

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Természettudományi Kar
Meteorológiai Tanszék

Éghajlati extrém indexek várható tendenciája a Kárpát- medence térségére regionális klímaszcenáriók felhasználásával



KÉSZÍTETTE: Vida Viviána Ildikó
V. éves meteorológus hallgató

Témavezetők: dr. Pongrácz Rita
Dr. habil. Bartholy Judit

Budapest, 2009.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	2
2. Regionális éghajlati modellezés	6
3. Felhasznált adatok és módszerek	8
3.1. RegCM3	8
3.1.1. A RegCM3 szimulációk.....	10
3.1.1.1. Az ERA-40 adatbázis	10
3.1.1.2. Az ECHAM5 adatok	10
3.2. Extrém éghajlati indexek	11
4. Extrém hőmérsékleti indexek elemzése	14
4.1. Hőmérsékleti indexek verifikációja.....	14
4.2. Várható változások	16
5. Extrém csapadékindexek elemzése	27
5.1. Csapadékindexek verifikációja.....	27
5.2. Várható változások	29
6. Összefoglalás	43
Köszönetnyilvánítás.....	45
Irodalomjegyzék	46
Függelék.....	50

1. Bevezetés

Napjaink égető problémája és állandó kérdésköre a globális felmelegedés. Számos adat, megfigyelés és tanulmány támasztja alá a jelenséget, mely Földünkre és az egész élővilágra nagy hatással van. Ide sorolható a XIX. század második felétől megfigyelhető globális melegedés, melynek következtében az éves felszín-közeli középhőmérséklet 0,7 °C-kal emelkedett (IPCC, 2001), a globális hőmérsékleti trendek megváltozása, a kontinentális jégtakaró 10%-os csökkenése, az Északi-sark körzetében lévő jég elvékonyodása, a gleccserek visszahúzódása (Zängl *et al.*, 2003), az áramlási rendszerek módosulása, a tavaszi hóolvadás idejének korábbra tolódása, a világtengerek szintjének emelkedése és számos egyéb éghajlati/környezeti probléma (IPCC, 2007). A globális modellekkel eddig elvégzett számítások alapján a földi éghajlat nagyfokú és viszonylag gyors melegedés előtt áll. A legismertebb kutatóközpontokban kifejlesztett számítógépes modellekkel végzett számítások alapján a Föld felszíni átlaghőmérséklete már századunk közepére magasabbra emelkedhet, mint a történelem során valaha. A hőmérséklet az elkövetkező évtizedekben valószínűsíthetően fokozatosan 0,1–0,6 °C/évtized értékkel fog emelkedni, s a század végére 1,4–5,8 °C-kal lehet majd magasabb az 1961-1990-es referencia időszakhoz képest (IPCC, 2001).

Az átlaghőmérsékletek eltolódásával együtt jár az időjárási szélsőségek, az extrémumok gyakoriságváltozása is (Easterling *et al.*, 2000a; Meehl *et al.*, 2000; Pongrácz és Bartholy, 2004), melyek további, hatványozott következményekkel járhatnak (Clarke, 2003; Bülow *et al.*, 2005), különös tekintettel a társadalmi és gazdasági hatásokra. A közelmúlt eseményei jelzik az esetleges későbbi problémák jellegét. Puskás (1985) például arra a kérdésre kereste a választ, hogy vajon mennyire volt szélsőséges 1982-83 időszaka, mennyire mondhatók rapszodikusnak az ekkor megfigyelt évszakok. Egy másik példa a 2003. év nyara, amely kiemelkedően meleg volt, lényegesen megnövelve ezzel Európa egyes országaiban a halálozások számát (Schär *et al.*, 2004).

A klímaváltozás kérdésköre mind nemzetközileg (IPCC 2001; 2007) mind Magyarországon (Dunkel, 1998; Weidinger, 2006) sokat kutatott és vitatott téma, s az éghajlati szélsőségek kutatásával is számos kutató foglalkozik szerte a világon (pl. Easterling *et al.*, 2000b). A jövőre vonatkozóan Kharin és Zwiers (2000, 2005), Bell *et al.*

(2004), továbbá *Groisman et al.* (2005) vizsgálatai a szélsőségesen magas és alacsony hőmérsékletek mellett a nagy csapadékok előfordulási gyakoriságának növekedését vetítik előre. Mindemellett feltételezhető, hogy a közepes földrajzi szélességeken megnövekszik a nyári aszályok gyakorisága (*Gregory et al.*, 1997; *Salinger*, 2005). *Wetherald és Manabe* (1999) szerint a CO₂-koncentráció növekedése által előidézett komolyabb kontinentális szárazságra csak a XXI. század későbbi évtizedeiben kell számítani. *Frei et al.* (1998) szerint a hőmérséklet 2 °C-os emelkedése, továbbá a specifikus nedvességnek ezt a melegedést kísérő 15%-os növekedése többször 10%-kal növelheti meg a 30 mm/nap intenzitású csapadék előfordulásának valószínűségét. *Räisänen* (2005) globális klímamodellek felhasználásával a szélsőségesen nagy havi és éves csapadékösszegek vizsgálatai alapján arra a következtetésre jutott, hogy az átlagos csapadék növekedése és a szélsőségesen nedves időszakok fellépésének gyakorisága, illetve az átlagos csapadékmennyiség csökkenése és az aszályok előfordulásának gyakorisága között szoros kapcsolat áll fenn.

A különféle, időjárási szélsőségekre irányuló vizsgálatok összehangolása érdekében 1997. június 3-6. között nemzetközi munkakonferenciát hívtak össze az amerikai Asheville-ben (Észak-Karolina államban), *Éghajlati extrémumok indexei és indikátorai* címmel. Ennek fő célja a klímaszélsőségek változékonyságának vizsgálata, s az erre legalkalmasabb extrém éghajlati indexek és indikátorok kijelölése volt (*Karl et al.*, 1999). Egy évvel később nemzetközi összefogással megalakult a Meteorológiai Világszervezet Éghajlati Bizottsága (WMO-CCI) és az Éghajlat Változékonyságát Kutató Globális Program (CLIVAR) közös munkacsoportja, mely a globális és regionális éghajlati változások detektálását, s az ezekhez kapcsolódó szélsőséges éghajlati események elemzését tűzte ki céljául (*Peterson et al.*, 2002). A munkacsoport keretén belül meghatározták az impakt tanulmányokhoz is jól hasznosítható főbb extrém klímamutatókat, s ezekre végeztek tendencia-elemzéseket. A szakemberek közel harminc extrém éghajlati indexet definiáltak, melyekre néhány példa: éves hőmérsékleti ingás, hóhullámok hossza, vegetációs periódus hossza, nyári napok száma, hőségnapok száma, forró napok száma, trópusi éjjelek száma, hideg és meleg napok aránya, hideg és meleg éjszakák évi aránya, téli és zord napok száma, egymást követő száraz napok száma, 1 és 5 napi maximális csapadékmennyiség, csapadékintenzitás, nagy és extrém csapadékú napok száma, mérsékelt és nagyon csapadékos napok száma, 5 mm-nél, 1 mm-nél és 0,1 mm-nél nagyobb csapadékú napok száma. A későbbiek során ezek a paraméterek természetesen még kiegészültek olyan további paraméterek bevonásával, melyek fontos

szerepet játszanak a katasztrófavédelem, egészségügyi, mezőgazdasági és energetikai ágazatokban. Az extrém indexek felhasználásával lehetővé vált az éghajlati extrémumok változékonyságának, illetve tendenciájának globális (Frich *et al.*, 2002) és regionális (Klein Tank *et al.*, 2002a; 2002b; Klein Tank és Können, 2003) elemzése. Ezeket az indexeket felhasználva hazai kutatások is készültek a Kárpát-medence térségére (Bartholy és Pongrácz, 2005a; 2005b; 2006; 2007; Bartholy *et al.*, 2008b). Hazánkban a nagy valószínűséggel bekövetkező melegedés mellett a következő évtizedekben várhatóan csökken a csapadék mennyisége (Bartholy *et al.*, 2008a), ami többek között az aszályok gyakoriságának növekedését eredményezheti. A klíma szárazabbá és melegebbé válása komoly következményeket vonhat maga után állóvizeink tekintetében. Az Alföld vízellátottsága eddig sem bővelkedett csapadékban, azonban ha a XXI. század során egy jelentősebb eltolódás történik a félszáraz, mediterrán jellegű klíma felé, akkor a mezőgazdaságnak komoly problémákkal kell majd szembenéznie. Hazánk térségében az éghajlatváltozás kockázatának megítélésekor lényeges, hogy a Kárpát-medence a nedves óceáni, a száraz kontinentális és – a nyáron száraz, télen nedves – mediterrán éghajlati régiók határán helyezkedik el. E határzónában az éghajlati övek kisebb mértékű tartós eltolódása is oda vezethet, hogy a három hatás valamelyike uralkodóvá válhat (KVVM, 2008).

E diplomamunkában a csapadék, valamint napi maximum-, minimum- és középhőmérsékletek alapján definiált extrém éghajlati indexek idősorainak évtizedes tendenciáit elemezzük Közép-Európa térségében. Vizsgálataink során a jövőre vonatkozó várható trendeket hasonlítjuk össze a XXI. század közepére és végére. Az elemzésekhez a CECILIA európai uniós projekt keretében végzett finom skálájú (10 km-es horizontális felbontású) regionális éghajlati modell (RegCM3) A1B emisszió scenárióra (IPCC, 2007) vonatkozó szimulációit használtuk fel. Az A1B scenárió egy mérsékelt optimista jövőt ír le, egyensúlyt feltételez a fosszilis és az alternatív (megújuló, nukleáris) energiaforrások között. E scenárió szerint Földünk népessége az évszázad közepéig növekszik, majd csökkenésnek indul, s mind emellett nagyon gyors gazdasági növekedés és új technológiák bevezetése várható. További jellemzője a régiók közötti konvergencia, a növekvő kulturális és szociális kölcsönhatás.

A következő fejezetben összefoglaljuk a regionális klímamodellzés alapelveit, a legfontosabb hazai és nemzetközi kutatási projekteket. A 3. fejezetben röviden bemutatjuk az általunk használt regionális klímamodellt, a RegCM3-at, áttekintjük az ezzel végzett regionális klímaszimulációkat. A 4. fejezetben a hőmérsékletre, az 5. fejezetben a

csapadékra vonatkozó extrém éghajlati indexek várható változását elemezzük. Az éghajlati karakterisztikák változásának mértékét és területi eloszlását regionális térképeken, valamint táblázatok, diagramok formájában is szemléltetjük. Végül a 6. fejezetben a legfontosabb konklúziók összefoglalásával zárjuk a dolgozatot.

2. Regionális éghajlati modellezés

Az éghajlat modellezése és ezzel az éghajlati rendszer szimulálása kiemelkedően fontos kulcsfeladat ahhoz, hogy minél pontosabb és megbízhatóbb becslésekkel tudjunk szolgálni nem csak globális, hanem regionális skálán is. Az éghajlati modellek a légkörre és az óceánra vonatkozó fizikai törvények alapján, matematikai formulákkal írják le az áramlási, hőmérsékleti, nyomási és sűrűségi mezőt; a hidrológiai ciklust; a felhőképződési és felhődiszippációs folyamatokat; a földfelszín hőmérsékletét, albedóját, nedvességét, valamint a krioszféra keletkezését/olvadását. Napjainkban a globális klímamodellek viszonylag pontosan képesek rekonstruálni a múlt éghajlatát, illetve elfogadható becslést adnak a jövőben várható éghajlat alakulására (IPCC, 2007). Az 1990-es évek elejére felismerték, hogy a globális éghajlati modellekkel (GCM) készített klímabecslések pontossága regionális térskálán nem megfelelő, hiszen csak és kizárólag globális képet adnak, s a regionális változások iránya akár ellentétes is lehet a globális változásokéval (Horányi, 2006). Szükségesnek bizonyult egy olyan új módszer kidolgozása, mellyel a globális skálájú modellek eredményeiből kiindulva a regionális leskalázás végrehajtható. A regionális változások jellemzésére kisebb területet lefedő, ún. korlátos tartományú beágyazott modelleket használnak fel (Giorgi, 1990). Ezekben a globális modell eredményeit kiindulási- és határfeltételekként veszik figyelembe, s így alkalmasak a finomabb skálájú légköri folyamatok pontos leírására. A manapság használatos regionális modellek felbontása akár 10-20 km is lehet.

