra osztható. Ez esetben már dipólusok alakulnak ki az egyenlőtlen töltés eloszlás miatt. A háromatomos felépítésű molekulák, mint pl. az O_3 vagy a H_2O , aszimmetrikusak és három fő vibrációs állapotuk van (Liou, 2002).



1. ábra. Vibrációs átmenetek a két- és háromatomos molekulák esetén (Liou, 2002).

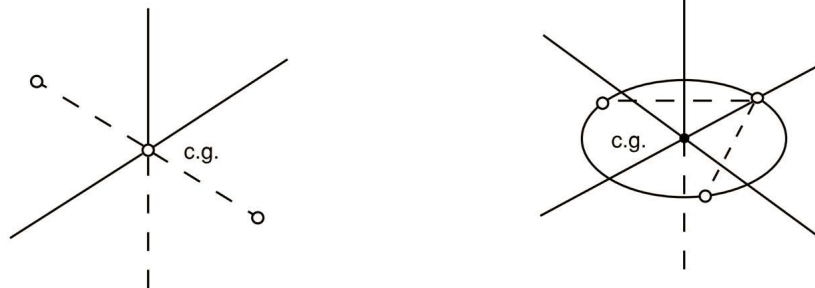
A lineáris és aszimmetrikus molekulák forgási szabadsági fokai (szaggatott vonalak) a 2. ábrán látható. Ahol a kétatomos lineáris molekuláknak két egymással megegyező nagyságú tehetetlenségi nyomatéka és ezért két rotációs szabadsági foka van. A háromatomos aszimmetrikus felépítésű molekulák három egymástól eltérő nagyságú tehetetlenségi nyomatékkal rendelkeznek és ezért három rotációs szabadsági fokuk. Minél komplexebb molekulát vizsgálunk, a rotációs szabadsági fokok ezzel párhuzamosan nőnek.

Ahogy az atomoknál úgy a molekulák esetében is akkor játszódnak le az abszorpciós és emissziós folyamatok, amikor a sugárzási energia pont megegyező az atomok/molekulák diszkrét állapotához (legyen az elektron vagy vibráló/rotáló atom/molekula) tartozó energiaszint-különbséggel. Így, amikor a földi kisugárzás a légkörbe jut, adott molekula által elnyelődik, majd a molekula általi azonnali reemisszióval újból a légkörbe jut. Ennek a légköri sugárzásnak a földfelszín irányába mutató komponensét nevezzük légköri visszasugárzásnak. A légköri visszasugárzás becsülhető összetett légköri sugárzás-átviteli modellekkel vagy méréseken alapuló tapasztalati képletek (parametrizációk) alapján. E tanulmányban mi az utóbbi módszert választottuk és vizsgáltuk klíma-specifikusságát.

Lineáris kétatomos: N_2 , O_2 , CO

Lineáris háromatomos: CO_2 , N_2O

Aszimmetrikus háromatomos: H_2O , O_3



2. ábra. A lineáris és az aszimmetrikus három-atomos molekulák és a rotációs szabadsági fokok tengelyeinek sematikus képe (Liou, 2002).

1.2. ϵ_{cs} parametrizációk

A parametrizációk fejlesztése és kutatása közel egy évszázados múltra tekint vissza. Az első ezzel kapcsolatos munka *Ångström* (1915) nevéhez fűződik, aki több éves algériai és kaliforniai expedíciója során vizsgálta az éjszakai sugárzási viszonyokat. *Ångström* (1915) már az expedíció megkezdése előtt úgy gondolta, hogy a levegő nedvesség-tartalma befolyásolja a légköri visszasugárzást, és hogy kapcsolatuk exponenciális görbével jellemezhető. Továbbá, fontos megfigyeléseket tett a felhőzet légköri visszasugárzást módosító hatásával kapcsolatban is. Pionír méréseket végzett Algériában a Mouzaia és az Atlasz-hegység között elhelyezkedő völgyben (510 m), Bassourban (1160 m) és Mouzaia legmagasabb pontján (1610 m), továbbá, Kaliforniában a Mount San Antonio (3000 m), a Claremont (125 m), a Salton Sea sivatagban (0 m), a Mount San Gorgoni (3500 m), a Lone Pine (1200 m) a Mount Whitney (4420 m) hegyek területein. Minden egyes állomáson 3 éjszakán át mértek az adatok órás rögzítésével.

Brunt (1932) szintén parciális vízgőznyomás alapú képletet alkotott, és eközben számításba is vette a vízgőz különböző hullámhosszakhoz tartozó elnyelési sávjait. Munkájában *Ångström* algériai megfigyelési adatait is használta, valamint egy Európa területéről származó adatbázist is, melyben a különböző változók $7,5^\circ$; $22,5^\circ$; $37,5^\circ$; $52,5^\circ$; $67,5^\circ$ és $82,5^\circ$ szélességi körökre vonatkozó havi átlagai voltak.

Swinbank (1964), *Brunt* (1932) és *Ångström* (1915) vízgőz szerepével kapcsolatos elképzelését túlzónak tartotta – miszerint a felszínen mért parciális vízgőznyomás nagy mértékben meghatározza a légköri visszasugárzást –, és úgy gondolta, hogy a felszíni léghőmérséklettel pontosabban becsülhető a légköri visszasugárzás, ugyanis a levegő

szén-dioxid tartalmának az L -re gyakorolt hatását már felismerték. Ez a plusz hatás viszont a léghőmérséklet használatával igen jól számításba vehető. Mindezek alapján egy T -től függő parametrizáció megalkotása mellett döntött, melyhez az adatokat a spanyol Aspendale, az ausztráliai Kerang városok környékéről, valamint az indiai-óceáni (D.sz. 16° , K.h. 121° ; D.sz. 10° , K.h. 109° ; D.sz. 17° , K.h. 113° ; D.sz. 22° , K.h. 115°) térségéből vette.

Idso and Jackson (1969) szintén csak hőmérséklet-alapú képletet dolgoztak ki. E munkájukban (*Swinbank*, 1964) összefüggéséből és elképzeléséből indultak ki, és elkészítették a -45°C és $+45^\circ\text{C}$ -os hőmérsékleti intervallumra vonatkozó parametrizációjukat. Az adatokat igen változatos klímával rendelkező területekről vették, mint pl. Ausztrália, Alaszka, Arizona és az Indiai-óceán térsége.

Satterlund (1979) már ötvözte a fentiekben említett kétféle szemléletet és képletébe bevette mind a parciális vízgőznyomást, mind a léghőmérsékletet. Vizsgálatai igazolták, hogy a parametrizációja extrém hőmérsékleti és légnedvességi viszonyokban is jó, kiváltképpen az alacsony értéktartományokban, ahol a legpontosabb becsléseket adta. A felhasznált adatsor Alaszka és Montana területeiről származott.

Idso (1981) a légköri viaszasugárzás teljes spektrumának monitorozása mellett, a hőmérséklet és a vízgőznyomás változását is figyelte, azzal a céllal, hogy kapcsolatot találjon a vízgőz és a légköri emisszivitás között. A vizsgálatokat és a méréseket is Phoenix városának laboratóriumában végezte.

Brutsaert (1975), *Satturland*hez hasonlóan, szintén hőmérséklettől és parciális vízgőz-nyomástól függő összefüggést javasolt Schwarzschild-féle egyenlet felhasználása alapján mellőzve az eddigi módszereket (lineáris regresszió).

Konzelmann et al. (1994) sugárzási egyenleget vizsgált Grönland szigetén a nyári hónapokban, azzal a céllal, hogy jobban megértse a jégtakaró olvadási folyamatait. Mivel a jégtakaró olvadásában fontos szerepet tölt be a légköri viaszasugárzás is, egyaránt vizsgálta a derült égbolt emisszivitását és a felhőzet hatását is.

1.3. f_N parametrizációk

Maykut and Church (1973) az arktikus klímájú Barrow kutató állomáson végeztek kutatásokat, ami az USA legészakibb területeinek egyike. Ők az 1962–1966 időszakra vonatkozó mérési adatok évi és havi átlagaival dolgoztak.

Crawford and Duchon (1999) főként az ARM (Atmospheric Radiation Measurement) mérési sorozat egy éves időszakra vonatkozó adatai alapján vizsgálták a felhőzet hatását és az új felhőzet-hatást leíró f_N képletüket *Swinbank* (1964), *Brutsaert* (1975), *Idso and Jackson* (1969) ε_{cs} parametrizációival kombinálták. E három kombinációból a Crawford-Brutsaert

parametrizáció-kombináció bizonyult a legjobbnak.

König-Langlo and Augstein (1994) az Antarktiszon található Koldewey és Neumayer kutató állomások adataival dolgoztak, ahol a nagyrészt jégkristályokból álló felhőzet markánsan befolyásolta sugárzási viszonyokat. Így, ezen hatást felismerve, megalkottak egy új, arktikus viszonyokra vonatkozó ε_N parametrizációt.

Lhomme et al. (2007) két mérőállomás fél órás gyakorisággal mért adataival dolgoztak a Bolívia és Peru között található Altiplano fennsíkon (4000 m). Ezen területen a vegetációs időszakban is gyakoriak a fagyok, melynek oka a hosszúhullámú sugárzás mértékének csökkenése, mely folyamat az eddig megalkotott modellekben felülbecsült volt. Így munkájukban *Brutsaert* (1975) ε_{cs} képletének fejlesztése mellett egy új f_N összefüggést is megalkottak a vegetációs időszakban előforduló fagyok modellezése érdekében.

1.4. A légköri viaszugárzás számítása napjainkban

A légköri viaszugárzás számítására három módszert különböztethetünk meg: egyrészt a modellek által általában alkalmazottakat, amelyek a leginkább fizikai megfontolás alapúak. Alkalmazásukhoz szükséges a hőmérséklet és a vízgőz vertikális profilja, amelyeket általában műholdas megfigyelések segítségével állítják elő (*Liang et al.*, 2010). Azonban ezen adatok nehezen vagy egyáltalán nem elérhetők *Duarte et al.* (2006). A második csoportot képező módszeregyüttes a fizikai megfontoláson alapuló sugárzás átviteli modellek és a statisztikai regressziós módszerek kombinációja. Ezen ún. hibrid módszer alkalmazása során nyers műholdas adatokat használnak inputként, ezáltal is elkerülve azon hibákat, amelyek a nyers adatok meteorológiai paraméterré való alakítása során lépnek fel (*Liang et al.*, 2010). A harmadik módszer-kategória, amely az eddigieknél jóval egyszerűbb, az empirikus megfontolásokon alapuló parametrizációk. A parametrizációk pontatlanabbak, mint azelőbbi két módszer, azonban könnyebben alkalmazhatók (*Liang et al.*, 2010), hiszen álltában 2–3 meteorológiai változó is elegendő a sugárzási értékek meghatározásához. Így, azokon területeken vagy adatbázisokban, ahol nem állnak rendelkezésre a műholdas adatok, ezen parametrizációk alkalmazása célravezető. Az 1.2-es és 1.3-as fejezetekben említett parametrizációk a szakirodalomban leggyakrabban alkalmazott klasszikus formulák, amelyekben a felhőzet hatását az égbolt relatív borítottságával N jellemzik. Ezen felhőzet értékeket három lehetséges módon állítják elő. A régebbi munkákban, mint pl. *Brunt* (1932) vagy *Ångström* (1915) megfigyelő által becsült borítottsági értékek szerepelnek, de a kortárs tanulmányokban is használatos, pl. *Iziomon et al.* (2003), aki egy mérési expedíció során vizsgálta a hegyvidéki területeken a légköri viaszugárzást Németország területén. Másik lehetséges módszer a műholdas

megfigyelések alkalmazása, amelyeket vagy kombinálják a felszíni mérésekkel (*Diak et al.*, 2000), ahol geostacionárius műholdas adatokat használtak az N becslésére, vagy, amikor a felhőzet mellett a többi paramétert is kizárólag műholdas megfigyelések alapján határozzák meg (*Dilley and O'Brien*, 1998). Mivel általában olyan területekre alkalmazzák a parametrizációkat, ahol a rendelkezésre álló adatok igen behatároltak, a felhőzetre vonatkozó műholdas és megfigyelési adatok is általában hiányoznak. Így az N pótlására az egyik legnépszerűbb módszer a *Crawford and Duchon* (1999)-féle számítási formula, amely az aktuálisan mért és az elméletileg számított, derült égbolt esetén felszínre érkező globálsugárzás alapján becsüli az égbolt borítottságát. Ezt a módszert használta *Sedlar and Hock* (2009) és *Iziomon et al.* (2003) is.

A másik csoportja a felhasznált adatoknak az ϵ_{cs} parametrizálásához szükséges. Ez esetben a csak e , vagy csak T , vagy ezen paraméterek kombinációjától függő parametrizációk a legelterjedtebbek. Azonban, a műholdas mérési technológia fejlődésével megjelentek a kihullható víztartalmon alapuló összefüggések is. Az első ilyen parametrizáció *Prata* (1996) nevéhez fűződik, aki képletét a T értékkel kombinálva alkotta meg, és tesztelte globálisan a -40°C - 40°C -os hőmérsékleti tartományban. *Dilley and O'Brien* (1998) szintén kihullható csapadék és hőmérséklet függő képleteket alkottak. Így elmondható, hogy általában ezen változóktól (T , e , N , kihullható víztartalom) függő parametrizációkat használnak a szakirodalomban is. Mivel a CarpatClim adatbázisban nem áll rendelkezésre a kihullható víztartalom, nincs értelme tesztelni az ilyen típusú képletet. Más változókból való származtatása pedig újabb hiba lehetőséget jelent a számítások során.

Wang and Liang (2009), akik az 1996–2008 közötti időszakban globálisan 36 állomásra vonatkozóan végezték a különböző parametrizációkra vonatkozó vizsgálataikat, amelyekhez az Ameriflux (*Ameriflux*, 1997) és BSRN adatbázisok felszíni méréseit használták fel. Az N -t szintén a globál sugárzás alapján számolták. Munkájuk célja, hogy egy olyan képletet keressenek, amely a legjobban viselkedik a változatos klímákban. Eredményeikben *Brutsaert* (1975) és *Brunt* (1932) képlete volt a legjobb ϵ_{cs} parametrizáció, míg *Crawford and Duchon* (1999) f_N felhőzet hatást jellemző parametrizációja bizonyult a legjobbnak. Az ϵ_{cs} parametrizációk közül, (*Brunt*, 1932) összefüggése jobb, mint *Brutsaert*é 1000m alatt, ugyanakkor rosszabb, mint *Brutsaert*é 1000m felett. *Flerchinger et al.* (2009) az Ameriflux adatbázisból 21 állomásra vonatkozóan végezte el a vizsgálatokat az USA területén. Ők szintén az egész adatbázisra vonatkozóan keresték a legjobb parametrizációkat, amelyek *Prata* (1996), *Dilley and O'Brien* (1998), és *Ångström* (1915) esetében adták a legjobb egyezést. Az első két összefüggés a kihullható csapadéktól függvénye, ezen változót a T és az e alapján számolták. Az f_N tagot illetően *Kimball*

képletét választották. Az előző munkához hasonlóan az N adatsort *Crawford and Duchon* (1999) megfontolása alapján állították elő. A nagyobb területek változatos klímáira elvégzett vizsgálatok mellett, amelyekben a legjobb parametrizációt keresték, sok esetben csak kis, ugyanazon klímájú területre vonatkozó vizsgálat van. Ilyen pl. *Sedlar and Hock* (2009) munkája, akik észak Svédországban Storglaciären-ből származó adatok alapján, kifejezetten a gleccserek vidékén a legjobban működő parametrizációt keresték. Továbbá az égbolt borítottságára vonatkozó parametrizációkat is tesztelték. Eredményeikben a parametrizált felhőzet esetén nagyobb hibákat kaptak, mint a megfigyelések alapján. A felhőzet becslése esetén *Konzelmann et al.* (1994) f_N parametrizációja volt a legjobb. *Iziomon et al.* (2003) dél-nyugat Németországban 1992–1995 között zajló mérési projekt adatbázisát használták fel.

Hasonlóan az említett munkákhoz a mi tanulmányunkban is az egyes parametrizációk összehasonlításával foglalkozunk. Viszont mi minden egyes klímára külön-külön keressük a megfelelő parametrizációkat. Továbbá a rohamosan fejlődő reanalízis adatbázisoknak köszönhetően az égbolt borítottságára vonatkozó adatokat az ERA5 (ERA5, 2016) adatbázisból vettük, azaz, nem használtunk parametrizált N -értékeket.

2. Módszer

2.1. A légköri viaszasugárzás számítása

A légköri viaszasugárzás (L) a levegő emisszivitásának (ε) a $\sigma \cdot T^4$ tag szorzatával fejezendő ki,

$$L = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4. \quad (1.0)$$

ε igen nagy mértékben függ a felhőzettől. A felhőzet hatását a felhőmentes és a felhős égboltrészek különválasztásával jellemzik bevezetve a felhőmentes égbolt ε_{cs} emisszivitását. Kihangsúlyozandó, hogy az ε_{cs} értéke akár jelentősen is kisebb lehet, mint 1 (pl. 0,6–0,7 körüli), míg a felhős égbolt emisszivitás értéke 1 közeli.

2.2. ε_{cs} parametrizációk

A derült égboltra vonatkozó emisszivitás (ε_{cs}) parametrizációk közül említendőek azok, melyek léghőmérséklet (T [K]) és vízgőznyomás (e [Pa]) függők, illetve melyek csak vízgőznyomás vagy csak hőmérséklet függők.

A hőmérséklet és vízgőznyomás alapú parametrizációk a következők:

Brutsaert (1975):

$$\varepsilon_{cs} = 0,6684 \cdot \frac{1}{10} \cdot [Pa^{-\frac{1}{10}}] \cdot \left(\frac{e}{T}\right)^{\frac{1}{10}}, \quad (1.1)$$

Satterlund (1979):

$$\varepsilon_{cs} = 0,7396 \cdot (1 - \exp \cdot (-e[Pa^{-1}] \cdot \frac{T}{2016[K]})), \quad (1.2)$$

Konzelmann et al. (1994):

$$\varepsilon_{cs} = 0,23 + 0,4393 \cdot [K^{\frac{1}{7}} \cdot Pa^{-\frac{1}{7}}] \cdot \left(\frac{e}{T}\right)^{\frac{1}{7}} \quad (1.3)$$

és *Idso* (1981):

$$\varepsilon_{cs} = 0,70 + 0,0000595 \cdot e[Pa^{-1}] \cdot \exp\left(\frac{1500[K]}{T}\right). \quad (1.4)$$

Csak a vízgőznyomástól függő parametrizációk a következők:

Ångström (1915):

$$\varepsilon_{cs} = 0,83 - 0,18 \cdot 10^{-0,07[Pa^{-1}] \cdot e} \quad (1.5)$$

és Brunt (1932):

$$\varepsilon_{cs} = 0,51 + 0,066[Pa^{-0.5}] \cdot e^{0.5}. \quad (1.6)$$

Csak a léghőmérséklettől függő parametrizációk a következők:

Swinbank (1964):

$$\varepsilon_{cs} = 0,000009294 \cdot [K^{-2}] \cdot T^2, \quad (1.7)$$

valamint Idso and Jackson (1969):

$$\varepsilon_{cs} = 0,2811 \cdot \exp(-0,0003523[K^{-2}] \cdot (273 \cdot [K^2] - T^2)). \quad (1.8)$$

ahol σ a Stefan–Boltzmann állandó.

2.3. ε parametrizációk

A felhős égbolt emisszivitása a felhőzet és a felhőmentes égbolt emisszivitásának (ε_{cs}) függvényében alakul. E két hatást sok empirikus képlet parametrizálja, mi a következőket választottuk:

König-Langlo and Augstein (1994):

$$\varepsilon = \varepsilon_{cs} + 0,2176 \cdot N^{1,5}, \quad (2.1)$$

Konzelmann et al. (1994):

$$\varepsilon = \varepsilon_{cs} \cdot (1 - N^{1,6}) + 0,9552 \cdot N^{1,6}, \quad (2.2)$$

Maykut and Church (1973):

$$\varepsilon = \varepsilon_{cs} \cdot (1 + 0,22 \cdot N^{2,75}), \quad (2.3)$$

Crawford and Duchon (1999):

$$\varepsilon = \varepsilon_{cs} \cdot (1 - N) + N, \quad (2.4)$$

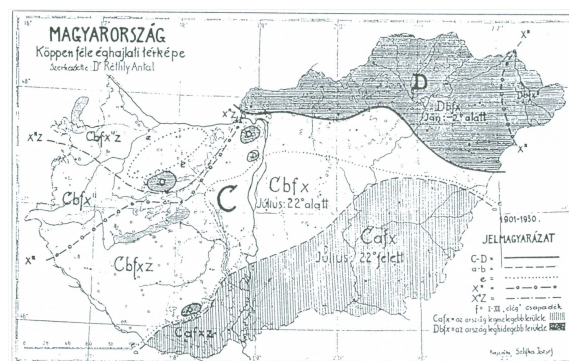
Lhomme et al. (2007):

$$\varepsilon = \varepsilon_{cs} \cdot (1,07 + 0,34 \cdot N). \quad (2.5)$$

Mint ahogy látható a felhőzethatást leíró f_N függvényeket nem írtuk le explicit módon, hanem az ε parametrizációkat a tudományos irodalomban található módon mutattuk be.

2.4. Köppen módszere

A Köppen and Geiger (1936) féle klímaosztályozási módszer az első és a mai napig is a leggyakrabban használt módszer. Biogeográfiai alapokon nyugvó és hierarchikusan felépülő módszer, azaz a biotomok területi eloszlását követő módszer. Köppen öt fő csoportot és ezekhez tartozóan összesen tizenegy klímátípust különböztet meg. Ezen klíma típusok megkülönböztetését hőmérséklet és csapadék ismeretén alapuló kritériumok alapján végezte el. A Köppen-féle klímaképletek első alkalmazását a Kárpát-medence térségében Réthly (1933) végezte el. Réthly néhány helyen módosításokat is eszközölt a módszerben, mint pl. a C és D típusú klímák határértékeiben, és további betűjelekkel bővítette az eredeti jelöléseket. Ezen megfontolásai és az ilyen típusú módosítások alapján készült el az első Köppen-féle klímaterkép a Kárpát-medence térségére, és azon belül is Magyarországra (3. ábra) vonatkozóan (Ács, F. és Breuer, H. , 2012).



3. ábra. Magyarország Réthly Antal által elkészített első Köppen-féle klímaterképe (Ács, F. és Breuer, H. , 2012).

Kárpát-medence térségében a Köppen-féle klímátípusok közül a Cfa, Cfb, Dfb, Dfc, ET klímák fordulnak elő, ezek közül a Cfb klíma a leggyakoribb (Szabó, 2017). Vizsgálatainkban mind az öt klímátípusra vonatkozó eredményeket használjuk fel.

3. Adatok

3.1. BSRN adatbázis

A sugárzási egyenleg alapvetően meghatározza a légkörben és az óceánokban lejátszódó fizikai folyamatokat és a Föld éghajlatát. A felszínre érkező irradiancia pontos ismerete kiemelt fontosságú a klímaváltozás megértésében, mivel csekély módosulása is jelentős mértékű változást idézhet elő az éghajlatban. Ezen okok miatt indította el a WCRP (World Climate Research Programme - Világ Klimatológiai Kutatási Program) a BSRN (Baseline Surface Radiation Network - Referencia Felszíni Sugárzás Hálózat) mérési programot, hogy ezáltal is segítsék a WCRP-t és a sugárzással kapcsolatos kutatási munkákat, továbbá a különböző modellek és a műholdas mérések validálását. Az adatbázist alkotó 59 állomás közül 48 folyamatosan, míg 11 időszakosan végez méréseket. Az adatbázist úgy alkották meg, hogy minél változatosabb klímájú területekről álljanak rendelkezésre az adatok, így az állomások É.sz. 80° és a D.sz. 90° közti sávban helyezkednek el. Az összes üzemben levő állomáson a sugárzási adatokat perces gyakorisággal rögzítették. Ezen felül egyes állomásokon más meteorológiai változókat (hőmérséklet, relatív nedvesség, légnyomás) is mérnek, szintén perces gyakorisággal. A felhasznált meteorológiai változók méréséhez használt műszereket az 1. táblázatban láthatjuk. Egyes állomásokon magas légköri mérések is zajlanak, melyek szintén részét képezik az adatbázisnak (WRMC-BSRN, 2004).

Állomás	Hőmérséklet és Relatív nedvesség	Légköri viaszugárzás
Chesapeake Light	Campbell CS500	Eppley PIR
Tatento	Campell HMP35C	Kipp & Zonen CGR4
Cabauw	Vaisala HMP230	Kipp & Zonen CGR4
Cener	Campell HMP35C	Kipp & Zonen CGR4
Palaiseau	Campell HMP35C	Eppley PIR
Regina	Vaisala HMP230	Eppley PIR
Sonnblick	Campell HMP35C	Kipp & Zonen CGR4
Barrow	Campbell CS500	Eppley PIR

1. táblázat. A BSRN állomásokon használt műszerek (WRMC-BSRN, 2004).

Tanulmányunkban olyan állomásokat választottunk melyekben a T , az e , az N és az L adatsorok olyan klímákkal rendelkező területekről, származnak, melyek megtalálhatók a Kárpát-medencében is. Ezen feltételeket a 2. táblázatban található állomások teljesítik.

Állomás neve	Helyszín	Hosszúság [°]	Szélesség [°]	Tengerszint feletti magasság [m]
A Cfa klímával rendelkező állomások				
Chesapeake Light	Észak Atlanti-óceán	36,9050°	-75,7130°	37 m
Tatento	Japán	36,0581 °	140,1258°	25 m
A Cfb klímával rendelkező állomások				
Cabauw	Hollandia	51,9711°	4,9267°	0 m
Cener	Spanyolország	42,8160°	-1,6010°	471 m
Palaiseau	Franciaország	48,7130°	2,2080°	156 m
A Dfb klímával rendelkező állomás				
Regina	Kanada	50,2050°	-104,7130°	578 m
A Dfc klímával rendelkező állomás				
Sonnblick	Ausztria	47,0540°	12,9577°	3108,9 m
A ET klímával rendelkező állomás				
Barrow	Alaszka	71,3230°	-156,6070°	8 m

2. táblázat. A vizsgálatok során használt állomások listája (WRMC-BSRN, 2004).