A regionális klímamodellezés témakörében századunk elején az V. és VI. EU-keretprogramban számos, az egész kontinenst átfogó projekt indult (PRUDENCE, STARDEX, ENSEMBLES, CECILIA, CLAVIER). E programok közül a legelső a PRUDENCE (*Predicting of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risk and Effects*) volt, mely konkrét regionális klíma-előrejelzéseket szolgáltatott Európa térségére, és a további kutatásokhoz 2005-től interneten keresztül (<http://prudence.dmi.dk>) rendelkezésre bocsátotta a regionális éghajlati szimulációk eredményeit. A PRUDENCE projektben (2001-2005) kilenc Európai Unió országából összesen 21 egyetem, nemzeti meteorológiai szolgálat és kutatóintézet működött együtt, a Dán Meteorológiai Intézet vezetésével (Christensen, 2005). A résztvevők közé sorolhatjuk a brit Hadley Központot, a hamburgi Max Planck Intézetet, valamint a trieszti Nemzetközi

Elméleti Fizikai Központot (Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, ICTP). A vizsgálatok során csatolt óceán-légkör modelleket (300 km-es légköri felbontás), általános cirkulációs modelleket (150 km-es felbontás), valamint regionális klímamodelleket (50 km-es felbontás) alkalmaztak. A regionális modellszimulációk kiindulási- és peremfeltételeihez három globális éghajlati modell (a brit HadAM3, a francia ARPEGE és a hamburgi ECHAM5) outputjait használták fel. A futtatásokban a teljes európai térségre egységesen 50 km-es horizontális felbontást alkalmaztak. Minden esetben az éghajlati szimulációk referencia időszaka 1961-1990 volt, az éghajlati projekciók célidőszaka pedig 2071-2100 (*Christensen és Christensen, 2007*). A regionális modelleket elsősorban az A2 emisszió scenárióra futtatták, de néhány intézet a B2 scenárióra is végzett szimulációt. A PRUDENCE projekt klímabecsléseit felhasználva a Kárpát-medence térségére is készültek részletes éghajlatváltozási elemzések (*Bartholy et al., 2008a; 2008b*), mely során elsősorban a hőmérséklet és a csapadék várható évszakos változásait vizsgálták.

A közép-kelet-európai térségben várható regionális klímaváltozás becslésére és az ennek következtében várható környezeti változások elemzésére indult két párhuzamos projekt az Európai Unió VI. keretprogramján belül, melyek futamideje 2006-2009. Mindkét kutatási programban részt vesznek hazai intézetek is. A CLAVIER (*Climate Change and Variability: Impact on Central and Eastern Europe*, <http://clavier-eu.org>) projektben az Országos Meteorológia Szolgálat, míg a CECILIA (*Central and Eastern Europe Climate Change Impact and Vulnerability Assessment*, <http://cecilia-eu.org>) projektben az ELTE Meteorológiai Tanszék is tevékeny részt vállal.

A CECILIA projekthez kapcsolódó kutatások során a különböző intézetek két regionális klímamodellel végeztek 10 km-es horizontális rácsfelbontású szimulációs vizsgálatokat: a francia fejlesztésű ALADIN/Climat (*Horányi et al., 1996*), illetve a *Giorgi et al. (1993a; 1993b)* által fejlesztett RegCM modellel. Az Országos Meteorológiai Szolgálat az ALADIN/Climat modellt használja (*Csima és Horányi, 2008*) a regionális éghajlat elemzéséhez, az ELTE Meteorológiai Tanszékén pedig a RegCM modell adaptációjára került sor (*Torma et al., 2008*). A CECILIA projekt az A1B emisszió scenárió felhasználásával vizsgálja a 2021-2050 és a 2071-2100 harmincéves időszakokra várható regionális éghajlatváltozásokat az 1961-1990 referencia időszakhoz viszonyítva (*Halenka, 2007*). A regionális klímaváltozáshoz kapcsolódóan a CECILIA projekt egyik fő célkitűzése, hogy becslést adjon a szélsőséges időjárási és éghajlati események előfordulási gyakoriságának változására.

3. Felhasznált adatok és módszerek

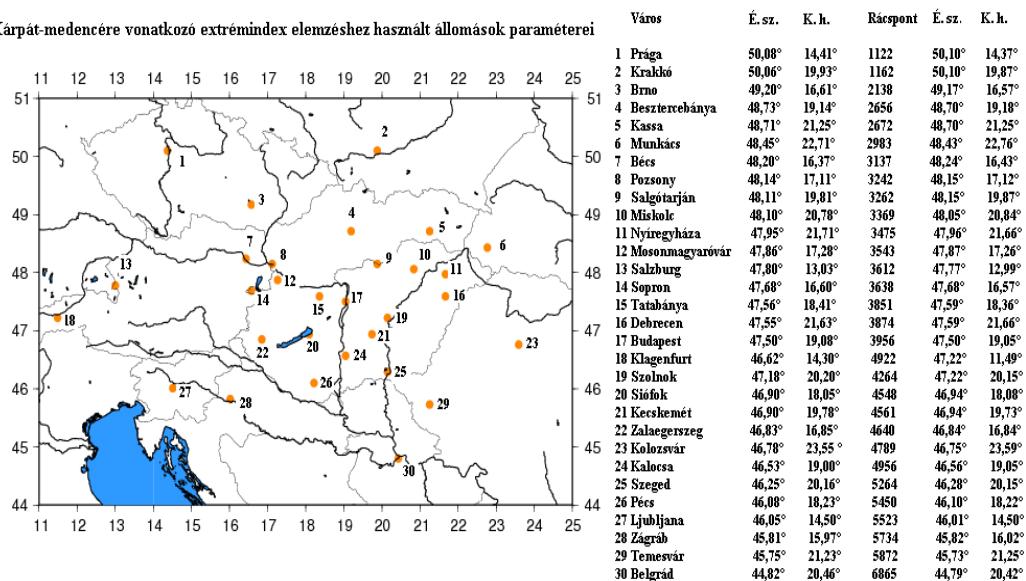
Ebben a fejezetben ismertetjük az általunk használt regionális klímamodell-szimulációkat és felhasznált adatforrásokat, valamint az elemzéseink során alkalmazott extrém éghajlati indexeket.

3.1. RegCM3

A CECILIA projekt keretében megtörtént a Kárpát-medence térségére a RegCM regionális éghajlati modell adaptálása (*Torma et al.*, 2008). A finomfelbontású éghajlati modellt eredetileg *Giorgi et al.* (1993a; 1993b) fejlesztették ki az NCAR-PSU modelltől kiindulva (National Center for Atmospheric Research-Pennsylvania State University), majd a későbbiekben *Pal et al.* (2007) módosították. A RegCM jelenlegi verziójának (RegCM3) alapját az MM5 mezoskálájú, korlátos tartományú rácsponti modell adja. A RegCM3 (<http://users.ictp.it/~pubregcm/RegCM3/>) már képes leírni az üvegházhatású gázok koncentráció-növekedése következtében kialakuló folyamatok nagy részét (*Lenoble*, 1993), s a felhőzetben megjelenő jég hatását (*Grell*, 1993).

Az ELTE Meteorológiai Tanszékén végzett futtatások során a RegCM3 regionális modellt 10 km-es horizontális rácsfelbontás mellett alkalmaztuk Magyarországon és a környező térségek jelenlegi (1961-1990) és jövőbeni (2021-2050, 2071-2100) éghajlatának szimulációjára. A kiválasztott célterület 120x100 rácspontot tartalmaz, melyek közül az extrém éghajlati indexekre vonatkozó vizsgálatainkhoz 30 rácspontot választottunk ki. A kiválasztott rácspontok földrajzi elhelyezkedését és pontos földrajzi koordinátáit az *1. ábrán* mutatjuk be. A 30 rácspont fele Magyarországon fekszik, fele pedig azon kívül, a környező országok (Ausztria, Csehország, Szlovákia, Lengyelország, Ukrajna, Románia, Szerbia, Horvátország és Szlovénia) területén.

A Kárpát-medencére vonatkozó extrémindex elemzéshez használt állomások paraméterei



1. ábra

A közép-európai térségre vonatkozó extrém éghajlati indexek elemzéséhez használt állomások paraméterei.

3.1.1. A RegCM3 szimulációk

A RegCM3 regionális klímamodell futtatható globális reanalízis adatokból származó kezdeti- és oldalsó határfeltételekkel, vagy akár egy globális klímamodellből, illetve egy korábbi RegCM szimulációból származó outputokkal is. Az 1961-1990 referencia időszak éghajlati szimulációját az ECMWF (Európai Középtávú Időjárás-Előrejelző Központ) ERA-40 adatbázisából és az ECHAM5 globális klímamodell outputjaiból kiindulva is elvégeztük. Erre a kettős futásra azért volt szükség, hogy eredményeinket verifikálni tudjuk. A jövőre vonatkozó két futtatás során az ECHAM5 szolgáltatta a kiindulási adatokat. A várható éghajlati tendenciák meghatározásához a RegCM3 ECHAM5 modellel meghajtott szimulációit kell összehasonlítani, ily módon a modell hibái a kivonás során megközelítően kiejtik egymást.

3.1.1.1. Az ERA-40 adatbázis

Az ERA-40 adatbázis az 1957. szeptember 1. és 2002 augusztus 31. közötti időszak rácsponti értékeit tartalmazza 6 órás időbeli felbontással (*Gibson et al., 1997*), s így alkalmas a teljes 45 év során érzékelhető változások detektálására. A RegCM3 szimulációk kezdeti- és oldalsó peremfeltételeit csupán az 1961-1990 közötti időszak mezősoraiból állítottuk elő 1°-os térbeli felbontással.

3.1.1.2. Az ECHAM5 adatok

Az extrém éghajlati indexek vizsgálatához felhasznált szimulált idősorok (1961-1990, 2021-2050, 2071-2100 időszakra) egy korábbi, globális klímamodell futásából származtathatók az alábbiak szerint:

Első lépésként a hamburgi ECHAM5 1,25°-os horizontális felbontású globális klímamodell (<http://www.mpimet.mpg.de/en/wissenschaft/modelle/echam/echam5.html>) 1950-2100 időszakot felölelő szimulációi szolgáltatták a RegCM3 25 km-es horizontális felbontású regionális klímamodell kiindulási mezőit és a bemenő paramétereket. A 25 km-es felbontású RegCM3 szimulációk az egész európai térséget lefedik, de már csak a három kiválasztott harmincéves időszakra lettek lefuttatva. Ezekből állították elő a 10 km-es felbontású RegCM3 modell kezdeti- és oldalsó peremfeltételeit.

3.2. Extrém éghajlati indexek

A CECILIA kutatási projekt egyik fő munkacsoportjába bekapcsolódva vizsgáltuk a szélsőséges hőmérséklettel és csapadékkal kapcsolatos éghajlati paramétereket, melyhez egy 131 extrém éghajlati indexből álló listát (ld. *1. függelék*) állítottak össze. A 131 indexből 75 hőmérséklettel kapcsolatos, 56 pedig a csapadékkal. Az extrém éghajlati indexek legtöbbje a STARDEX projekt keretében definiált listáról származik, továbbá a WMO-CCI/CLIVAR által meghatározott 41 „kulcsindex” is szerepel közöttük. Az indexeket éves, évszakos és havi időbeli bontásban kellett kiszámítani. Jelen kutatásaink során az 1961-1990, 2021-2050 és 2071-2100 időszakok teljes harmincéves tartamára határoztuk meg és hasonlítottuk össze az extrém éghajlati indexek értékeit. Terjedelmi okokból a dolgozat nem tartalmazza minden index összes lehetséges összehasonlítását, a legfontosabbakat az *1. táblázatban* soroljuk fel.

Jelölés	Index [egység]	Az extrém klíma-index definíciója
TmDR	Napi középhőmérsékleti tartomány [°C]	(Tmax-Tmin) napi értékei az adott időintervallumra átlagolva
WcmD	Átlagos hideghullám hossza [nap]	Legyen $T_{n_{ij}}$ a j. periódus i. napjának napi minimum hőmérséklete, valamint legyen $T_{n_{inorm}}$ az a naptári nap, mely egy adott perióduson belül egy 5 napos ablak minden napjának a közepe. Ezek után a napok száma egy periódus alatt egy legalább 6 napos folyamatos intervallumban: $T_{n_{ij}} < T_{n_{inorm}} - 5$
WhmD	Átlagos hőhullám hossza [nap]	Legyen $T_{x_{ij}}$ a j. periódus i. napjának napi maximum hőmérséklete, valamint legyen $T_{x_{inorm}}$ az a naptári nap, mely egy adott perióduson belül egy 5 napos ablak minden napjának a közepe. Ezek után a napok száma egy periódus alatt egy legalább 6 napos folyamatos intervallumban: $T_{x_{ij}} > T_{x_{inorm}} + 5$
GDD 1	Hőösszeg(def 1) [°C]	$\sum_{T_{közép} > 4^{\circ}C} (T_{közép} - 4^{\circ}C)$ az adott időintervallumra vonatkozóan.
GSL	Vegetációs periódus hossza [nap]	Kezdeté: > 5 napon át $T_{közép} > 5^{\circ}C$, vége: >5 napon át július 1.-je után $T_{közép} < 5^{\circ}C$
Tn0LT	Fagyos napok száma [nap]	Azon napok száma az adott időintervallumra vonatkozóan, ahol a $T_{min} < 0^{\circ}C$
Tx0LT	Téli napok száma [nap]	Azon napok száma az adott időintervallumra vonatkozóan, ahol a $T_{max} < 0^{\circ}C$
Tn-10LT	Zord napok száma [nap]	Azon napok száma, ahol $T_{min} < -10^{\circ}C$
Tx25GT	Nyári napok száma [nap]	Azon napok száma, ahol $T_{max} > 25^{\circ}C$
Tn20GT	Trópusi éjjelek száma [nap]	Azon napok száma, ahol $T_{min} > 20^{\circ}C$
Tx30GE	Hőségnapok száma [nap]	Azon napok száma, ahol $T_{max} \geq 30^{\circ}C$

Jelölés	Index [egység]	Az extrém klíma-index definíciója
Tx35GE	Forró napok száma [nap]	Azon napok száma, ahol $T_{max} \geq 35 \text{ °C}$
Tx10percLT	Hideg napok aránya [%]	Azon napok aránya, az 1961-1990-es normálidőszak alsó deciliséhez viszonyítva ahol $T_{max} <$ az alsó decilis, mely 5 napos ablak felhasználásával határozandó meg
Tx90percGT	Meleg napok aránya [%]	Azon napok aránya, az 1961-1990-es normálidőszak felső deciliséhez viszonyítva ahol $T_{max} >$ a felső decilis, mely 5 napos ablak felhasználásával határozandó meg
Tn10percLT	Hideg éjszakák aránya [%]	Azon napok aránya, az 1961-1990-es normálidőszak alsó deciliséhez viszonyítva ahol $T_{min} <$ az alsó decilis, mely 5 napos ablak felhasználásával határozandó meg
Tn90percGT	Meleg éjszakák aránya [%]	Azon napok aránya, az 1961-1990-es normálidőszak felső deciliséhez viszonyítva ahol $T_{min} >$ a felső decilis, mely 5 napos ablak felhasználásával határozandó meg
WDmP	Átlagos csapadékos napok százaléka [%]	Egymás követő csapadékos napok összessége/összes csapadékos nap
DDmP	Átlagos száraz napok százaléka [%]	Egymás követő száraz napok összessége/összes száraz nap
WDP	Csapadékos napok aránya [%]	Csapadékos napok száma/ összes nap száma
WDP5GT	5 mm-nél nagyobb csapadékú napok aránya [%]	$(R_{nap \geq 5 \text{ mm}})/R_{total}$
WDP10GT	10 mm-nél nagyobb csapadékú napok aránya [%]	$(R_{nap \geq 10 \text{ mm}})/R_{total}$
WDP20GT	20 mm-nél nagyobb csapadékú napok aránya [%]	$(R_{nap \geq 20 \text{ mm}})/R_{total}$
RR10	Nagy csapadékú napok aránya [%]	10mm/nap feletti csapadékos napok aránya (ECA&D: napok száma)
RR20	Extrém csapadékú napok aránya [%]	20mm/nap feletti csapadékos napok aránya (ECA&D: napok száma)
Rx1	Az év során mért legnagyobb 1 nap alatt lehullott csapadékmennyiség [mm]	Az év során mért legnagyobb 1 nap alatt lehullott csapadékmennyiség
Rx3	Az év során mért legnagyobb 3 nap alatt lehullott csapadékmennyiség [mm]	Az év során mért legnagyobb 3 nap alatt lehullott csapadékmennyiség
Rx5	Az év során mért legnagyobb 5 nap alatt lehullott csapadékmennyiség [mm]	Az év során mért legnagyobb 5 nap alatt lehullott csapadékmennyiség
Rx10	Az év során mért legnagyobb 10 nap alatt lehullott csapadékmennyiség [mm]	Az év során mért legnagyobb 10 nap alatt lehullott csapadékmennyiség

1. táblázat

A dolgozatban bemutatásra kerülő hőmérsékleti és csapadék extrém éghajlati indexek listája.

Az első két oszlopban szerepel az index jele és elnevezése, a harmadik oszlopban pedig a definícióját adjuk meg. Az indexek kiszámításához napi bontású szimulált maximum-, minimum- és középhőmérsékleti idősorokat, valamint szimulált napi csapadékösszegeket használtunk fel, s C/C++ program nyelven írt számolási algoritmusokat alkalmaztunk. Vizsgálataink során a rácspontokra interpolált térképes megjelenítést elvetettük, hiszen egy-egy régió szélsőséges viselkedése (árvizek, aszályok, hőhullámok kisebb területekre) a térbeli interpoláció alkalmazásával eltűnhet. Ezért a paraméterek ábrázolása állomásonkénti megjelenítéssel, a General Mapping Tools (GMT) szoftver segítségével történt.

4. Extrém hőmérsékleti indexek elemzése

4.1. Hőmérsékleti indexek verifikációja

Az éghajlati modell verifikációja céljából első lépésként azt vizsgáltuk, hogy a mérési eredményekből (ERA-40) származó szimulált mezők és a globális klímamoddellel (ECHAM5) meghajtott regionális szimulációk mennyire egyeznek. A 2. táblázatban foglaljuk össze az ERA-40 és az ECHAM5 által szolgáltatott kezdeti feltételekkel futtatott RegCM outputokból számított extrém hőmérsékleti indexek átlagos értékét.

1961-1990	ERA-40 reanalízis	Az alul-, felülbecslés mértéke átlagosan	ECHAM5 globális modell
Tmax	[-20,3 °C; +34,8 °C]	+5%	[-20,9 °C; +36,1 °C]
Tmin	[-21,2 °C; +30,5 °C]	-9%	[-23,5 °C; +32 °C]
Tközép	[-20,8 °C; +32,6 °C]	+8%	[-22,3 °C; +35 °C]
Napi középhőmérsékleti tartomány, TmDr	1–2 °C	0%	1–2 °C
Átlagos hóhullám hossza, WhmD	10–14 nap	-16%	7–13 nap
Átlagos hideghullám hossza, WcmD	25–45 nap	-10%	23–40 nap
Vegetációs periódus hossza, GSL	196–261 nap	+1%	181–281 nap
Hőösszeg, GDD1	114–152 °C	-1%	106–157 °C
Nyári napok, Tx25GT (Tmax>25°C)	0–24 nap	+16%	0–28 nap
Hőségnapok, Tx30GE (Tmax≥30°C)	0–2 nap	+150%	0–5 nap
Forró napok, Tx35GE (Tmax≥35°C)	0 nap	+100%	0–1 nap
Trópusi éjjelek, Tn20GT (Tmin>20°C)	0–41 nap	+3%	0–42 nap

Fagyos napok, Tn0LT (Tmin<0°C)	34–97 nap	–12%	27–88 nap
Téli napok, Tx0LT (Tmax<0°C)	20–75 nap	–15%	16–65 nap
Zord napok, Tn–10LT (Tmin<–10°C)	0–7 nap	–14%	0–6 nap

2. táblázat

Az ERA-40 reanalízis és az ECHAM5 globális modell adta kezdeti feltételekkel futtatott szimulációk (1961-1990) eredményei közötti eltérések

Az összehasonlításból kitűnik, hogy abban az esetben, amikor a kezdeti feltételekként az ECHAM5 globális modell eredményei szolgáltatták a RegCM számára a bemenő paramétereket, jelentősebb szélsőségeket kaptunk, mint az ERA-40 reanalízisből származtatott kezdeti feltételekkel futtatott modell esetében. Az átlagos alul-, illetve felülbecslés mértéke a –16% és +150% között mozog, csupán a napi középhőmérsékleti tartomány (TmDr) esetében egyeznek az index kapott értékei. Általánosságban elmondható, hogy a vizsgált közép-európai térségben a szimulációk valamelyest felülbecslik a pozitív hőmérsékleti extrém indexeket és alulbecslik a negatív hőmérsékleti extrém indexeket.

4.2. Várható változások

Ebben a fejezetben a hőmérsékleti szélsőségek 2021-2050-re, illetve 2071-2100-ra várható alakulását szemléltetjük táblázatok, térképek, diagramok segítségével, az A1B scenárióra.

A 3. táblázatban a napi maximum-, minimum- és középhőmérséklet éves átlagainak várható növekedését láthatjuk az 1961-1990 referencia időszakhoz viszonyítva, a Kárpát-medence térségére, a bal oldali oszlopban a XXI. század közepére, a jobb oldali oszlopban pedig a XXI. század végére. Valamennyi esetben elmondható, hogy a hőmérsékleti értékek növekedni fognak, 2021-2050 között a maximum értékek, 2071-2100 között pedig a minimum értékek növekednek majd jobban, jelentős emelkedést hozva a középhőmérsékletekben. Századunk közepére átlagosan 3 °C-kal, végére pedig átlagosan 6 °C-kal lesz melegebb a Kárpát-medence éghajlata a kontrollidőszakhoz képest.

	2021-2050	2071-2100
	°C	
Maximum	1,8–5,3	4,6–6,8
Minimum	1,1–4,2	4,2–7,9
Közép	0,5–5,7	3,6–8,0

3. táblázat

A 2021-2050 és a 2071-2100 időszakra a Kárpát-medence térségében várható éves növekedés értékei a maximum-, minimum- és középhőmérsékletek esetén. A felsorolt intervallumok a Kárpát-medence területére az adott időszakban várható legkisebb és legnagyobb értéket jelzik. Referencia időszak: 1961-1990.

Hasonlóan a különböző hőmérsékleti paraméterek éves átlagaiban várható változásokhoz az évszagos melegedés várható mértékét is meghatároztuk az összes rácspont esetén. A 4. táblázatban összegezzük a várható változásokat. A legnagyobb melegedés korábbi vizsgálatokkal ellentétben (Bartholy et al., 2008a; 2008b) nem a nem nyáron várható, hanem ősszel, mind a maximum-, mind a minimumhőmérsékletet tekintve. A maximumhőmérséklet várható növekedése 7,3–7,6 °C; a minimumhőmérsékleté 6,6–7,7 °C között valószínűsíthető a XXI. század végére. A minimumhőmérsékletben várható melegedés mértéke tavasszal és télen viszont felülmúlja a maximumhőmérsékletben várható melegedés mértékét, s a XXI. század közepére jóval kisebb mértékű változások várhatók, melyek télen a legnagyobbak.