A felhasznált meteorológiai változók (T , e , L) napi átlagait perces mérési eredményekből állítottuk elő, mivel a CarpatClim adatbázisban (Spinoni *et al.*, 2015) is ezen változók napi átlagai állnak rendelkezésre. Elemzéseinkben 8 ε_{cs} és 5 f_N parametrizációt használtunk kombinálva, így összesen 40 ε parametrizációt vizsgáltunk mérési eredményekkel összevetve.

3.2. ERA5 adatok

Az ECMWF legújabb és egyben legmodernebb produktuma a 2017 nyarán részlegesen megjelent, ötödik generációs globális meteorológiai reanalízise az ERA5. A jelenleg elérhető ERA5 adatbázis a 2010–napjainkig tartó időszakra vonatkozik, globálisan 31 x 31 km-es horizontális felbontású, emellett 137 vertikális szinttel rendelkezik, és a legfelsőbb szint továbbra is a 0,01 hPa-os szint. A korábbi reanalízis adatbázis, az ERA-Interim 0,75° felbontáshoz képest finomabb horizontális és vertikális felbontású rácspontjaira itt már órás gyakoriságú adatok is elérhetők. Továbbá rendelkezésre állnak a légkör és a felszín állapotát jellemző változók értékei a szinoptikus főterminusokban, valamint napi és havi

átlagaik (ERA5, 2016).

Felhőzet esetén órás értékekkel dolgoztunk. Mivel a WRMC-BSRN (2004) adatbázisban felhőzet nincs és mivel a CarpatClim adatbázisban (Spinoni et al., 2015) a meteorológiai változók naponta állnak rendelkezésre így, a hiányzó felhőzet adatokat az ERA5-ből pótoltuk, úgy, hogy a felhőzet napi értékeit az órás értékek átlagolásával nyertük. Az ERA5-ben a felhőzetre vonatkozó számítási séma - az előző verziókhoz képest - hat prognosztikai változót használ. Azt, hogy az adott rácspontban mekkora a felhőzet, azaz, a borítottság az alábbi módon becsülték (ECMWF, 2016):

$$a = \frac{1}{V} \int_V \delta dV, \quad \delta = \begin{cases} 1, & \text{felhőzet esetén} \\ 0, & \text{felhőzet nélküli esetben} \end{cases} \quad (3.1)$$

a : a rácspont borítottsága,

V : a szemlélt térfogatelem.

Azt, hogy a felhőzet miként változik az időben, az alábbi egyenlet írja le (ECMWF, 2016)

$$\frac{\partial a}{\partial t} = A(a) + \delta a_{conv} + \delta a_{strat} + \delta a_{evap} \quad (3.2)$$

δa_{conv} : a konvekció hatását jellemző részfelhőzet,

δa_{strat} : a sztratiform felhőképződés részfelhőzete,

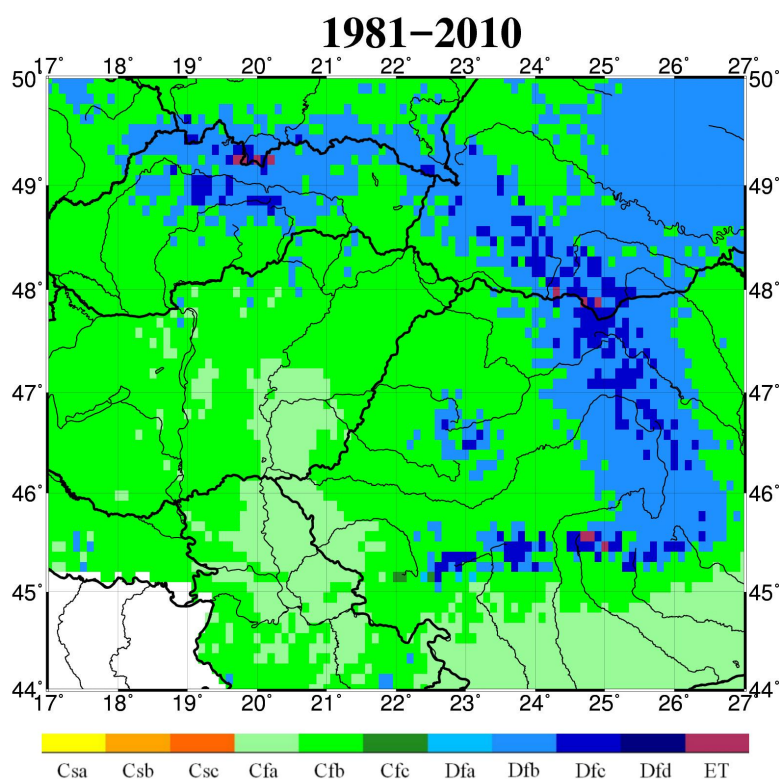
δa_{evap} : az evaporáció hatását jellemző részfelhőzet és

$A(a)$: az advektív hatáshoz kapcsolódó részfelhőzet.

A felsorolt részfelhőzeteket minden esetben összetett mikrofizikai modellek alapján határozzák meg.

4. Eredmények

Vizsgálatunkban olyan mérőállomásokat kerestünk, melyek rendelkeztek felszínközeli hőmérséklet (T), parciális vízgőz-nyomás (e) és légköri viaszasugárzás (L) idősorokkal, és amelyek klímái megegyeztek vagy igen hasonlók voltak a Kárpát-medencében található klímákkal. A felhőborítottságot (N) az ERA5 (ERA5, 2016) adatbázisból vettük. A klímák megegyezését, vagy hasonlóságát Köppen (Köppen and Geiger, 1936) módszere alapján becsültük. A Kárpát-medence területén előforduló Köppen-féle klímátípusokat a 4. ábrán láthatjuk.



4. ábra. A Kárpát-medence éghajlat típusai Köppen alapján (Köppen and Geiger, 1936) az 1981–2010 időszakban (Szabó, 2017).

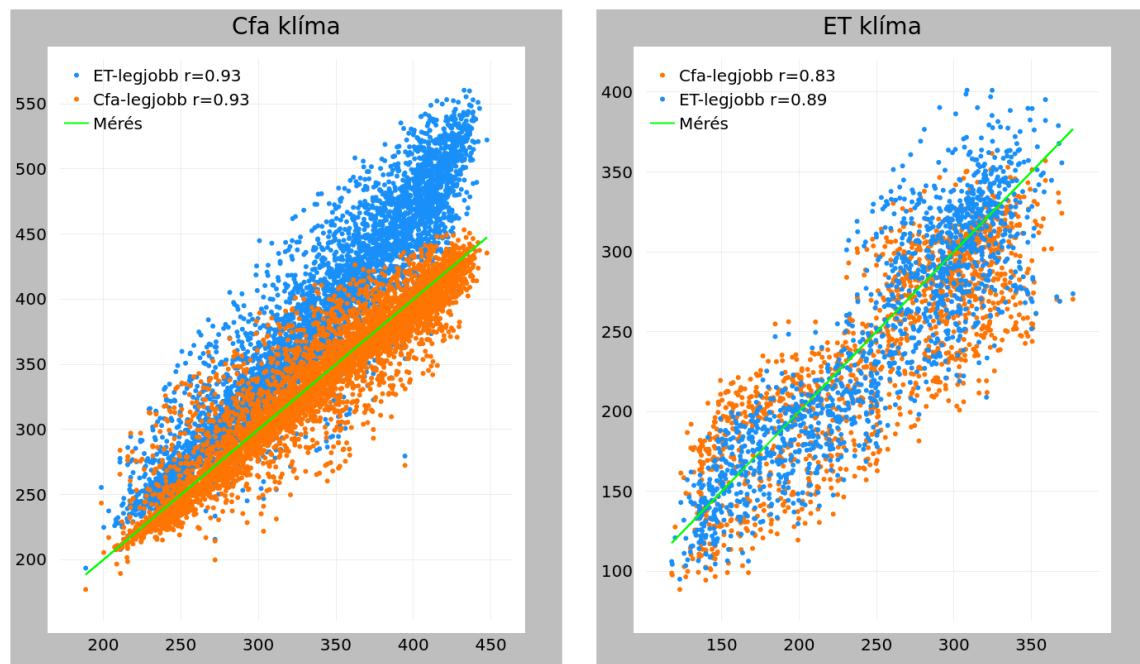
Ahogy a 4. ábra is mutatja, a Cfb, Dfb, Cfa, Dfc és az ET klímák jellemzik Kárpát-medencét. E klímátípusokra minden esetben elvégeztük a vizsgálatokat a rendelkezésre álló adatok függvényében. Az elemzéseket minden esetben a perces mérésekből becsült (e , T , L légköri változók) napi átlagokkal végeztük el, míg a felhőzet esetében az órás értékekből számítottuk a napi átlagokat. Az állomások részletesebb adatait a 2. táblázatban láthatjuk.

A továbbiakban – a klímaspecifikus megfontolás magyarázatát követően – az adott

klímákra megállapított legjobb parametrizációk szerint csoportosítva mutatjuk be az eredményeket. A parametrizációkat a statisztikai mutatóik alapján hasonlítottuk össze, és rangsoroltuk jószáguk szerint.

4.1. A klímaspecifikus megfontolás

Dolgozatunk célja – a CarpatClim adatbázis fejlesztése mellett – a következő kérdés megválaszolása: változhatnak-e az ε parametrizációk klímától klímáig, azaz, klímátípus függők-e? E kérdésre a választ úgy kerestük, hogy a különböző parametrizációk összes lehetséges kombinációi által előállított összefüggésekre elvégeztük a számításokat mind az öt klímára külön-külön. Így, minden egyes klímára kerestük azt a kombinációt, amely legjobban követi a légköri visszasugárzás változását. Az adott klímátípusokra és időszakokra vonatkozó állomások méréseit teljes adatsorként kezeltük (2. táblázat). A számításokat a meteorológiai elemek napi értékeivel végeztük. Az ε parametrizációk klímaspecifikusságáról az ET és a Cfa klímákra kapott L -értékek összehasonlításával győződhetünk meg.

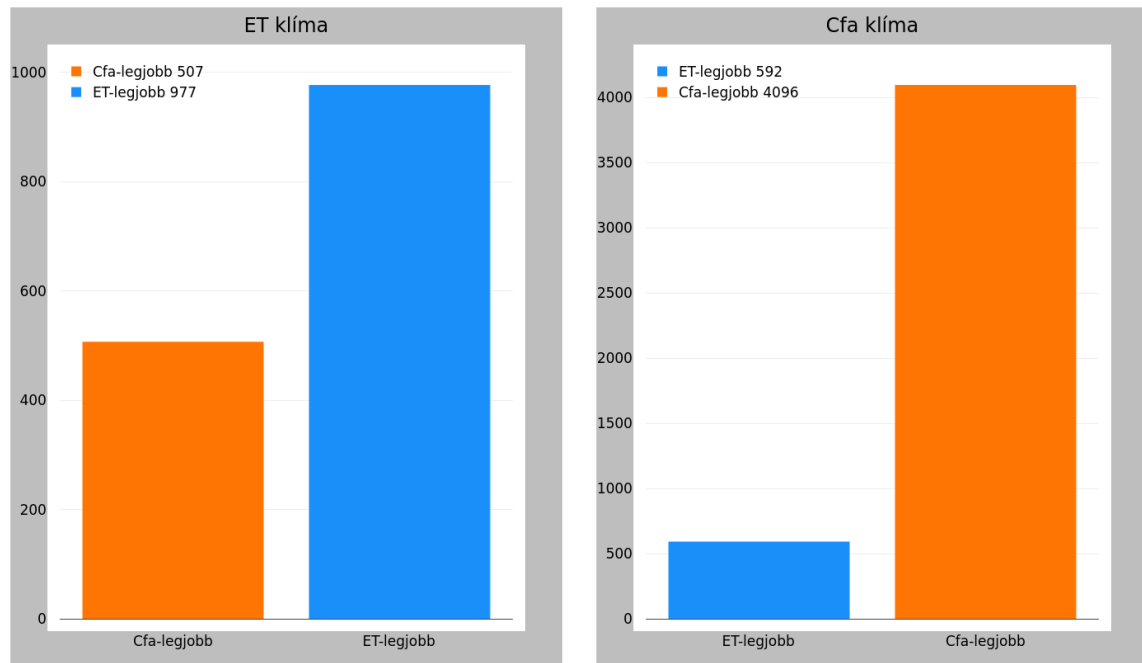


(a) Cfa klíma

(b) ET klíma

5. ábra. Az ET-specifikus 2.5-2.2 és a Cfa-specifikus 2.2-1.3 ε parametrizációkkal kapott légköri visszasugárzás értékek pontdiagramja a Cfa és az ET klímákra külön-külön. Az x és y tengelyeken a légköri visszasugárzás $\frac{W}{m^2}$ -ben kifejezett értékei láthatók.