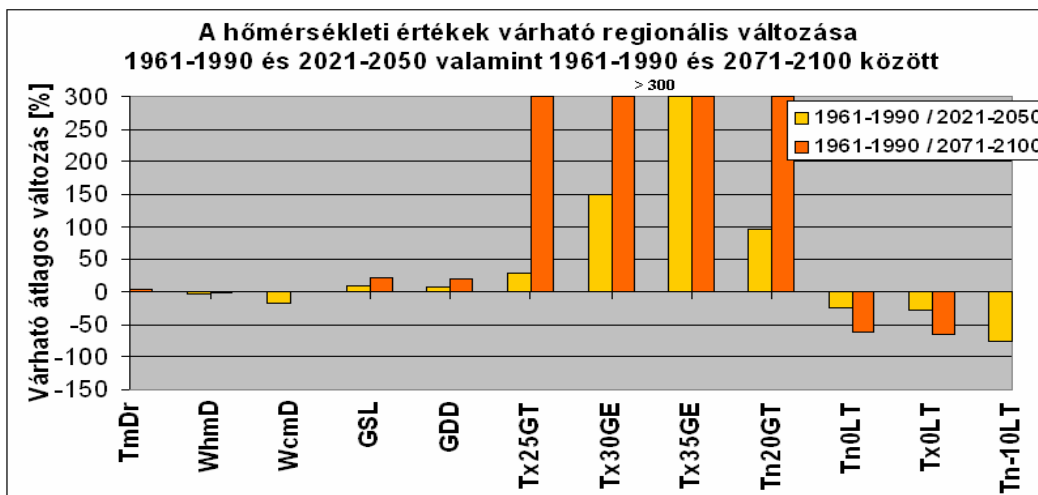
	Tavasz (MAM)		Nyár (JJA)		Ősz (SON)		Tél (DJF)	
	2021-2050	2071-2100	2021-2050	2071-2100	2021-2050	2071-2100	2021-2050	2071-2100
°C								
Maximum	-0,6–1,5	1,5–2,3	1,8	3,3–4,6	0,8–2	7,3–7,6	2,2–5,3	2,4–6,8
Minimum	1,5–2,7	3,1–4,5	1,1–2	4,1–4,2	-0,1–1	6,6–7,7	2,5–4,2	2,4–7,9

4. táblázat

A 2021-2050 és a 2071-2100 időszakra a Kárpát-medence térségében várható évszagos növekedés értékei a maximum és minimum hőmérsékletek esetén. A felsorolt intervallumok a Kárpát-medence területére az adott évszakban várható legkisebb és legnagyobb értéket jelzik.

Referencia időszak: 1961-1990.

A hőmérsékleti extrém index értékek várható regionális változásáról a 2. ábra diagram formájában és az 5. táblázat konkrét értékeket feltüntetve ad bővebb információt. Mindkét esetben látható, hogy a század közepére, illetve végére, a meleg hőmérsékleti paraméterek számának növekedése, míg a hideg hőmérsékleti paraméterek számának csökkenése várható, az 1961-1990 referencia időszakhoz képest. A változás mértéke nem csak a normálidőszakhoz képest fedezhető fel, hanem a két vizsgált éghajlati projekció egymáshoz viszonyított értékei között is jelentősebb csökkenés, valamint növekedés tapasztalható. A napi középhőmérsékleti tartomány (TmDr) a XXI. század közepére nem változik jelentősen, azonban a század végére az 1 °C-os növekedés már 50%-os változást eredményez. Negatív, ám nem túl jelentős mértékben csökkenő tendenciákat mutat az átlagos hideg-, illetve hóhullám (WcmD, WhmD), jelentősebb mértékben változnak azonban a fagyos napok (Tn0LT), a téli napok (Tx0LT), továbbá a zord napok (Tn-10LT), s jelenlétük 2021-2050-re a referencia időszakhoz képest 30%-kal, a 2071-2100-ra pedig már több mint 50%-kal csökken. Ezzel szemben megnövekszik a vegetációs periódus hossza, a közelebbi jövőbeni időszakban átlagosan 25 nappal, míg a későbbiben 50 nappal lesz hosszabb. A nyári napok (Tx25GT), a hőségnapok (Tx30GE), a forró napok (Tx35GE) és a trópusi éjjelek (Tn20GT) számának növekedése látszólag óriási méreteket ölt, viszont a változás százalékban kifejezett hatalmas értéke annak tudható be, hogy a korábbi időszakban ezen paraméterek szinte alig vagy egyáltalán nem fordultak elő, és számukban már csekély (+ 3 nap) emelkedés is nagy relatív változásokat eredményez.



2. ábra

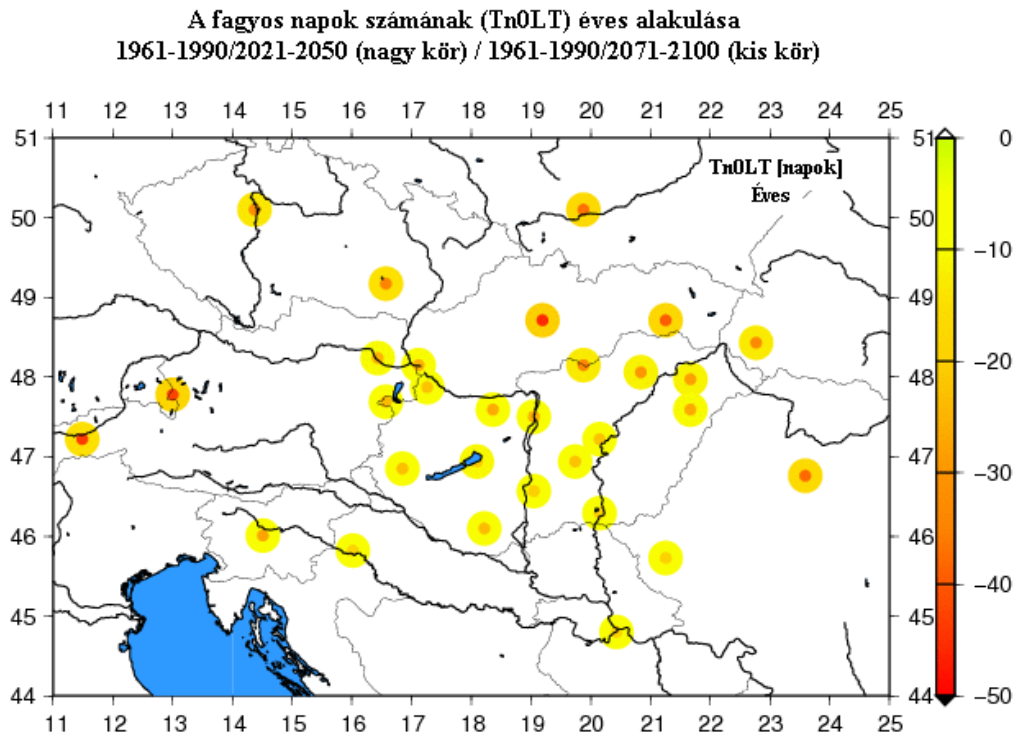
A hőmérsékleti értékek várható átlagos regionális változása a Kárpát-medence térségében a XXI. század közepére, illetve végére. Referencia időszak: 1961-1990.

	1961-1990	2021-2050	Változás mértéke	2071-2100	Változás mértéke
Napi közép-hőmérsékleti tartomány, TmDr	1–2 °C	1–2 °C	0%	1–3 °C	[0%; 50%]
Átlagos hóhullám hossza, WhmD	7–13 nap	6–2 nap	[-14%; -7%]	7–12 nap	[-7%; 0%]
Átlagos hideghullám hossza, Wcmd	23–40 nap	17–33 nap	[-26%; -17%]	18–42 nap	[-21%; +5%]
Vegetációs periódus hossza, GSL	181–281 nap	214–298 nap	[6%; 18%]	235–328 nap	[17%; 30%]
Hőösszeg, GDD1	106–157 °C	120–164 °C	[4%; 13%]	137–180 °C	[15%; 29%]
Nyári napok, Tx25GT (T_{max}>25°C)	0–28 nap	1–36 nap	[0%; 28%]	4–67 nap	[139%; 400%]
Hőségnapok, Tx30GE (T_{max}≥30°C)	0–5 nap	0–9 nap	[0%; 80%]	0–26 nap	[0%; 420%]
Forró napok, Tx35GE (T_{max}≥35°C)	0–1 nap	0–1 nap	[0%; 100%]	0–4 nap	[0%; 400%]
Trópusi éjjelek, Tn20GT (T_{min}>20°C)	0–41 nap	1–51 nap	[24%; 100%]	9–89 nap	[117%; 900%]
Fagyos napok, Tn0LT (T_{min}<0°C)	27–88 nap	20–71 nap	[-25%; -19%]	9–42 nap	[-66%; -52%]
Téli napok, Tx0LT (T_{max}<0°C)	16–65 nap	11–50 nap	[-31%; -23%]	5–28 nap	[-69%; -57%]
Zord napok, Tn-10LT (T_{min}<-10°C)	0–6 nap	0–3 nap	[-50%; 0%]	0–2 nap	[-66%; 0%]

5. táblázat

A hőmérsékleti értékek várható átlagos regionális változása a változások számszerűsített mértékével [%] feltüntetve a Kárpát-medence térségében a XXI. század közepére illetve végére. Referencia időszak: 1961-1990.

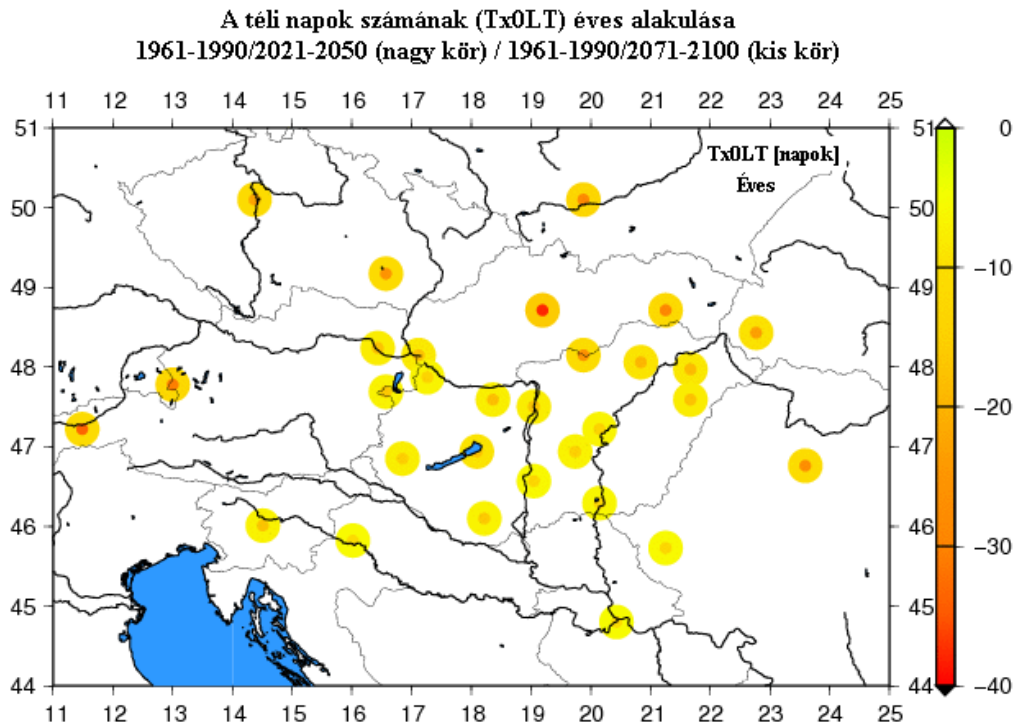
A következőkben a General Mapping Tools (GMT) szoftver segítségével kirajzolt térképeken is szemléltetjük a fent említett változásokat. Elsőként a 3. ábrán jelenítjük meg a fagyos napok számának (Tn0LT) alakulását az 1961-1990 időszakhoz viszonyítva. A térképen egyszerre ábrázoljuk a XXI. század közepére és végére a Kárpát-medence térségében várható változásokat, az előbbieket a nagyobb körök, utóbbi eltéréseket a nagyobb körökben található kisebb körök vázolják az adott városokra. A skála pirosas árnyalata a melegedésre utal, vagyis minél pirosabb a jelölő kör, annál kevesebb fagyos nap várható, így jelezve az éghajlat melegedő tendenciáját. A térkép jól mutatja a táblázatban számszerűsített változásokat, vagyis századunk végére akár 42 nappal kevesebb fagyos nappal számolhatunk az 1961-1990 időszakhoz képest, s ez a tény a Kárpát-medence éghajlatának további melegedését vetíti előre. A fagyos napok számának csökkenése délről észak felé nő. Az alacsonyabban fekvő régiókban a század közepére átlagosan 10 nappal, a század végére 30 nappal kevesebb fagyos nap valószínűsíthető, továbbá a hegyvidéki területeken várhatóan jelentősebb lesz a csökkenés mértéke, különösen a XXI. század végére.



3. ábra

A fagyos napok számának (Tn0LT) éves alakulása a Kárpát-medencében a XXI. század közepére, illetve végére. Referencia időszak: 1961-1990.

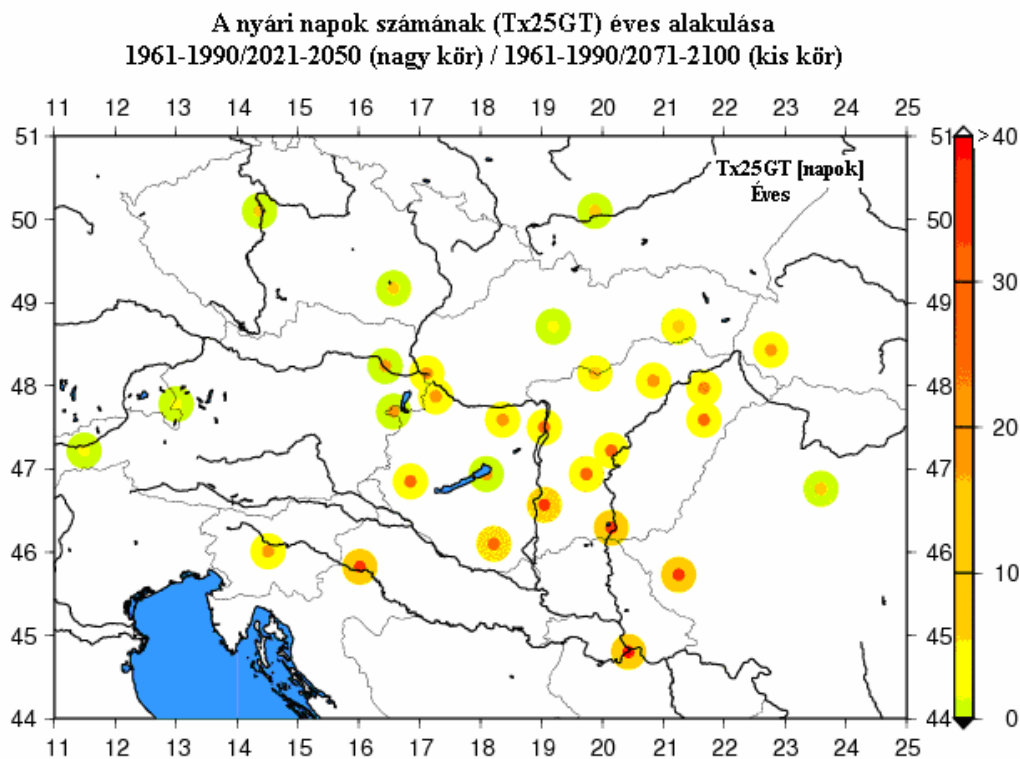
A 4. ábrán a téli napok (Tx0LT) referencia időszaktól való eltérését mutatjuk meg éves szinten, az előbb említett módon, jelen esetben is egyszerre ábrázoljuk a két vizsgált éghajlati projekcióra várható változásokat. A skála pirosba nyúló változásai, úgyszint a melegedésre utalnak, ebben az esetben sem fordul elő a szélsőséges index növekedése. A vizsgált negatív hőmérsékleti extrém index várható tendenciájának területi eloszlása a következő: a téli napok számának csökkenése délről északra nő, vagyis az alföldi térségben valószínűsíthetően kisebb a változás, mint a hegyvidéki területeken, ahol ennek napokban kifejezett értéke a síkságokra -10 , a magaslatokra -20 köré tehető, az 1961-1990 időszakhoz képest. Látható továbbá az is, hogy a század közepe és vége között várható változás mértéke nagyrészt kicsinek mondható, átlagosan 6-8 nappal lesz kevesebb a téli nap 2071-2100-ra a 2021-2050 időszakhoz képest, a hegyvidéki állomásoktól eltekintve, ahol akár 20 nappal is csökkenhet az extrémum előfordulása.



4. ábra

A téli napok számának (Tx0LT) éves alakulása a Kárpát-medencében a XXI. század közepén illetve, végén. Referencia időszak: 1961-1990.

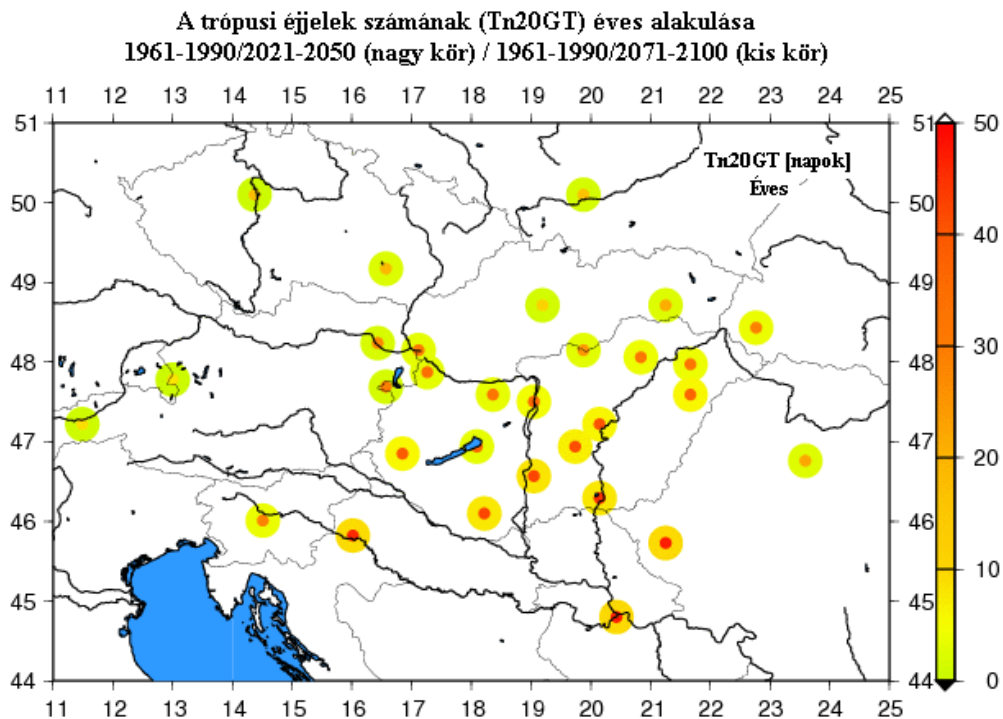
Az 5. ábrán egy pozitív extrém indexnek, a nyári napok számának (Tx25GT) tipikus területi eloszlását mutatjuk be, az 1961-1990 referencia időszakhoz mérten, az előző esetekhez hasonlóan a jelölések változatlanok, most azonban a színskála, a pozitív szélsőséges index növekedéséhez igazodva, ezúttal a sárgától a piros felé haladva jelzi a nagyobb mértékű melegedést. A térképről kivehető, hogy a nyári napok esetében nagyobb változásra számíthatunk a sík vidékeken, és valamivel kisebbre a magasabban fekvő hegyvidéki területeken. A térképen egyaránt megfigyelhető a zonális struktúra, hiszen a melegedés mértéke északról dél felé növekszik, valamint némi meridionalitás is látható a nyugatról kelet felé gyarapodó nyári napok számának változásában. A század közepére átlagosan 19 nappal, míg a végére 35 nappal, egyes esetekben több mint 40 nappal is több olyan nap várható, melynek maximumhőmérséklete 25 °C-nál nagyobb.



5. ábra

A nyári napok számának (Tx25GT) éves alakulása a Kárpát-medencében a XXI. század közepén, illetve végén. Referencia időszak: 1961-1990.

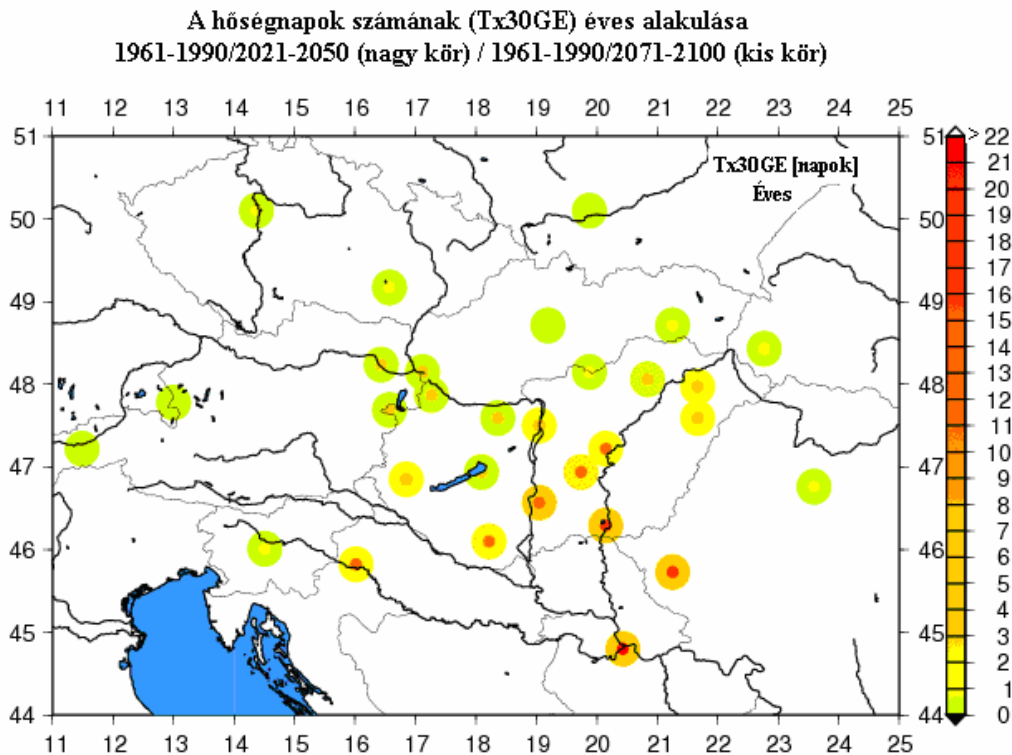
A trópusi éjjelek számának (Tn_{20GT}) várható alakulásáról ad számot a 6. ábra. A térképen első ránézésre szembetűnő piros körök jelzik a 2071-2100 időszakra jellemző pozitív extrémum referencia időszakhoz viszonyított nagyarányú növekedését, melynek értéke ezen időszakra a 900%-ot is elérheti. A melegedő hatás szembetűnő, de ha a nem relatív változást tekintjük, akkor láthatjuk, hogy míg 1961-1990-ben a trópusi éjjelek száma 0–41 nap között alakult, addig ez az érték a XXI. század közepére a 1–51 nap közé, a XXI. század végére pedig 9–89 nap közé várható. A szélsőséges paraméter gyakoriságának növekedése Magyarországon lesz a legszámottevőbb, a környező területeken közel fele annyi 20 °C-os minimumhőmérsékletű nap valószínűsíthető, és hazánktól távolodva számuk egyre csökken.



6. ábra

A trópusi éjjelek számának (Tn_{20GT}) éves alakulása a Kárpát-medencében a XXI. század közepén, illetve végén. Referencia időszak: 1961-1990.