Ugyanis az ET-specifikus és a Cfa-specifikus ε parametrizációkkal kapott légköri visszasugárzás értékek észrevehetően elkülönülnek. Ahogyan az 5/a. ábrán is láthatjuk, a Cfa klíma esetében (bal oldali ábra) jól látható módon a 2.5-2.2 képletekkel kapott L -értékek határozottan felülbecsültek (ez az 1:1-es egyeneshez viszonyítottan egyértelműen látszik), míg a 2.2-2.2 parametrizációkkal kapott L -értékek megegyezése az 1:1-es egyenessel sokkal jobb, mint az előbbi esetben. A korrelációs együttható tekintetében nincs lényegi eltérés a két eset között. Az ET klíma esetén (5/b. ábra) a 2.5-1.3 képletekkel kapott L -értékek (narancssárga pontok) szemmel láthatóan jobban illeszkednek az 1:1-es egyeneshez, mint a 2.2-2.2 összefüggés alkalmazása esetén (kék pontok). A korrelációs értékeket illetően, a 2.5-1.3 összefüggés adta a jobb eredményt.



(a) ET klíma

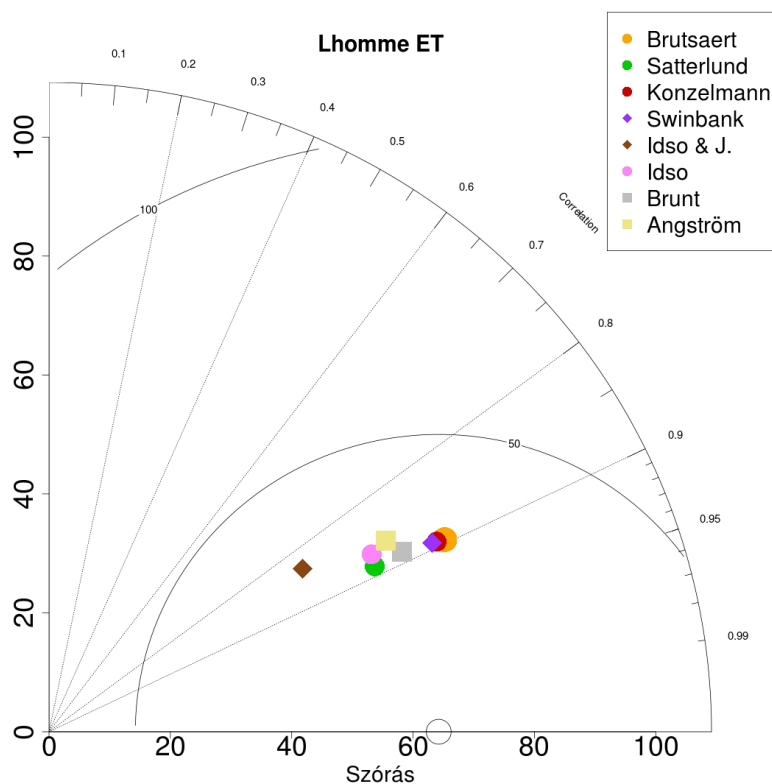
(b) Cfa klíma

6. ábra. A klímaspecifikus parametrizációkkal számított légköri visszasugárzás mérésektől vett eltérések abszolút értékeinek gyakorisága (a) az ET és (b) a Cfa klímákban. Barrow a mérési helyszín az ET klímában; Tatento és Chesapeake Light a mérési helyszínek a Cfa klímában.

Látható, hogy az ET klíma-specifikus parametrizációval kapott L -értékek jósága (a parametrizált és a mért értékek közötti abszolút eltérések nagysága) az ET klímában markánsan nagyobb (6/a. ábra), a kisebb abszolút eltérések gyakorisága, mint a Cfa klímában. Ugyanez megállapítható fordítva is, azaz, a Cfa klíma-specifikus parametrizációval kapott L -értékek jósága a Cfa klímákban határozottan jobb (6/b. ábra).

4.2. ET-klíma

A következőkben kizárólag az ET klímás vizsgálatokat mutatjuk be, amelyekben *Lhomme et al.* (2007) borult égboltra vonatkozó parametrizációja a derült égboltra vonatkozó parametrizációkkal (színes négyzetek csak az e -től, körök az e -től és a T -től, a rombuszok csak T -től való függést szemléltetik) kombináltan kapott eredményeket láthatjuk, ezeket a Taylor diagramon (*Taylor, 2001*) hasonlítottuk össze (7. ábra). A diagram szemlélteti a referenciaként használt mért és számított L -értékek szórását, négyzetes hibáját és a mérésekhez való illeszkedésének korrelációs együtthatóját (ezentúl korreláció). Ezen statisztikai mutatók alapján értékelhetjük a különböző parametrizációk jóságát. A diagramon a függőleges tengellyel bezárt szög a korrelációs együttható értékét mutatja, míg a vízszintes tengelyen látható üres karika (referencia érték) körüli körök a négyzetes hibát jelzik. Az x és az y tengelyek a szórások arányát szemléltetik. A jelölések a derült égboltra vonatkozó emisszivitás-parametrizációkra utalnak.



7. ábra. A *Lhomme et al.* (2007) 2.5-féle f_N parametrizációval és a különböző ε_{cs} -parametrizációkkal kapott légköri visszasugárzás értékek pontosságát jellemző statisztikai mutatók Taylor diagramja.

Mivel *Lhomme et al.* (2007) képlete a (2.5) parametrizációval adta a legjobb kombinációt,

csak ezen képlet-kombinációval kapott eredményeket ismertetem. Ahogy azt a 7. ábrán láthatjuk, a korrelációs értékek 0,9 körüliek, a négyzetes hibát és a szórásat illetően az 1.3, az 1.7, az 1.1 összefüggései emelendők ki. Ezen parametrizációkra vonatkozó statisztikai változókat a 3. táblázatban láthatjuk. Korrelációs együtthatók szempontjából – ahogy a 7. ábrán láthattuk – nem tudunk különbséget tenni a parametrizációk között. A 2.5-1.6 képlet kombináció esetén a kapott szórás megegyezése a mérés szórásával a legjobb, azonban az alsó kvartilis (adatok 25%-a) kb. $20 \frac{W}{m^2}$ -rel, a felső kvartilis (adatok 75%-a) kb. $15 \frac{W}{m^2}$ -rel, a medián kb. $30 \frac{W}{m^2}$ -rel kisebb, mint a mért értékek ezen tulajdonságai. Ebből következik az is, hogy az interkvartilis terjedelem (a felső és az alsó kvartilis közti intervallum, ebbe a tartományba esik az értékek 50%-a) is lejjebb van, mint mért értékek esetében, ami a 11. ábrán is látható. Ha az 1.7, az 1.3 és az 1.1 képleteket vizsgáljuk, láthatjuk, hogy kb. $5 \frac{W}{m^2}$ -es eltérés mutatkozik közöttük, továbbá, hogy az 1.7 kevésbé jó egyezést mutat az 1.3 és az 1.1 képletekhez képest. Az utóbbi két parametrizáció igen hasonló eredményeket ($1-3 \frac{W}{m^2}$ -es különbségek) ad, ez a képletek hasonlóságára vezethető vissza (csak a paraméter-értékekben különböznek). Summázva: az ET klímában e két parametrizáció adta a legjobb eredményeket *Lhomme et al.* (2007)-képletével kombinálva. Ha választanunk kellene a kettő közül, akkor a 2.5-1.3 parametrizációja mellett döntenénk, mivel – eltekintve a minimum értéktől – jobb mutatókkal rendelkezik.

ET klíma							
Parametrizáció	min. $\left[\frac{W}{m^2}\right]$	AK $\left[\frac{W}{m^2}\right]$	medián $\left[\frac{W}{m^2}\right]$	FK $\left[\frac{W}{m^2}\right]$	max. $\left[\frac{W}{m^2}\right]$	σ $\left[\frac{W}{m^2}\right]$	R
Mérés	117,6	193,76	261,71	304,43	376,88	64,25	-
2.5-1.3	94,95	184,9	248,57	308,75	401,18	71,45	0,89
2.5-1.1	91,08	183,01	248,33	309,23	402,37	72,81	0,89
2.5-1.7	94	180,64	244,4	303,12	405,9	70,73	0,89
2.5-1.6	97,97	173,75	229,91	287,42	386	65,58	0,89

3. táblázat. A *Lhomme et al.* (2007) 2.5-féle f_N parametrizációval és a különböző ε_{cs} parametrizációkkal kapott légköri viaszszugárzás értékek pontosságát jellemző statisztikai mutatók (ahol: min: minimum; AK: alsó kvartilis; FK: felső kvartilis; max: maximum; σ : szórás; R: korreláció). Pirossal, a legjobbnak ítélt parametrizáció kombináció van kijelölve.

4.3. Cf és Df klímák

A következőkben a Cfa, Cfb, Dfb, Dfa klímákra végzett vizsgálati eredményeket ismertetjük. Mivel mind a négy klímában ugyan az a parametrizáció-kombináció bizonyult a legjobbnak, a kapott eredményeket együtt taglaljuk. Mint ahogy az ET klíma esetében tettük, itt is a legjobb borult égboltra vonatkozó parametrizációt választottuk ki. Ez esetben a *Konzelmann et al.* (1994) képlete volt. Majd a Taylor diagramok (*Taylor, 2001*) segítségével tovább szűkítettük a derült égboltra vonatkozó parametrizációk választékát, majd ezen parametrizációk statisztikai mutatóit ismertetjük.

4.3.1. Cfa és Cfb klímák

A Taylor-diagramok alapján a Cfa és a Cfb klímák esetében is öt parametrizációt vizsgáltunk. A parametrizációkat a 8. (Cfa) és a 4. (Cfb) táblázatokban láthatjuk. Mindkét klíma esetében a parametrizációkkal kapott eredmények hasonlóak. Megfigyelhető, hogy az 1.6 képlettel kapott minimum és alsó kvartilis kisebb, továbbá az interkvartilis terjedelme nagyobb, mint a mért értékek ezen mutatói. *Idso* (1981) 1.4-összefüggése esetén a minimum érték és felső kvartilis nagyobb, mint a mért értékek esetében, továbbá a korrelációs együtthatója a legkisebb. Az 1.1, az 1.3 és az 1.7 parametrizációkkal kapott eredmények között már nagyon kicsik a különbségek, mint ahogy az ET klíma esetében is. A Cfb klíma esetén *Swinbank* (1964) 1.7 képletével kapott L -értékek maximuma és minimuma nagyobb, mint a mérések esetében, valamint az 1.1 és az 1.3 képletek alkalmazása esetében. A Cfa klíma esetében a parametrizációk közötti különbségek $1-2 \frac{W}{m^2}$ -en belül vannak. Mivel a borult égboltra vonatkozó legjobb parametrizáció *Konzelmann et al.* (1994) nevéhez fűződik, ezért a derült égboltra vonatkozó *Konzelmann et al.* (1994)-féle ϵ_{cs} parametrizációt választottam a lehetőségek közül.

4.3.2. Dfb és Dfc klímák

A Dfb és a Dfc klímák esetén is már a fentiekben említett módszertant alkalmazva választottuk a 2.2-1.3 parametrizáció-kombinációt (a statisztikák alapján készült Box-plot diagramok Dfb klíma esetén a 14., Dfc klíma esetén a 16. ábrákon láthatók). Kiemelendő, hogy a Dfb klíma esetén volt legkevesebb adat (egy állomásra és 2 éves időszakra vonatkozó adatok), ezért ezen eredmények óvatosabban kezelendők. Továbbá a Dfc klíma esetében a becslések a legpontatlanabbak, ez a korrelációs együttható értékéből (0,83) és a szórásokból is látható. Ezen bizonytalanságok az állomáson uralkodó extrém viszonyokra vezethetők vissza, mivel a Sonnblick (2) állomás magassága 3108,9 m.

Cfb klíma							
Parametrizációk	min. $\left[\frac{W}{m^2}\right]$	AK $\left[\frac{W}{m^2}\right]$	medián $\left[\frac{W}{m^2}\right]$	FK $\left[\frac{W}{m^2}\right]$	max. $\left[\frac{W}{m^2}\right]$	σ $\left[\frac{W}{m^2}\right]$	R
Mérés	227,41	299,65	325,02	347,87	405,83	35,4	-
2.2-1.3	227,19	301,7	327,2	351,37	424,15	36,26	0,88
2.2-1.1	227,37	301,94	327,52	351,7	424,31	36,24	0,88
2.2-1.7	223,9	301,02	327,73	352,43	427,33	37,62	0,87
2.2-1.6	214,81	295,09	322,87	348,65	424,57	39,38	0,88
2.2-1.4	225,96	298,39	323,11	346,8	417,83	39,38	0,86

4. táblázat. A *Konzelmann et al.* (1994) 2.2-féle f_N parametrizációval és a különböző ϵ_{cs} -parametrizációkkal kapott légköri viaszugárzás értékek pontosságát jellemző statisztikai mutatók (ahol: min: minimum; AK: alsó kvartilis; FK: felső kvartilis; max: maximum; σ : szórás; R: korreláció). Pirossal, a legjobbnak ítélt parametrizáció kombináció van kijelölve.