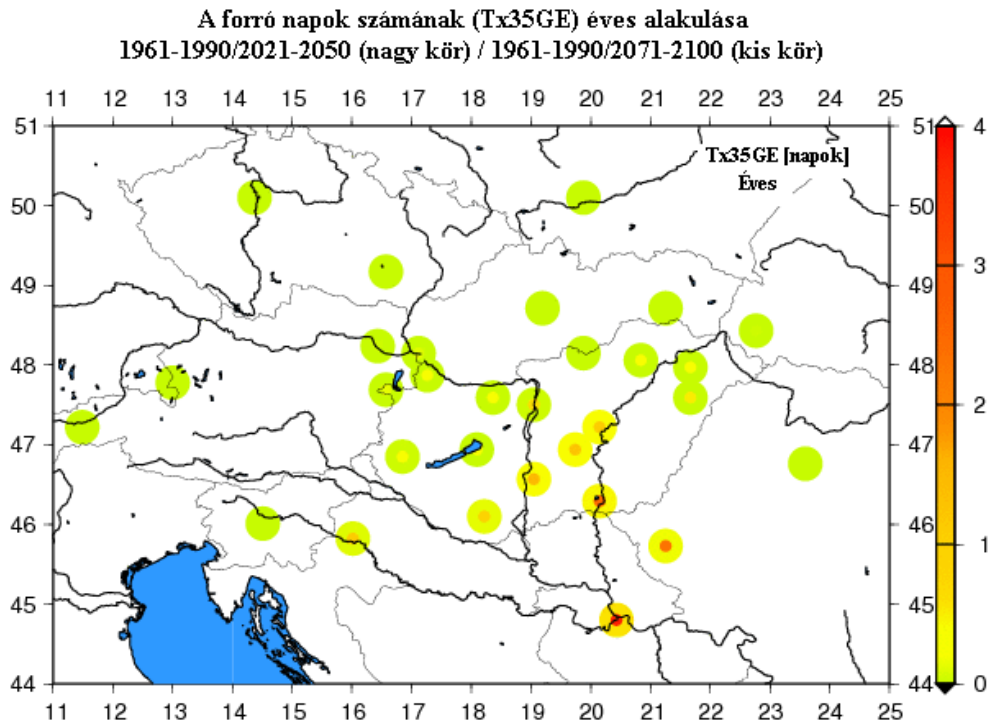
A 7. ábrán térképes formában ábrázoljuk a hőségnapok számának (Tx30GE) várható alakulását az 1961-1990 referencia időszakhoz képest. Ugyan ezen pozitív hőmérsékleti index gyakorisága jelenleg még nem olyan számottevő, mint a nyári napok száma, illetőleg a trópusi éjjelek száma, azonban növekvő tendenciája a Kárpát-medence éghajlatának melegedésére utal. Míg a referencia időszakban előfordulási valószínűségük igen csekélynek mondható, (mindösszesen átlagosan 4 nap), addig 2021-2050-re számuk akár 80%-kal is növekedhet, és 2071-2100-ra a várható növekedés értéke elérheti 420%-ot, ami például Belgrádban, Temesvárott és Szegeden is, 2071-2100-ra 20 nappal több hőségnapot eredményezhet. A rácspontok többségében azonban nem kell ilyen mértékű növekedésre számítani, a század közepére átlagosan 1–3 nappal, a század végére 5–10 nappal több hőségnappal számolhatunk.



7. ábra

A hőségnapok számának (Tx30GE) éves alakulása a Kárpát-medencében a XXI. század közepén, illetve végén. Referencia időszak: 1961-1990.

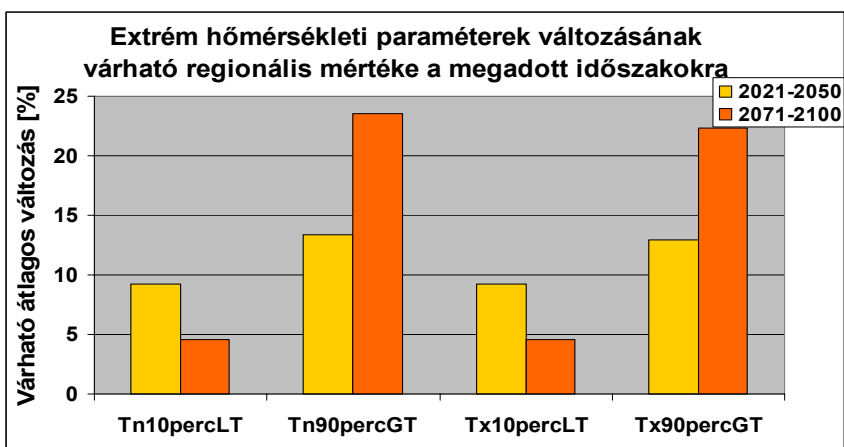
A 8. ábrán a legszélsőségesebb pozitív hőmérsékleti index, a forró napok számának (Tx35GE) jövőbeni várható változását ábrázoltuk. Előljáróban elmondható, hogy ez a paraméter a kontrollidőszakban szinte egyáltalán nem fordult elő, s a két éghajlati projekció közül a század közepére — a nagyobb körökkel jelezve — értéke alig változik vagy csak 1 nappal lesz több, azonban a század végére délen, — a kisebb, piros körrel mutatva — Belgrádban az évi 4 napot is elérheti a forró napok száma, ezzel 400%-os változást eredményezve. A szélsőséges index értékének növekedése zonális struktúrájú, a vizsgált terület északi részein várhatóan kisebb, délebbre várhatóan nagyobb mértékű változás következik majd be, továbbá a hegyvidéki területeken alig, míg az alföldi régiókban számottevőbb melegedés lesz tapasztalható.



8. ábra

A forró napok számának (Tx35GE) éves alakulása a Kárpát-medencében a XXI. század közepén, illetve végén. Referencia időszak: 1961-1990.

A továbbiakban a 9. ábrán diagram segítségével és a 6. táblázatban számszerűsítve bemutatjuk néhány extrém hőmérsékleti paraméter várható átlagos változását a Kárpát-medence térségére a megadott időszakokra. Az oszlopdiaagramon jól látható, hogy a pozitív extrémek, mint a meleg éjszakák (Tn90percGT) és a meleg napok (Tx90percGT) esetében várhatóan nagyobb mértékű növekedés fog bekövetkezni 2071-2100-ra, mint 2021-2050-re. Ezzel szemben a negatív hőmérsékleti extrém indexek, vagyis a hideg éjszakák (Tn10percLT) és a hideg napok (Tx10percLT) számában csökkenés várható 2021-2050 és 2071-2100 között. A meleg napok arányának átlagos növekedésének mértéke 10% alatti, viszont a meleg éjszakák átlagosan 70%-kal gyakoribbak lehetnek. A hideg extrém hőmérsékleti értékek várható csökkenése mindkét esetben 50% körüli. Mindezeket figyelembe véve valószínűsíthető a vizsgált közép-európai térségben a klíma további melegedő trendje.



9. ábra

A hideg éjszakák (Tn10percLT), a meleg éjszakák (Tn90percGT), a hideg napok (Tx10percLT) és a meleg napok (Tx90percGT) arányának várható átlagos változása a Kárpát-medencében a XXI. század közepére, illetve végére. Referencia időszak: 1961-1990.

	2021-2050	2071-2100	Változás mértéke
Hideg éjszakák aránya, Tn10percLT	8–10%	4–5%	–50%
Meleg éjszakák aránya, Tn90percGT	12–15%	22–25%	[66%; 83%]
Hideg napok aránya, Tx10percLT	9–10%	4–6%	[–55%; –40%]
Meleg napok aránya, Tx90percGT	12–14%	13–15%	[7%; 8%]

6. táblázat

Extrém hőmérsékleti indexek várható változása a Kárpát-medence térségére a XXI. század közepére, illetve végére. Referencia időszak: 1961-1990.

5. Extrém csapadékindexek elemzése

5.1. Csapadékindexek verifikációja

A hőmérsékleti indexekhez hasonlóan a csapadékparaméterek esetében is elvégeztük a verifikációs vizsgálatot, melyet a 7. táblázatban részletezünk. A kapott alul-, illetve felülbecslés mértéke többnyire a $\pm 10\%$ -os intervallumon belül mozog, vagyis a RegCM3 elfogadható mértékben reprodukálja a referencia időszak éghajlatát, s így feltételezhetően viszonylag pontosan becsli a jövőben várható változásokat is. Az extrém csapadékú napok arányát (RR20), valamint az év során mért legnagyobb 1 nap alatt lehulló csapadék mennyiségét (Rx1) teljes pontossággal visszaadja az ECHAM5 globális modell adta kezdeti feltételekkel futtatott modell. Kellőképpen jól közelíti még meg az 5 nap alatt lehulló csapadék mennyiségének értéke is a validációhoz választott ERA-40 reanalízis adatokkal futtatott RegCM3 outputok értékeit. Általánosságban megállapíthatjuk, hogy a szimulációk az extrém csapadékok előfordulását kis mértékben, de inkább alulbecslik a vizsgált közép-európai térségben.

1961-1990	ERA-40 reanalízis	Az alul-, felülbecslés mértéke átlagosan	ECHAM5 globális modell
Átlagos csapadékos napok százaléka, Wdmp	86–97%	– 2%	83 – 97%
Átlagos száraz napok százaléka, DDmp	80–90%	– 4%	75 – 89%
Csapadékos napok aránya, WDP	45–70%	+ 4%	44 – 76%
5 mm-nél nagyobb csapadékú napok aránya, WDP5GT, (Rnap>5mm)	18–47%	– 5%	14 – 48%
10 mm-nél nagyobb csapadékú napok aránya, WDP10GT, (Rnap>10mm)	7–28%	– 8%	5 – 27%

1961-1990	ERA-40 reanalízis	Az alul-, felülbecslés mértéke átlagosan	ECHAM5 globális modell
20 mm-nél nagyobb csapadékú napok aránya, WDP20GT, (R _{nap} >20mm)	1–11%	-8%	1–10%
Nagy csapadékú napok aránya, RR10 (R _{nap} >10mm)	3–16%	+5%	3–17%
Extrém csapadékú napok aránya, RR20 (R _{nap} >20mm)	1–6%	0%	1–6%
Az év során mért legnagyobb 1 nap alatt lehullott csapadékmennyiség, Rx1	29–67 mm	0%	30–66 mm
Az év során mért legnagyobb 3 nap alatt lehullott csapadékmennyiség, Rx3	44–125 mm	-4%	43–120 mm
Az év során mért legnagyobb 5 nap alatt lehullott csapadékmennyiség, Rx5	54–149 mm	+1%	51–154 mm
Az év során mért legnagyobb 10 nap alatt lehullott csapadékmennyiség, Rx10	72–186 mm	+5%	66–204 mm

7. táblázat

Az ERA-40 reanalízis és az ECHAM5 globális modell adta kezdeti feltételekkel futtatott szimulációk (1961-1990) eredményei közötti eltérések

5.2. Várható változások

Ebben a fejezetben a csapadékparaméterek szélsőségeinek 2021-2050-re, illetve 2071-2100-ra várható változásait szemléltetjük diagramok, táblázatok és térképek segítségével, az A1B scenárióra vonatkozóan.