Dfc klíma							
Parametrizáció	min. $\left[\frac{W}{m^2}\right]$	AK $\left[\frac{W}{m^2}\right]$	medián $\left[\frac{W}{m^2}\right]$	FK $\left[\frac{W}{m^2}\right]$	max. $\left[\frac{W}{m^2}\right]$	σ $\left[\frac{W}{m^2}\right]$	R
Mérés	121,4	218,7	255,95	290,21	341,89	45,7	-
2.2-1.3	157,44	230,01	258,64	280,8	333,23	33,39	0,83
2.2-1.1	155,41	230,11	258,64	281	333,3	33,6	0,83
2.2-1.7	163,12	228,61	256,68	279,72	333	32,69	0,81
2.2-1.6	143,14	222,72	251,7	277,1	331,76	36,17	0,83
2.2-1.4	180,66	236,14	259,37	280,66	332,61	27,97	0,8

5. táblázat. A *Konzelmann et al.* (1994) 2.2-féle f_N parametrizációval és a különböző ϵ_{cs} -parametrizációkkal kapott légköri viaszugárzás értékek pontosságát jellemző statisztikai mutatók (ahol: min: minimum ; AK: alsó kvartilis; FK: felső kvartilis; max: maximum; σ : szórás; R: korreláció). Pirossal, a legjobbnak ítélt parametrizáció kombináció van kijelölve.

4.4. A helyszínspecifikus paraméter-értékek meghatározása

Ahogy azt a 4.1-es fejezetben láthattuk, van értelme klíma-specifikus parametrizációkat keresni. Ezen megállapítás arra motivált, hogy a kiválasztott klíma-specifikus összefüggéseket tovább finomítsam paraméter értékeik vonatkozásában. A paraméter értékeket a négyzetes hibák minimalizálása alapján becsültem. Így az adott klímára és helyszínre optimalizált képletet és paraméter értékeket határoztam meg.

Mint ahogy már az előzőekben láthattuk, a Cfa, Cfb, Dfb, Dfc klímákra a 2.2-1.3 képlet kombináció bizonyult a legjobbnak. A 3.1 képletben szereplő a , b , c , m paraméter-értékek a 6. táblázatban láthatók. Az ET klíma esetén a 3.2 képletben szereplő paraméter értékek szintén a 6. táblázatban találhatók meg.

Klíma	a	b	c	m
Cfa	0,489	0,93	2,2	0,209
Cfb	0,379	0,93	1,7	0,319
Dfb	$5,9 \cdot 10^{-2}$	0,909	2,6	0,689
Dfc	0,639	0,959	1,7	0
ET	$9,9 \cdot 10^{-2}$	$9,9 \cdot 10^{-3}$	3,29	1,7

6. táblázat. A különböző klímákra kapott új paraméter értékek.

A Cfa, Cfb, Dfb, Dfc klímákra kapott legjobb parametrizáció-kombináció a

$$\varepsilon = [m + a \cdot \left(\frac{e}{T}\right)^{\frac{1}{7}}] \cdot (1 - N^c) + b \cdot N^c. \quad (3.1)$$

Az ET klímára kapott legjobb parametrizáció-kombináció a

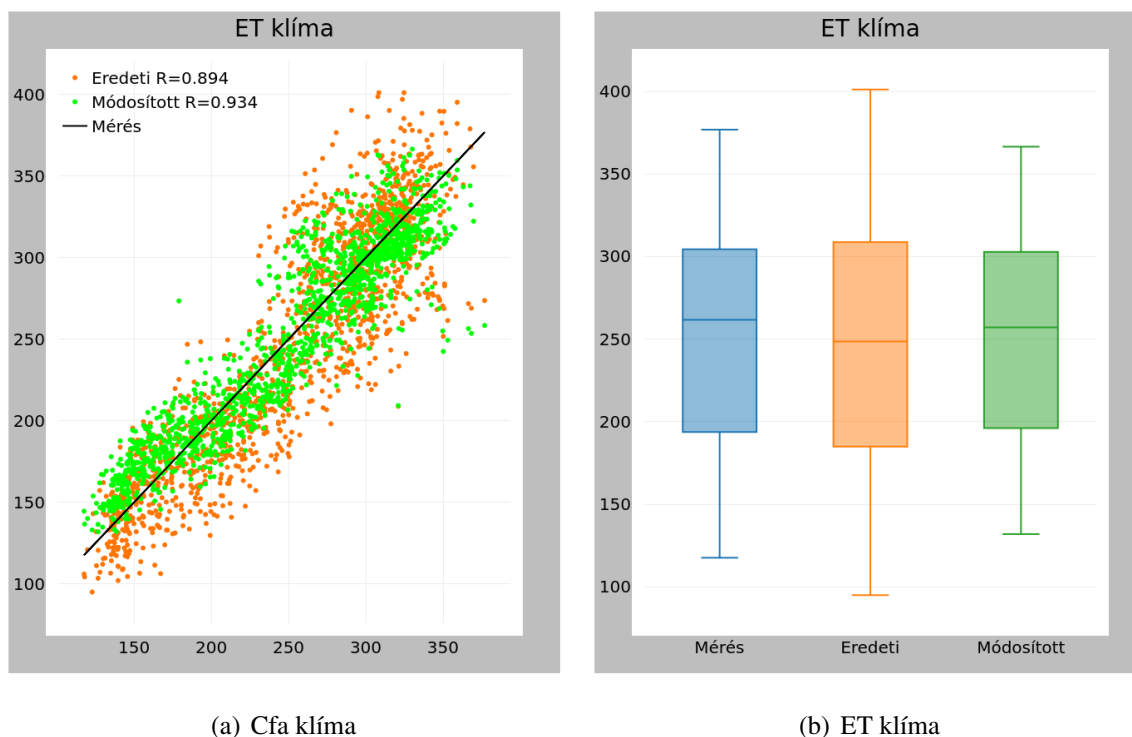
$$\varepsilon = [m + a \cdot \left(\frac{e}{T}\right)^{\frac{1}{7}}] \cdot (c + b \cdot N). \quad (3.2)$$

A minden egyes klímára külön-külön elvégzett számítások eredményeit a 7. táblázat szemlélteti. Itt az eredeti és a módosított paraméter értékekkel kapott statisztikai eredményeket is feltüntettük. Összességében elmondható, hogy minden klíma esetén javítottunk a parametrizáció jóságán. A Cfb és Dfc klímák esetén a parametrizációk szórásai jobban megközelítették a mérések szórását. Megemlítendő, hogy a Dfc klíma esetén állt rendelkezésre a legkisebb adatsor, így a kapott eredmények fenntartásokkal kezelendők. Továbbá érdekes, hogy a kapott új paraméter-értékek (6. táblázat) szinte teljesen megegyeznek *Brutsaert (1975)-Konzelmann et al. (1994)* 1.1-1.3 parametrizáció kombinációjában szereplő paraméter-értékekkel (a legnagyobb eltérés a c értékében látható, 1,6 helyett 1,7 lett). A Dfb klíma esetén azonban a szórás mellett az RMSE érték is $4-5 \frac{W}{m^2}$ -rel pontosabb lett. A Cfa és az ET klímákban a σ és az RMSE értékek mellett a korrelációs együtthatók is jobbak lettek. Kiemelendő, hogy ezen két klíma esetén mind a három statisztikai mutató javult a legnagyobb mértékben. Ezek közül is az ET klímára kapott eredmények javulása a legszembetűnőbb.

Klíma	Cfa	Cfb	Dfb	Dfc	ET
RMSE Módosított	19,257	17,031	20,217	25,073	23,028
RMSE Eredeti	21,470	17,883	24,127	26,065	32,223
R Módosított	0,945	0,879	0,919	0,837	0,934
R Eredeti	0,933	0,878	0,917	0,830	0,894
σ Mérés $[\frac{W}{m^2}]$	58,903	35,043	51,196	45,699	64,251
σ Módosított $[\frac{W}{m^2}]$	56,499	33,968	47,474	36,778	58,879
σ Eredeti $[\frac{W}{m^2}]$	58,261	36,261	56,648	33,389	71,447
Box-plot diagram	20/a. ábra	20/b. ábra	20/c. ábra	20/d. ábra	8/b. ábra

7. táblázat. Az új és a régi paraméter értékekkel kapott statisztikai mutatók ahol: RMSE= a parametrizált és a valós értékek közötti átlagos négyzetes eltérés, σ = szórás, R = korreláció.

Az új ET klímára vonatkozó paraméterek alapján készült pontdiagramot és box-plot diagramokat a 8. ábrán láthatjuk.



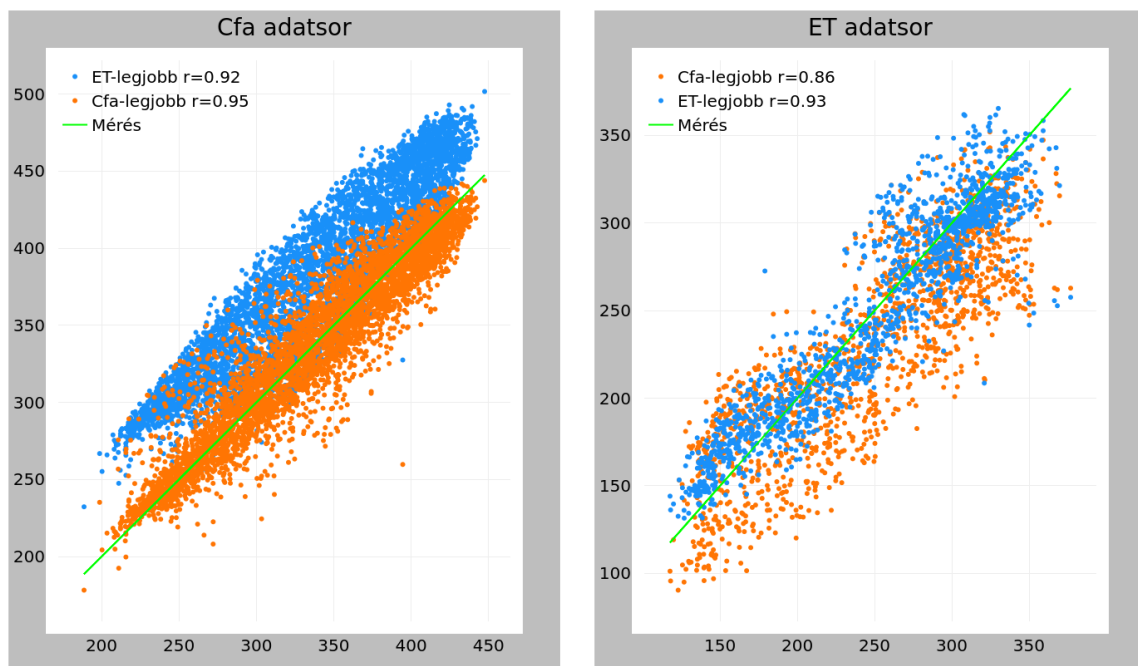
8. ábra. Az ET-specifikus 2.5-1.3 és a Cfa-specifikus 2.2-1.3 ε -parametrizációkkal kapott légköri viaszugárzás értékek Scatter-plot diagramja a Cfa és az ET klímák esetében. Az x és y tengelyeken a légköri viaszugárzás $[\frac{W}{m^2}]$ -ben kifejezett értékei láthatók.

A 8/a. ábrán látható, hogy az új parametrizáció esetén jobban illeszkednek a pontok az

1:1-es egyeneshez. Továbbá, a 8/b. ábrán pedig a felső kvartilis, az alsó kvartilis és a medián megegyezése tökéletes. Érdekesség, hogy a b paraméter a 3.2 képletben, amely az N változót szorozza, igen kis értéket vesz föl. (6. táblázat). Így, a jelentős javulásokat úgy értük el, hogy lényegében minimalizáltuk a felhőzet hatását.

A különböző klímákra vonatkozó módosított és eredeti paraméter értékekkel kapott box-plot diagramok statisztikái a 7. táblázatban láthatók. Ezeken az ábrákon látható, hogy minden esetben sikerült a felső és az alsó kvartilis értékeket, továbbá a maximum és a minimum értékeket jobbitani. E jobbítások természetesen klíma-specifikusak.

Az új paraméter értékekkel megalkotott képletek miatt ismét felmerül a 4.1-es fejezetben taglalt klíma-specifikus megfontolás. Így, ahogy az utóbb említett fejezetben, itt is a legjobb ET és Cfa klímára vonatkozó módosított paraméter értékű parametrizációkat hasonlítottuk össze. Ez esetben is, ahogy az a 9. ábrán is látható, Cfa klímára vonatkozó adatsorra (9/a. ábra) alkalmaztuk a legjobb ET (3.2. parametrizáció + 6. táblázat) és a legjobb Cfa parametrizációt (3.1. parametrizáció + 6. táblázat). Majd ugyanígy jártunk el az ET adatsor esetén is (9. ábra).