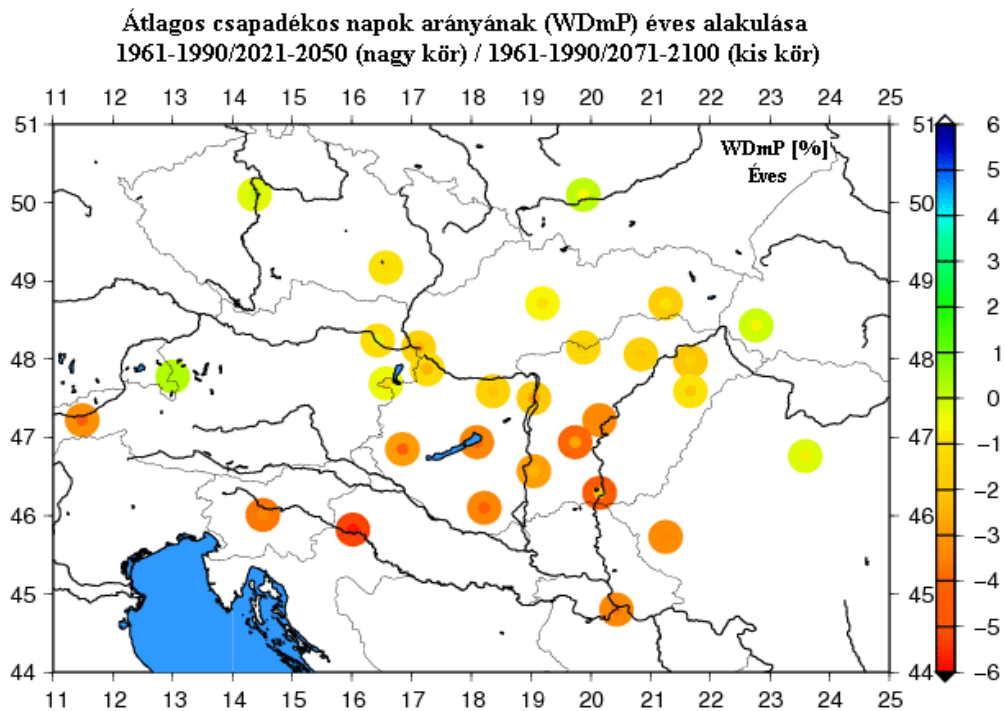
Elsőként vizsgáljuk meg a bemutatásra kerülő csapadékindexek alakulását. A 8. táblázatban összefoglaló képet kapunk az extrém csapadékparaméterek változásairól 2021-2050-re és a 2071-2100-ra, az 1961-1990 referencia időszakhoz viszonyítva. Általánosságban elmondható, hogy a szélsőségek mindkét vizsgált éghajlati projekcióra gyakoribbakká válnak. Csökkenő tendenciát csak két általunk részletesebben vizsgált paraméter esetén tapasztalunk. A csapadékos napok előfordulásának valószínűsége várhatóan ritkul, az átlagos csapadékos napok százaléka (WDmP) a század végére 6%-kal, míg a csapadékos napok aránya (WDP) a század végére várhatóan 16%-kal kevesebb a referencia időszakhoz képest. Ezek az értékek előrevetítik a Kárpát-medence éghajlatának szárazabbá válását, vagyis a XXI. század végére átlagosan 10%-kal kevesebb csapadékos napra kell számítani, és 4%-kal több száraz napra. A csapadékos napok átlagosan véve csökkennek az idő előrehaladtával, ezzel párhuzamosan az extrémumok gyakorisága várhatóan megnövekszik, vagyis a rövid időn belül, hirtelen nagy mennyiségű csapadék hullása valószínűbbé válik. A nagy csapadéku napok (RR10), vagyis azon napok, amikor 1 nap alatt 10 mm csapadék hullik, a század közepére 10%-kal, a végére akár 20%-kal gyakrabban fordulhatnak elő. Hasonló arányú növekedés várható az 5 mm-nél és a 10 mm-nél nagyobb csapadéku napok (WDP5GT, WDP10GT) számában is. Ezeknél az értékeknél jóval szélsőségesebb, növekvő tendenciát jeleznek az extrém csapadéku napok (RR20, WDP20GT) változásai, miszerint a 2071-2100-ra már átlagosan 50%-kal nő előfordulási valószínűségük. A csapadékos napok száma összességében ugyan csökken, viszont az 1, 3, 5 és 10 nap alatt lehulló csapadékok mennyisége (Rx1, Rx3, Rx5, Rx10) a század közepére minden esetben várhatóan 10%-kal növekszik, és századunk végére növekedésének felső határa a 20%-hoz közelít. Az esetek többségében az éghajlati projekciók közelebbi időszakára 10 mm-rel, a későbbi idősakra már 20 mm-rel nőhet meg. A szélsőséges csapadékparaméterek előfordulása inkább a nyári hónapokban lesz valószínűbb, télen némi csökkenés is megfigyelhető.

	1961-1990	2021-2050	Változás mértéke	2071-2100	Változás mértéke
Átlagos csapadékos napok százaléka, Wdmp	83–97%	78–97%	[-6%; 0%] I: [-8%; +1%] VII: [-3%; 0%]	78–97%	[-6%; 0%] I: [-2%; +1%] VII: [-10%; 0%]
Átlagos száraz napok százaléka, DDmp	75–89%	76–91%	[1%; 2%] I: [0%; 2%] VII: [-2%; 0%]	77–92%	[3%; 4%] I: ± 1% VII: [4%; 8%]
Csapadékos napok aránya, WDP	44–76%	38–74%	[-14%; -3%] I: [13%; 0%] VII: [-10%; +1%]	37v72%	-5 – (-16)% I: [-8%; +1%] VII: [-27%; -4%]
Nagy csapadékú napok aránya, RR10 (Rnap>10mm)	3–17%	3–19%	[9%; 11%] I: 0% VII: [-33%; +15%]	3v20%	[13%; 18%] I: [5%; 50%] VII: [-33%; 0%]
Extrém csapadékú napok aránya, RR20 (Rnap>20mm)	1–6%	1–8%	[1%; 33%] I: [-14%; 0%] VII: [0%; 25%]	1–8%	[1%; 33%] I: [0%; 28%] VII: [-12%; 0%]
5 mm-nél nagyobb csapadékú napok aránya, WDP5GT, (Rnap>5mm)	14–48%	15–50%	[4%; 7%] I: [-2%; 0%] VII: [0%; 4%]	16–50%	[4%; 14%] I: [4%; 9%] VII: [6%; 12%]
10 mm-nél nagyobb csapadékú napok aránya, WDP10GT, (Rnap>10mm)	5–27%	5–30%	[0%; 11%] I: [33%; 80%] VII: [10%; 20%]	6–30%	[11%; 20%] I: [16%; 33%] VII: [7%; 40%]
20 mm-nél nagyobb csapadékú napok aránya, WDP20GT, (Rnap>20mm)	1–10%	2–11%	[10%; 50%] I: 0% VII: [16%; 100%]	2–12%	[20%; 50%] I: [0%; 33%] VII: [-8%; +100%]
Az év során mért legnagyobb 1 nap alatt lehullott csapadékmennyiség, Rx1	30–66 mm	33–71 mm	[7%; 10%]	31–77 mm	[3%; 17%]
Az év során mért legnagyobb 3 nap alatt lehullott csapadékmennyiség, Rx3	43–120 mm	47–129 mm	[8%; 9%]	46–142 mm	[7%; 18%]
Az év során mért legnagyobb 5 nap alatt lehullott csapadékmennyiség, Rx5	51–154 mm	55–165 mm	[7%; 8%]	53–178 mm	[4%; 16%]
Az év során mért legnagyobb 10 nap alatt lehullott csapadékmennyiség, Rx10	66–204 mm	69–222 mm	[5%; 9%]	69–239 mm	[5%; 17%]

8. táblázat

Extrém csapadék indexek változása a Kárpát-medence térségére a XXI. század közepére illetve, végére. Referencia időszak: 1961-1990.

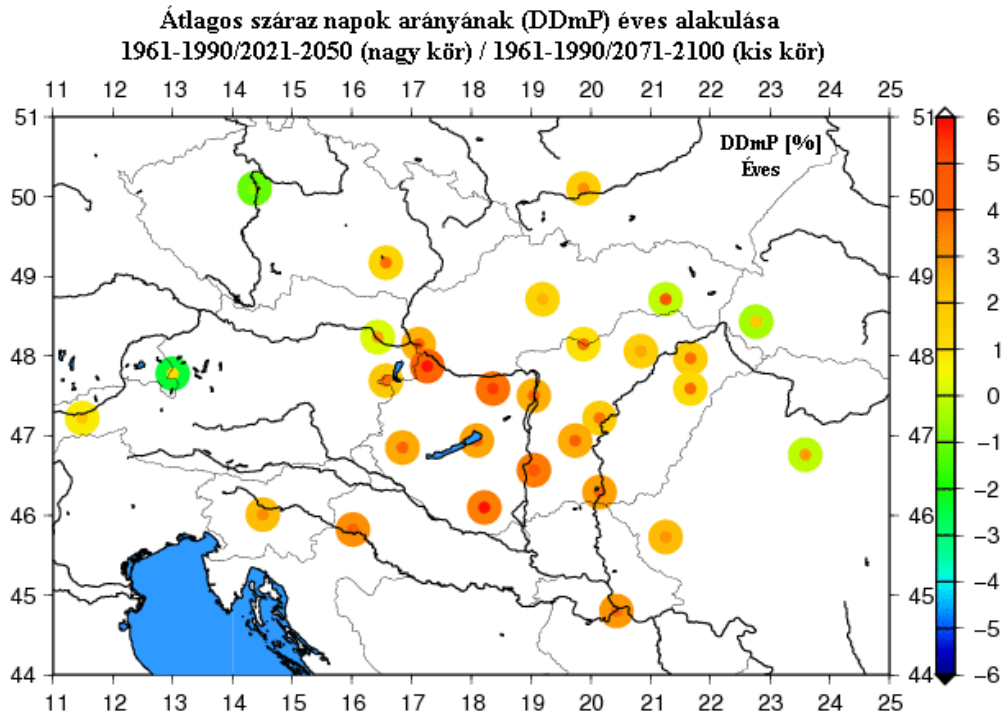
A hőmérsékleti extrémumok alakulásához hasonlóan a szélsőséges csapadékparamétereket is szemléltetjük térképes formában. Minden esetben az 1961-1990 referencia időszakhoz képest bekövetkező változásokat ábrázoljuk. A korábbiakban alkalmazott jelölések szerint a nagyobb körök a 2021-2050-re, a kisebbek a 2071-2100-ra várható változásokat jelzik. A 10. ábrán az átlagos csapadékos napok arányának (WDmP) alakulását vesszük számba. A táblázatban számszerűsített értékek a térképen is jól tükrözik a várható változásokat, melyek $\pm 6\%$ -os alsó- és felső küszöb között valószínűsíthetők. A színskála piros árnyalatai a csökkenést, vagyis az éghajlat szárazabbá válását jelzik, míg a kékes árnyalatok a csapadékosabbá válásra utalnak. A térképen megfigyelhető a zonális struktúra, vagyis hogy a csapadékos napok száma északról dél felé erősebben csökken, és délebbre, az általunk vizsgált század végi időszakra, már 6%-os csökkenés is megfigyelhető. A Kárpát-medence középső területein jelentős változás nem valószínűsíthető, a hegyvidékeken alig, vagy egyáltalán nem lesz eltérés a referencia időszakhoz képest, és ha lesz is, akkor is a napok számának növekedése valószínűbb. Elmondhatjuk, hogy a csapadékos napok aránya a két vizsgált éghajlati projekció között nem változik jelentősebben.



10. ábra

Átlagos csapadékos napok arányának (WDmP) alakulás a Kárpát-medence térségére a XXI. század közepére, illetve végére. Referencia időszak: 1961-1990.

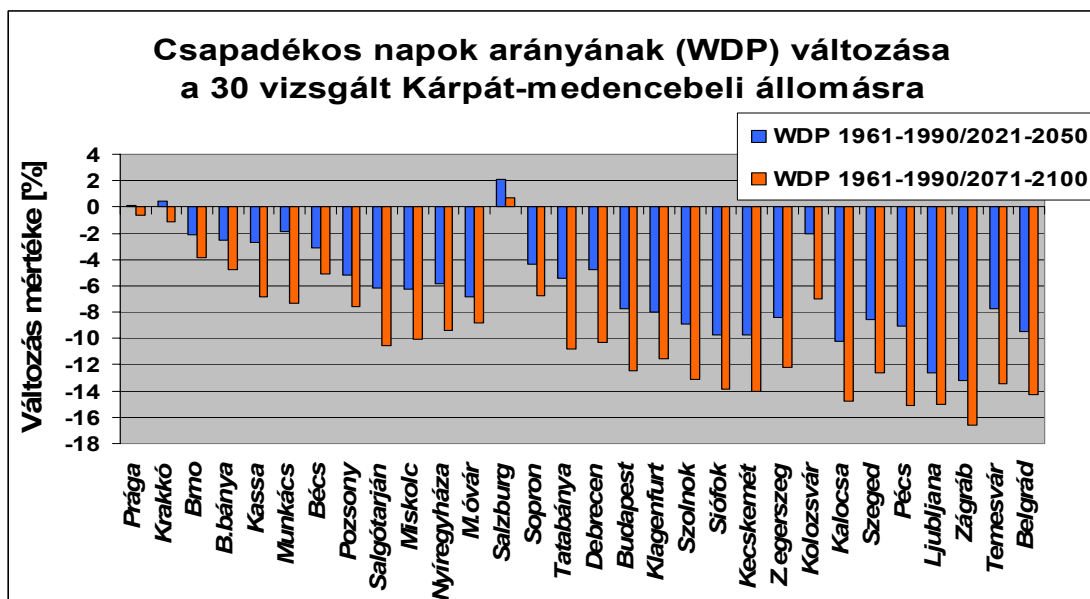
A 10. ábrán megfigyelhettük a csapadékos napok arányának változást, most lássuk, hogyan alakul az átlagos száraz napok aránya (DDmP) a Kárpát-medence térségében a XXI. század közepére, illetve végére. A 11. ábrán a kisebb, nagyobb körök jelölésben szerepe nem változott, a színskála szintén a $\pm 6\%$ -os keret között mozog, azonban jelen esetben a színek pirosas árnyalata a pozitív tendenciát, a kék árnyalatok pedig a negatív tendenciát jelzik, utalva a térség szárazabbá válására. A referencia időszakhoz viszonyított változás a 2021-2050-re jelentősebb lesz (3–4%-os), mint 2071-2100-ra, ahol a század közepére elért átlagos száraz napok aránya a továbbiakban már csak 1–2%-kal gyarapodik. A Kárpát-medence térségének szárazabbá válása az alföldi régiókban várhatóan erőteljesebb lesz, mint a hegyvidéki területeken, s a XXI. század végére szinte az egész térségben a csapadékos napok arányának csökkenésére számíthatunk.