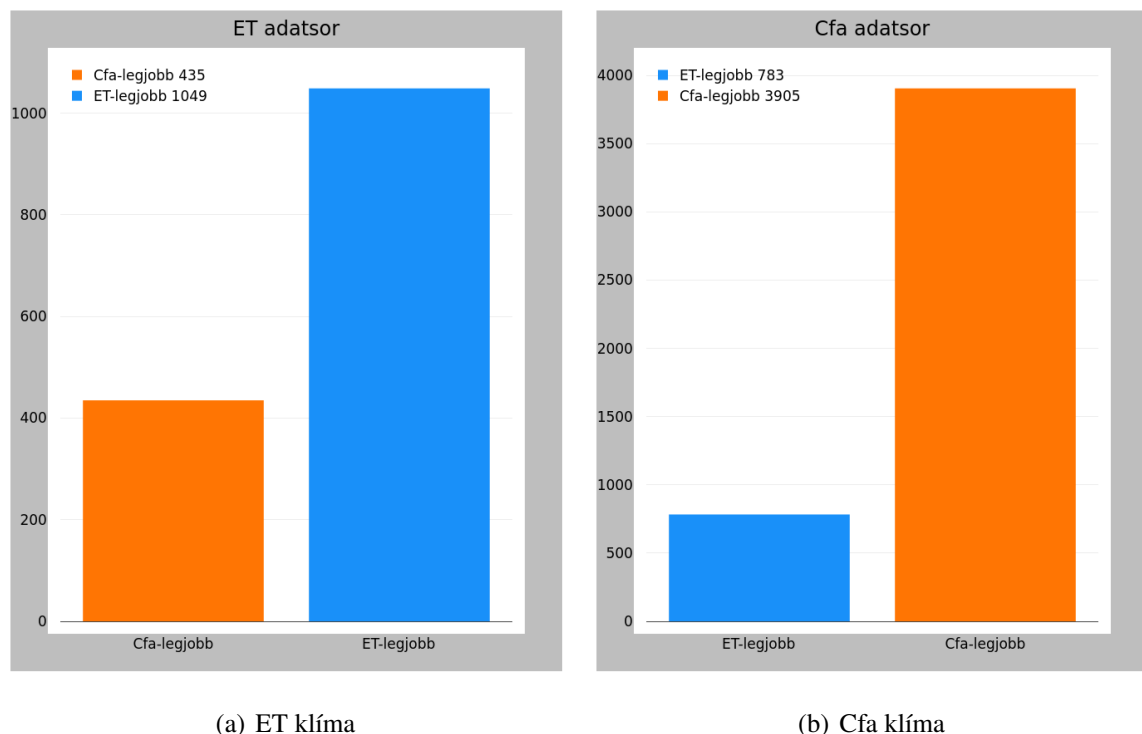


(a) Cfa klíma

(b) ET klíma

9. ábra. A módosított paraméterekkel meghatározott ET-specifikus 2.5-1.3 és a Cfa-specifikus 2.2-1.3 ε parametrizációkkal kapott légköri visszasugárzás értékek pontdiagramja a Cfa és az ET klímákra külön-külön. Az x és y tengelyeken a légköri visszasugárzás [$\frac{W}{m^2}$ -ben] kifejezett értékei láthatók.

A 9/a. ábrán látható, hogy a legjobb ET klímás parametrizáció esetén a teljes intervallumot tekintve felül becsüli a méréseket, míg az eredeti paraméterek használatakor csak a magasabb visszasugárzási értékek tekintetében tapasztaljuk, amely esetén $100 \frac{W}{m^2}$ -nél is nagyobb hibákat is kaptunk. Az új paraméter értékekkel a hiba nem haladja meg a $100 \frac{W}{m^2}$ -t, viszont állandósul az egész intervallumra vonatkozóan. Ezt az 5. ábrán láthatjuk. Megemlítendő, hogy a $350\text{--}400 \frac{W}{m^2}$ -es intervallumban a megegyezés jó. A pontok azonban a Cfa parametrizációval kapott pontfelhőtől (narancssárga pontok) nem láthatók. Ha a korrelációt hasonlítjuk össze, az ET klímára vonatkozó parametrizáció az új paraméterekkel gyengébben, míg a Cfa klímára vonatkozó parametrizáció jobban teljesít (új paraméter: 5/a. ábra, módosított: 9/a. ábra). Ha az 5/b. ábrát és a 9/b. ábrát összehasonlítjuk, akkor az ET klímára vonatkozó legjobb parametrizáció pontjai (kék) jobban illeszkednek az 1:1 egyeneshez, mint a Cfa klímára vonatkozó legjobb parametrizáció pontjai. Viszont, ha a korrelációs együtthatókat vizsgáljuk, láthatjuk, hogy az új paraméterek esetén nő a különbség a korrelációs együtthatók között (0,04-ről 0,07-re). Érdekes, hogy az új paraméter értékek, amelyeket a Cfa klíma adatsorán határoztunk meg, javulást eredményeztek a korrelációs együtthatóban az ET klíma esetén.



10. ábra. A módosított paraméterekkel meghatározott klímaspecifikus parametrizációkkal számított légköri visszasugárzás mérésektől vett legkisebb eltérések abszolút értékeinek gyakorisága az (a) ET és a (b) és a Cfa klímákban.

Megfigyelhető a 10/a. ábrán, hogy a Cfa klíma-specifikus parametrizációval kapott legkisebb abszolút eltérések gyakorisága (a parametrizált és a mért értékek közötti abszolút eltérések nagysága) értelemszerűen nagyobb a Cfa, mint az ET klímában. Ugyanez a viselkedés látható az ET klíma esetében (10/b. ábra). Ha összehasonlítjuk a 10. ábrát a 6.-al, akkor láthatjuk, hogy az ET klíma esetében növekedett az ET specifikus parametrizációval kapott pontosabb eredmények mennyisége, viszont a Cfa klíma esetén minimálisan csökkent. Ennek a csökkenésnek az oka a már említett $350\text{--}400 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ -es intervallumban tapasztalható pontosabb eredmények megnövekedése. Azonban, az is elmondható, hogy még így is hatalmas a különbség a két parametrizáció között.

Összességében elmondható, hogy a korrelációs együtthatók között mind két klíma esetén növekedtek a különbségek, továbbá az abszolút hibákat illetően az ET klímában javulás tapasztalható. A Cfa klímán látott minimális javulás ellenére is elmondható, hogy az új paraméter értékek méltán nevezhetők klíma-specifikus paraméter értékeknek, mivel a klímák közötti L -értékbeli különbségek a parametrizációk klíma-specifikusságával növekedtek.

5. Összefoglalás

Munkánk során a szakirodalomban leggyakrabban alkalmazott ε_{cs} és f_n parametrizációkat teszteltük a Kárpát-medencében előforduló klímák esetében. E klímákat a Köppen-féle klíma képletekkel jellemeztük. Így mindegy egyes klímára adtunk egy parametrizáció becslést, azaz megmutattuk, hogy *az ε parametrizációk klíma-specifikusak!*. Ezen megfontolás és eredmény motiválta bennem azt, hogy a legjobb parametrizációkat a paraméter értékek módosításával tovább pontosítsam. A paraméter értékek pontosításával a klíma-specifikusság, mint tulajdonság, még egyértelműbbé vált.

Ezen számításokat azért végeztem, hogy hozzájáruljak a CarpatClim adatbázis építéséhez, hogy a CarpatClim adatbázisban a felszín sugárzási egyenlege, mint alapvető információ rendelkezésre állhasson. A légköri viaszugárzás ismeretével számos más vizsgálatot, pl. a hegyekben történő hóolvadás folyamatának jellemzése, is kezdeményezhetünk. Így a minket körülvevő környezetet is jobban megismerhetjük mind a múltban, mind a jelenben.

További terveink között szerepel a légköri viaszugárzás területi értékeinek becslése, ahol a klíma-specifikus és módosított paraméter-értékű parametrizációk alkalmazására kerülne sor.

6. Köszönetnyilvánítás

Köszönöm témavezetőimnek dr. Ács Ferencnek és dr. Breuer Hajnalkának a sok támogatást és szakmai segítséget, amivel hozzájárultak a dolgozat elkészítéséhez, és segítették szakmai fejlődésemet.

Irodalomjegyzék

- Brunt, D. (1932). Notes on radiation in the atmosphere. i. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 58(247):389–420.
- Brutsaert, W. (1975). On a derivable formula for long-wave radiation from clear skies. *Water Resources Research*, 11(5):742–744.
- Choi, M., Jacobs, J. M., and Kustas, W. P. (2008). Assessment of clear and cloudy sky parameterizations for daily downwelling longwave radiation over different land surfaces in florida, usa. *Geophysical research letters*, 35(20).
- Crawford, T. M. and Duchon, C. E. (1999). An improved parameterization for estimating effective atmospheric emissivity for use in calculating daytime downwelling longwave radiation. *Journal of Applied Meteorology*, 38(4):474–480.
- Diak, G. R., Bland, W. L., Mecikalski, J. R., and Anderson, M. C. (2000). Satellite-based estimates of longwave radiation for agricultural applications. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103(4):349–355.
- Dilley, A. and O'Brien, D. (1998). Estimating downward clear sky long-wave irradiance at the surface from screen temperature and precipitable water. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 124(549):1391–1401.
- Duarte, H. F., Dias, N. L., and Maggiotto, S. R. (2006). Assessing daytime downward longwave radiation estimates for clear and cloudy skies in southern brazil. *Agricultural and forest meteorology*, 139(3-4):171–181.
- ECMWF (2016). *IFS Documentation: PART IV: PHYSICAL PROCESSES (Cy43r3)*. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts.
- ERA5 (2016). reanalysis is in production. *ECMWF Newsletter*, 147.
- Flerchinger, G., Xaio, W., Marks, D., Sauer, T., and Yu, Q. (2009). Comparison of algorithms for incoming atmospheric long-wave radiation. *Water Resources Research*, 45(3).
- Idso, S. B. (1981). A set of equations for full spectrum and 8-to 14- μm and 10.5-to 12.5- μm thermal radiation from cloudless skies. *Water resources research*, 17(2):295–304.
- Idso, S. B. and Jackson, R. D. (1969). Thermal radiation from the atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, 74(23):5397–5403.

- Iziomon, M. G., Mayer, H., and Matzarakis, A. (2003). Downward atmospheric longwave irradiance under clear and cloudy skies: Measurement and parameterization. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 65(10):1107–1116.
- Kiss, D., Kiss, A., and Horváth, A. (1998). *Kísérleti atomfizika*. ELTE Eötvös Kiadó.
- König-Langlo, G. and Augstein, E. (1994). Parameterization of the downward long-wave radiation at the earth's surface in polar regions. *Meteorologische zeitschrift*, NF 3, Jg. 1994, H. 6, pages 343–347.
- Konzelmann, T., van de Wal, R. S., Greuell, W., Bintanja, R., Henneken, E. A., and Abe-Ouchi, A. (1994). Parameterization of global and longwave incoming radiation for the greenland ice sheet. *Global and Planetary change*, 9(1-2):143–164.
- Köppen, W. and Geiger, R. (1936). Handbuch der klimatologie. *Gebrüder Borntraeger, Berlin*.
- Lhomme, J.-P., Vacher, J.-J., and Rocheteau, A. (2007). Estimating downward long-wave radiation on the andean altiplano. *Agricultural and Forest Meteorology*, 145(3-4):139–148.
- Liang, S., Wang, K., Zhang, X., and Wild, M. (2010). Review on estimation of land surface radiation and energy budgets from ground measurement, remote sensing and model simulations. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 3(3):225–240.
- Liou, K.-N. (2002). *An introduction to atmospheric radiation*, volume 84. Elsevier.
- MacDonell, S., Nicholson, L., and Kinnard, C. (2013). Parameterisation of incoming longwave radiation over glacier surfaces in the semiarid andes of chile. *Theoretical and applied climatology*, 111(3-4):513–528.
- Maykut, G. A. and Church, P. E. (1973). Radiation climate of barrow alaska, 1962–66. *Journal of Applied Meteorology*, 12(4):620–628.
- Ohmura, A. (2001). Physical basis for the temperature-based melt-index method. *Journal of applied meteorology*, 40(4):753–761.
- Prata, A. (1996). A new long-wave formula for estimating downward clear-sky radiation at the surface. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 122(533):1127–1151.

- Rotenberg, E., Mamane, Y., and Joseph, J. (1998). Long wave radiation regime in vegetation-parameterisations for climate research. *Environmental modelling & software*, 13(3-4):361–371.
- Réthy, A. (1933). Kísérlet magyarországi klímaterképének szerkesztésére a köppen-féle klímabeosztás értelmében. *Időjárás*, 9:105–115.
- Satterlund, D. R. (1979). An improved equation for estimating long-wave radiation from the atmosphere. *Water Resources Research*, 15(6):1649–1650.
- Sedlar, J. and Hock, R. (2009). Testing longwave radiation parameterizations under clear and overcast skies at storglaciären, sweden. *The Cryosphere*, 3(1):75–84.
- Sicart, J.-E., Pomeroy, J., Essery, R., and Bewley, D. (2006). Incoming longwave radiation to melting snow: observations, sensitivity and estimation in northern environments. *Hydrological processes*, 20(17):3697–3708.
- Spinoni, J., Szalai, S., Szentimrey, T., Lakatos, M., Bihari, Z., Nagy, A., Németh, Á., Kovács, T., Mihic, D., Dacic, M., et al. (2015). Climate of the carpathian region in the period 1961–2010: climatologies and trends of 10 variables. *International Journal of Climatology*, 35(7):1322–1341.
- Swinbank, W. C. (1964). Long-wave radiation from clear skies. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 90(386):488–493.
- Szabó, I. A. (2017). Kárpát-medence éghajlatának vizsgálata különböző éghajlat-osztályozási módszerekkel a carpatclim adatbázis alapján. Master's thesis, Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszék.
- Taylor, K. E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D7):7183–7192.
- Wang, K. and Liang, S. (2009). Global atmospheric downward longwave radiation over land surface under all-sky conditions from 1973 to 2008. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114(D19).
- Ångström, A. K. (1915). *A study of the radiation of the atmosphere : based upon observations of the nocturnal radiation during expeditions to Algeria and to California*. Smithsonian Institution.

Internetes hivatkozások

Ameriflux (1997). <http://ameriflux.ornl.gov>.

Ács, F., Breuer, H. (2012). Biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek. http://nimbus.elte.hu/~acs/pdf/OKTATAS/acs_breuer_konyv_vegleges.pdf.

WRMC-BSRN (2004). World radiation monitoring center-baseline surface radiation network. <http://bsrn.awi.de/>.

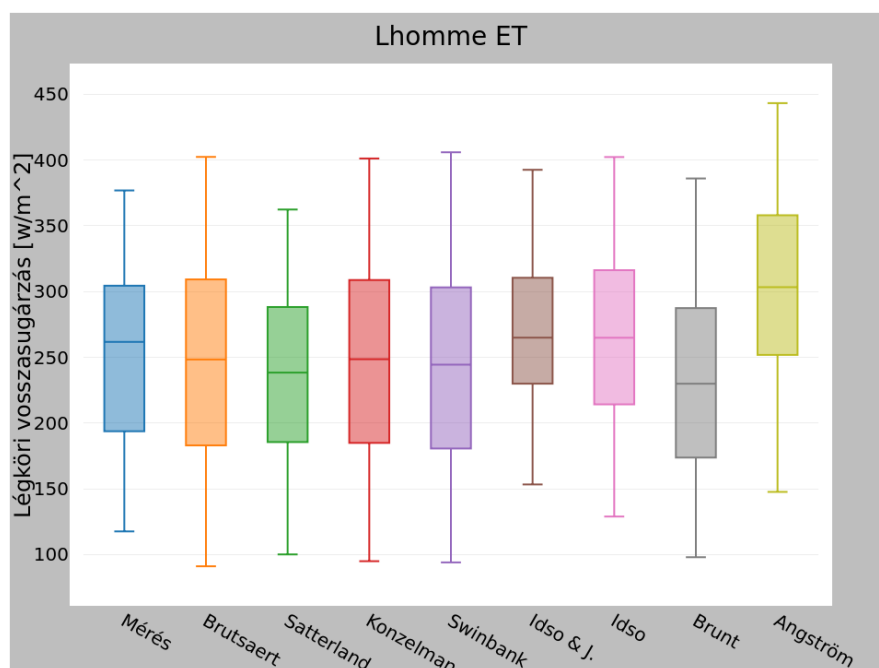
Függelék

Cfa klíma							
Parametrizáció	min. [$\frac{W}{m^2}$]	AK [$\frac{W}{m^2}$]	medián [$\frac{W}{m^2}$]	FK [$\frac{W}{m^2}$]	max. [$\frac{W}{m^2}$]	σ [$\frac{W}{m^2}$]	R
Mérés	188,65	291,096	341,67	389,35	447,42	58,9	-
2.5-1.3	177,26	290,89	341	385,87	453,24	58,26	0,93
2.5-1.1	176,02	291,5	341,57	386,15	453,25	58,23	0,93
2.5-1.7	183,29	292,18	341,2	385,5	453,34	57,38	0,93
2.5-1.6	167,47	280,78	337,58	388,6	453,45	64,8	0,93
2.5-1.4	204,03	287,36	334,1	376,18	452,94	54,28	0,91

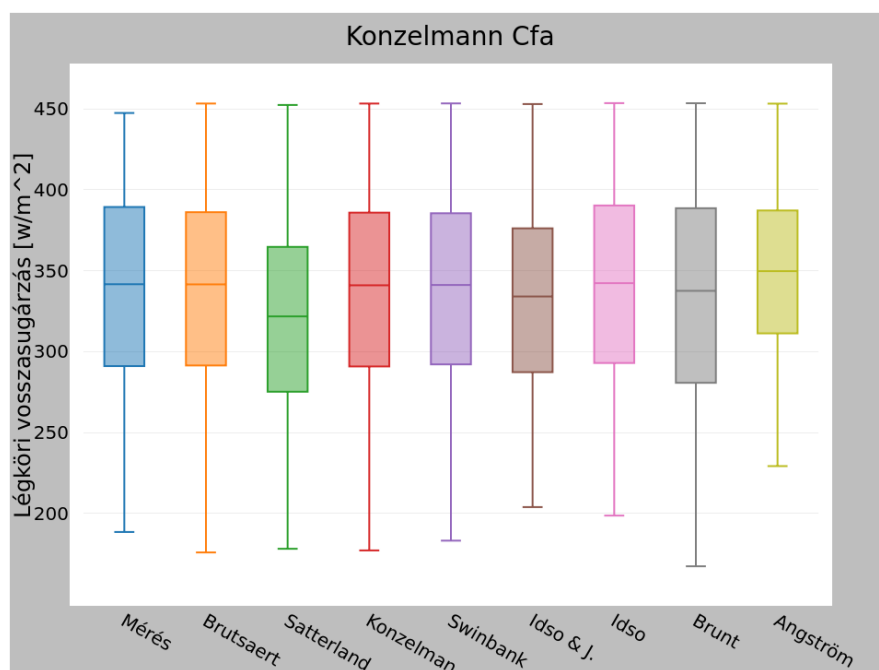
8. táblázat. A *Konzelmann et al.* (1994) 2.2-féle f_N parametrizációval és a különböző ε_{cs} -parametrizációkkal kapott légköri viaszszugárzás értékek pontosságát jellemző statisztikai mutatók táblázata. (ahol: min: minimum ; AK: alsó kvartilis; FK: felső kvartilis; max: maximum; σ : szórás; R: korreláció). Pirossal, a legjobbnak ítélt parametrizáció kombináció van kijelölve.

Dfb klíma							
Parametrizáció	min. [$\frac{W}{m^2}$]	AK [$\frac{W}{m^2}$]	medián [$\frac{W}{m^2}$]	FK [$\frac{W}{m^2}$]	max. [$\frac{W}{m^2}$]	σ [$\frac{W}{m^2}$]	R
Mérés	131,2	242,62	281,52	320,9	392,22	51,2	-
2.5-1.3	131,14	248,81	291,61	334,73	404,36	56,65	0,92
2.5-1.1	129,36	248,8	292	335,13	404,71	56,95	0,92
2.5-1.7	113,89	247,94	292,9	338,69	409,18	58,83	0,92
2.5-1.6	113,44	241,14	284,28	329,22	404,72	58,12	0,91
2.5-1.4	159,72	251,2	289,68	330,5	398,2	50,52	0,91

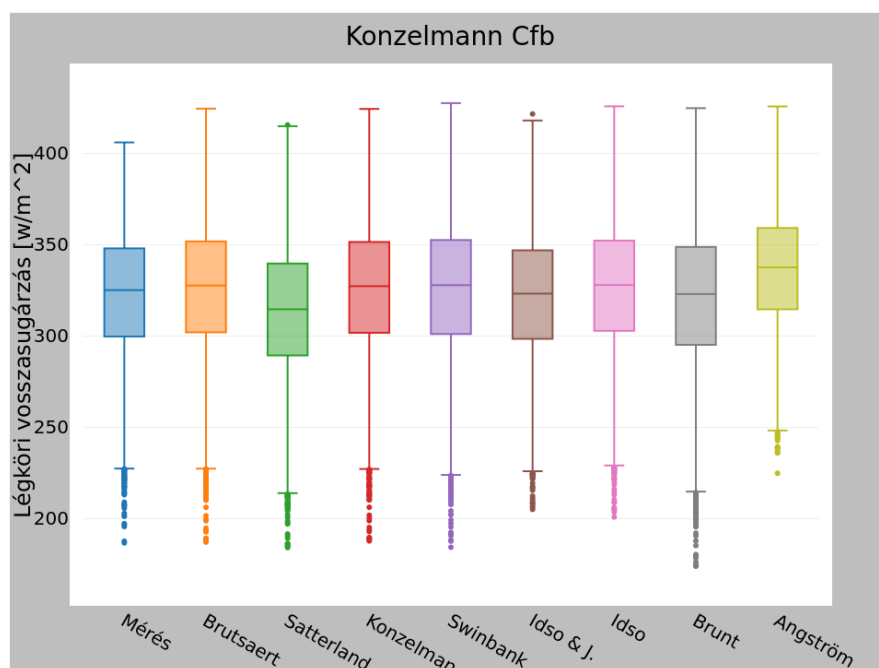
9. táblázat. A *Konzelmann et al.* (1994) 2.2-féle f_N parametrizációval és a különböző ε_{cs} -parametrizációkkal kapott légköri viaszszugárzás értékek pontosságát jellemző statisztikai mutatók táblázata. (ahol: min: minimum ; AK: alsó kvartilis; FK: felső kvartilis; max: maximum; σ : szórás; R: korreláció). Pirossal, a legjobbnak ítélt parametrizáció kombináció van kijelölve.



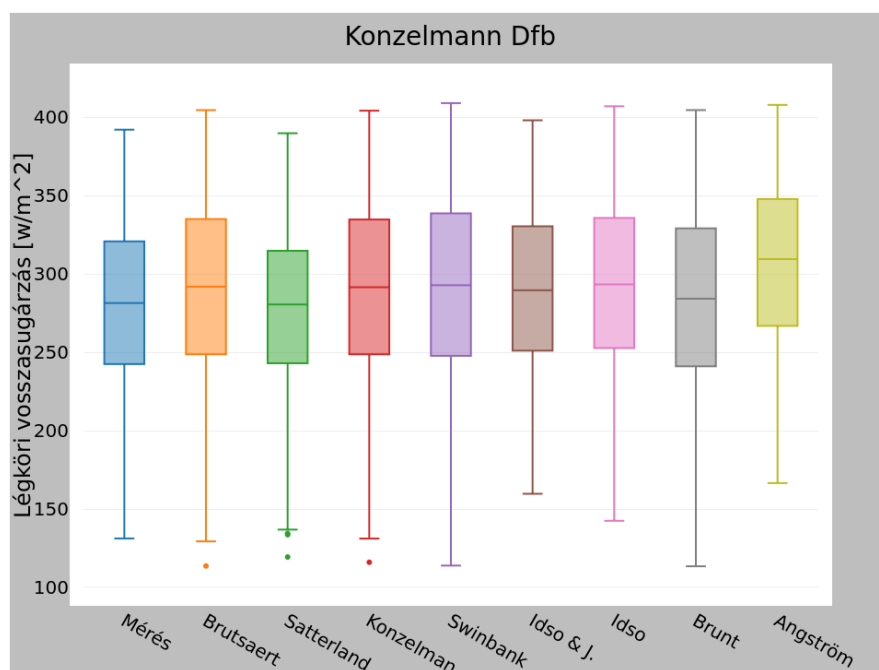
11. ábra. A $2.5 f_N$ parametrizációval és a különböző ϵ_{CS} -parametrizációkkal kapott légköri visszasugárzás értékek pontosságát jellemző statisztikai mutatók Box-Whisker diagram az ET klímában.



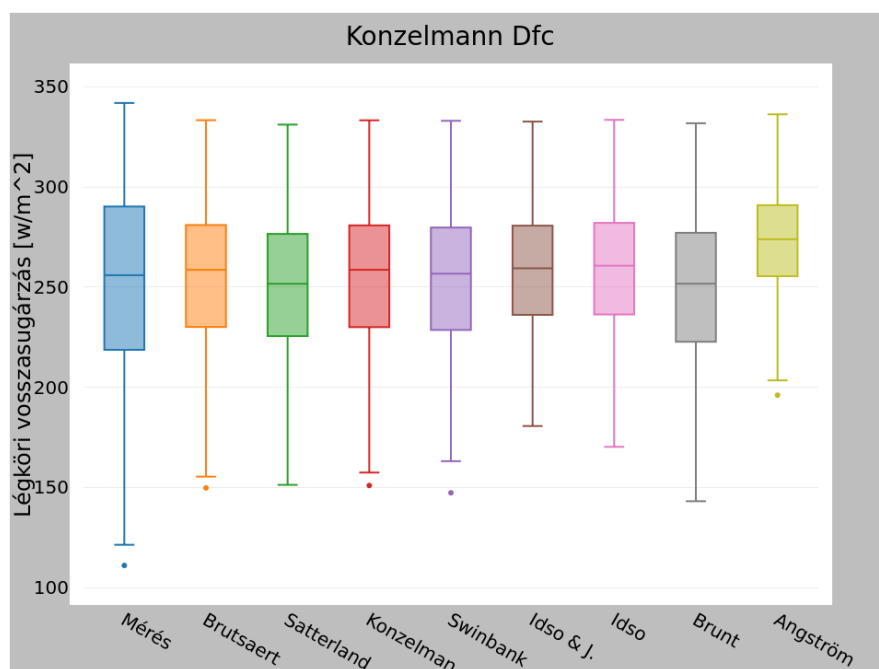
12. ábra. A $2.2 f_N$ parametrizációval és a különböző ϵ_{CS} -parametrizációkkal kapott légköri visszasugárzás értékek pontosságát jellemző statisztikai mutatók Box-Whisker diagramja a Cfa klímában.



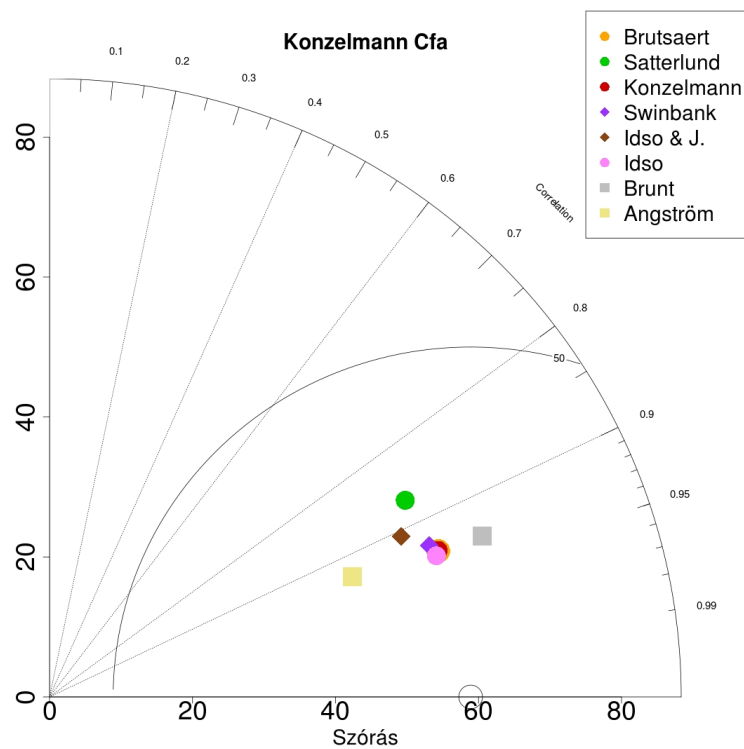
13. ábra. A 2.2 f_N parametrizációval és a különböző ϵ_{CS} -parametrizációkkal kapott légköri visszasugárzás értékek pontosságát jellemző statisztikai mutatók Box-Whisker diagramja a Cfb klímában.



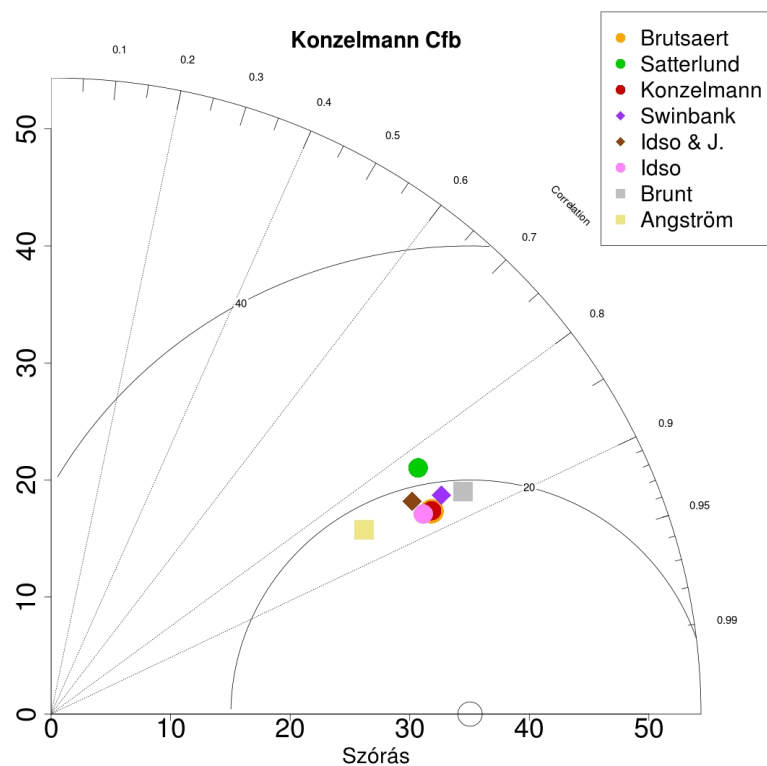
14. ábra. A 2.2 f_N parametrizációval és a különböző ϵ_{CS} -parametrizációkkal kapott légköri visszasugárzás értékek pontosságát jellemző statisztikai mutatók Box-Whisker diagramja a Dfb klímában.



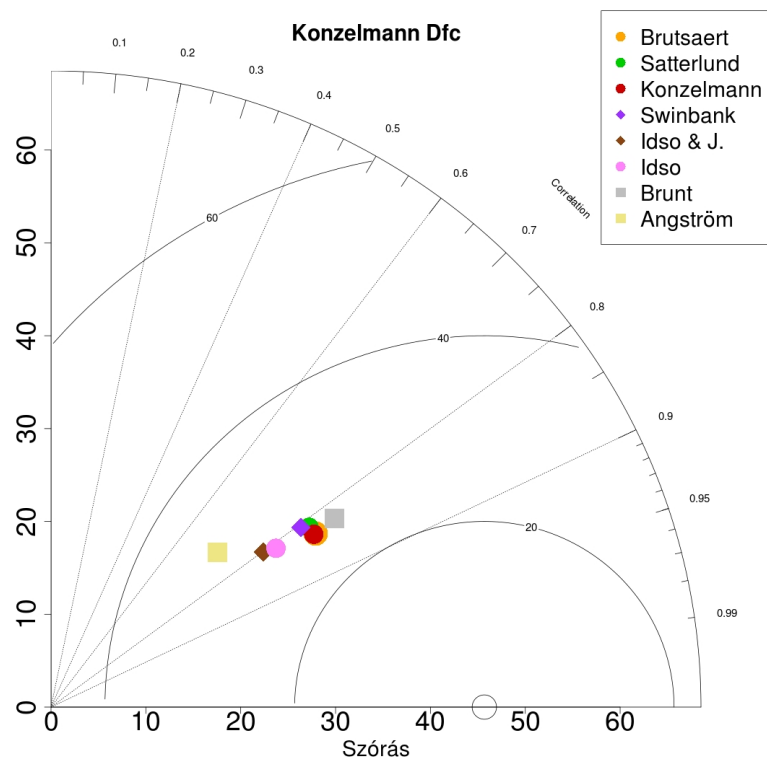
15. ábra. A 2.2 f_N parametrizációval és a különböző ϵ_{cs} -parametrizációkkal kapott légköri visszasugárzás értékek pontosságát jellemző statisztikai mutatók Box-Whisker diagramja a Dfc klímában.



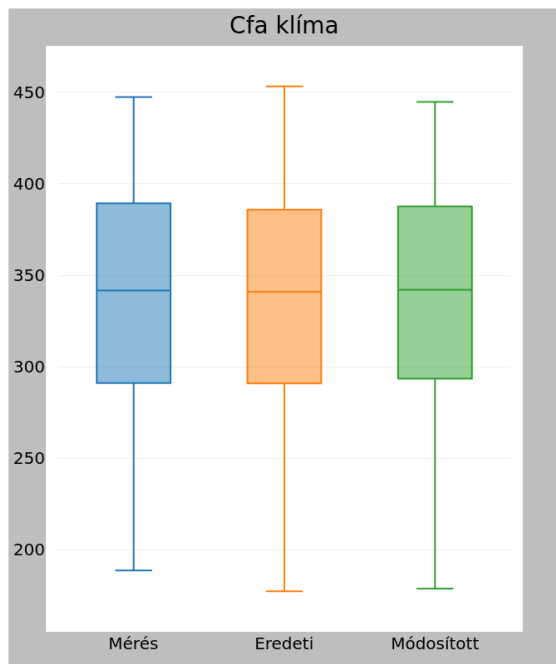
16. ábra. 2.2-es f_N és a 8 db ϵ_{cs} parametrizáció alapján készült Taylor-diagram a Cfa klímára.



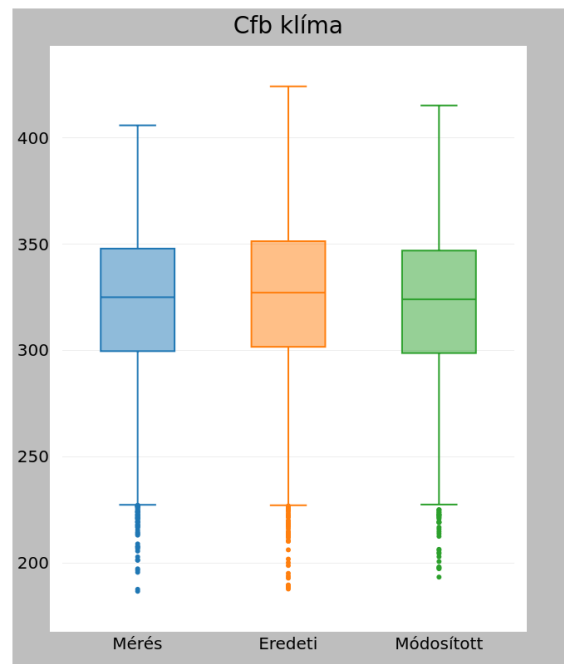
17. ábra. 2.2-es f_N és a 8 db ϵ_{cs} parametrizáció alapján készült Taylor-diagram a Cfb klímára.



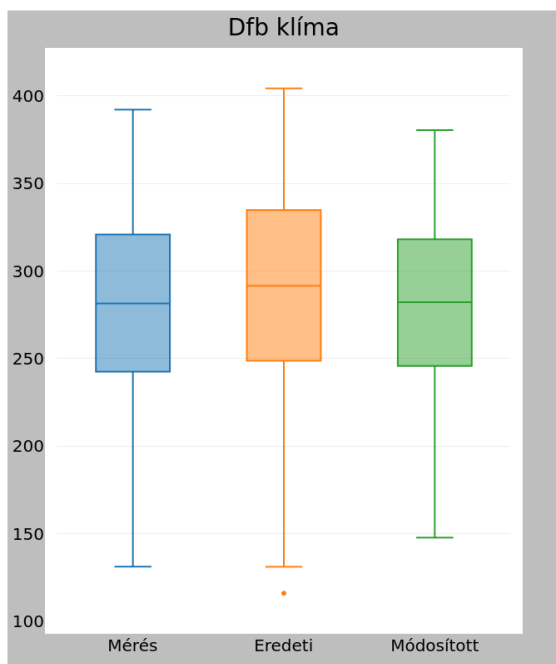
18. ábra. 2.2-es f_N és a 8 db ϵ_{cs} parametrizáció alapján készült Taylor-diagram a Dfc klímára.



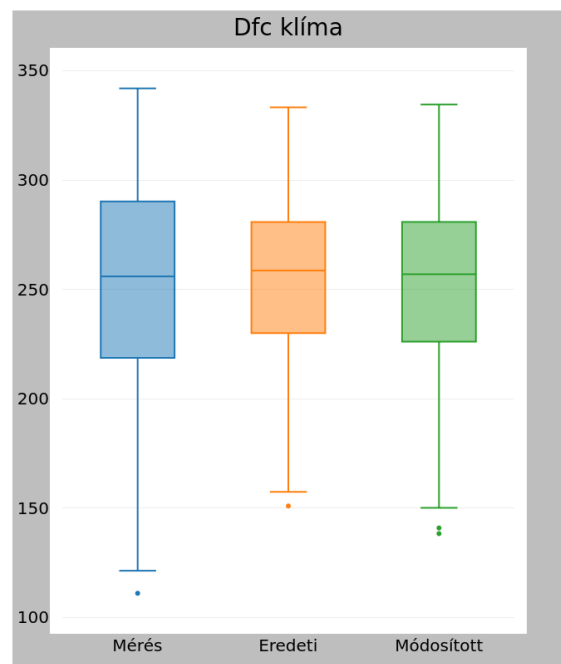
(a) Cfa klíma



(b) Cfb klíma



(c) Dfb klíma



(d) Dfc klíma

20. ábra. A Cfa, Cfb, Dfb,Dfc, klímákra az Új és a Régi paraméterek alapján számított légköri visszasugárzási értékek box-plot diagramja.(Az y tengelyen a légköri visszasugárzás látható [$\frac{W}{m^2}$]).