11. ábra

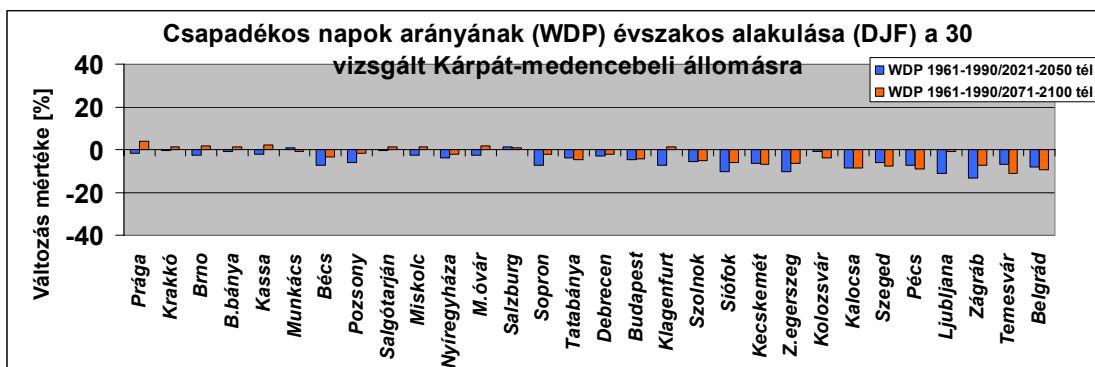
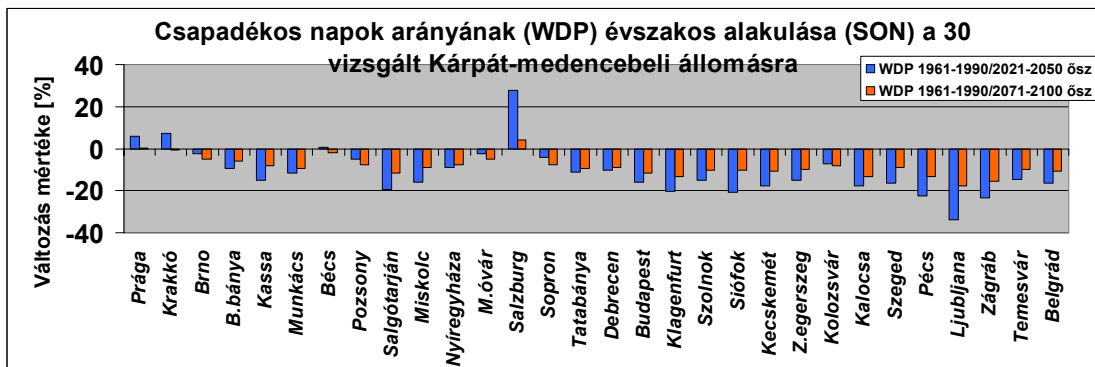
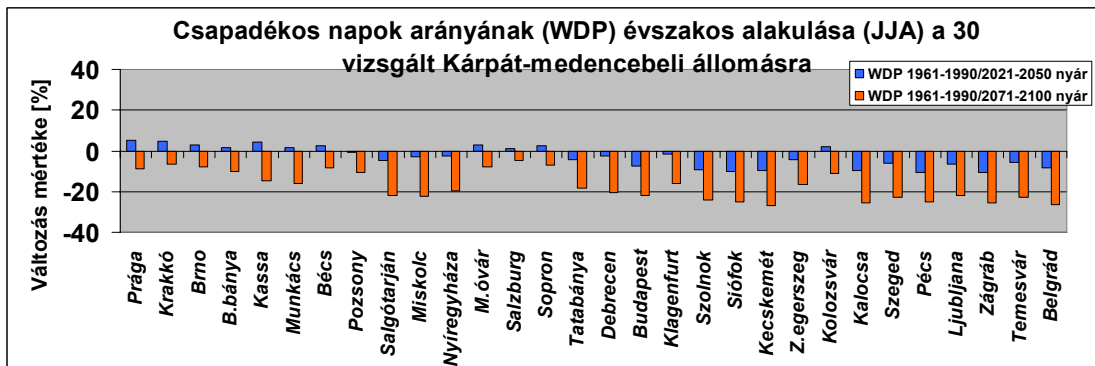
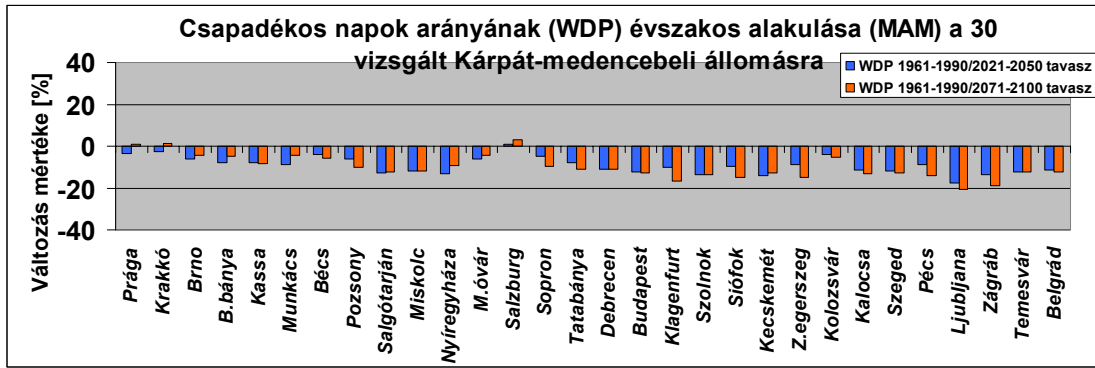
Átlagos száraz napok arányának (DDmP) alakulása a Kárpát-medence térségére a XXI. század közepére, illetve végére. Referencia időszak: 1961-1990.

A 12. ábrán a csapadékos napok (WDP) arányának várható éves változását tüntetjük fel mind a 30 kiválasztott rácspont esetén, és a 13. ábrán négy kisebb diagram segítségével a várható évszakai trendeket mutatjuk be. Elmondható, hogy éves szinten az 1961-1990 referencia időszakhoz viszonyítva egyetlen esetet kivéve (Salzburg) jól láthatóan csökkenésre számíthatunk, 2021-2050-re és 2071-2100-ra egyaránt. A század közepére átlagosan 8%-kal kevesebb csapadékos nappal számolhatunk, és ez az érték a későbbiek során 10%-ra nő, szélsőséges esetekben elérheti a 16%-os csökkenést is a referencia időszakhoz képest. Az osztrák város esetében a század közepére még 2%-os, a végére már csupán 0,5%-os növekedés várható. Minden vizsgált város esetében tapasztalhatjuk, hogy a század közepe után, az idő előrehaladtával a csapadékos napok aránya tovább csökkenhet. Évszakai alakulásukat a 13. ábrán nyomon követhetjük megfigyelhető, hogy a legcsapadékosabb évszak várhatóan a tél lesz, ebben az évszakban a legkevésbé jelentős a vizsgált csapadékpáraméter arányának csökkenése, átlagosan véve nem éri el a 10%-ot, és a század közepe és vége között sem valószínűsíthetőek jelentősebb különbségek. Ezzel ellentétesen a nyári időszakot tekintve a csapadékos napok arányának század végére történő ritkulása a vizsgált városok többségében, a referencia időszakhoz képest 20%-os. A tavaszi és a nyári időszakokban a csapadékos napok számának század végére várható egységes és egyértelmű csökkenése olvasható le, az őszi hónapokban azonban a 2021-2050 után 2071-2100-ra a csapadékos napok aránya nő, azonban még mindig 10%-kal az 1961-1990 időszakban mért alatt marad.



12. ábra

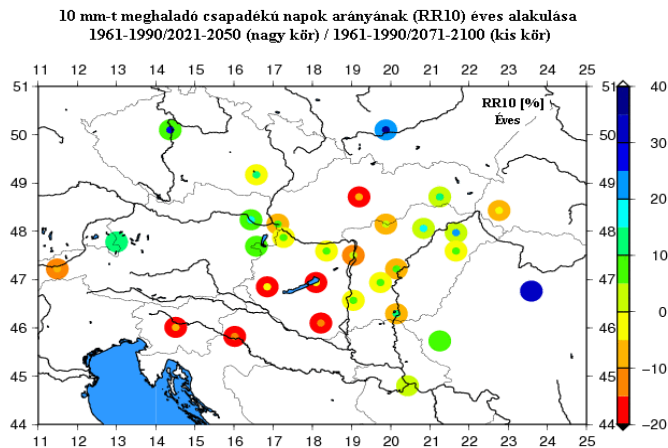
Csapadékos napok (WDP) arányának változása a Kárpát-medence térségében a XXI. század közepére, illetve végére. Referencia időszak: 1961-1990.



13. ábra

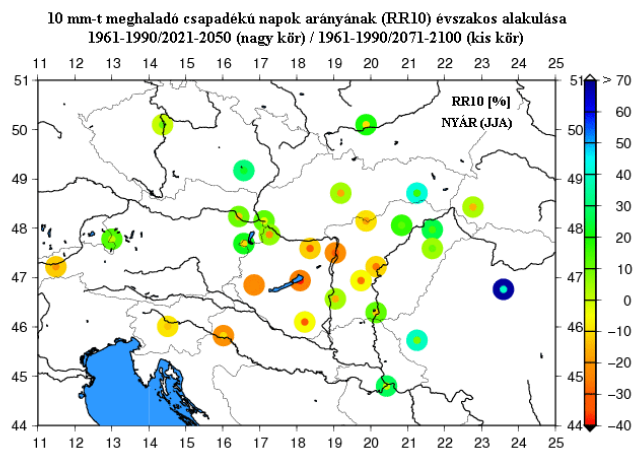
Csapadékos napos arányának (WDP) évszakos alakulása a Kárpát-medencében a XXI. század közepére illetve végére. Referencia időszak: 1961-1990.

A 14., 15. és 16. ábrán a 10 mm-t meghaladó csapadékú napok arányának (RR10) várható éves, majd évszakos alakulását illusztráljuk a XXI. század közepére, illetve végére az 1961-1990 referencia időszakhoz képest, százalékban kifejezve. Ezen extrém index átlagos éves trendje térben meglehetősen változatos képet mutat, a referencia időszakhoz képest növekedés és csökkenés egyaránt előfordulhat a jövőben. A várható változások [-20%; +40%] intervallumba esnek. A Dunántúltól az Adriai-tenger felé haladva, DNY-i irányban a század közepére akár 20%-os csökkenés is valószínűsíthető, ez az érték azonban a század végére mérséklődik. A hegyvidéki területeken a nagy csapadékú napok aránya inkább nő, 10–20%-kal, a síkságokon pedig inkább csökken, körülbelül 5%-kal. Az ábrán jól látható 2 extrémebb eset is, amikor a szélsőséges paraméter növekedésében, a referencia időszakhoz képest a század végére 30%-os, de akár 40%-os növekedés is lehetséges, ez a változás Lengyelország és Románia területén figyelhető meg. Az évszakos tendenciákat vizsgálva a nagy csapadékú napok gyakorisága nyáron jelentősebb és szélsőségesebb, mint télen néhány esetben a 70%-ot is meghaladó lehet. Az említett dunántúli területeken az évszakos alakulást tekintve télen is és nyáron is kevesebbszer fordulhatnak elő ezen paraméterek, a hegyvidéki területeken azonban annál gyakrabban. Az évszakos változásokban is kitűnik, hogy a század közepéhez képest a század végére átlagosan 10%-kal gyakoribbá válnak a 10 mm-t meghaladó csapadékú napok. Összességében elmondható, hogy a század közepére néhány rácspontra esetén még csökkenés valószínű, azonban a század végére minden esetben jelentősebb lesz a növekedés a nagy csapadékú napok alakulását vizsgálva.



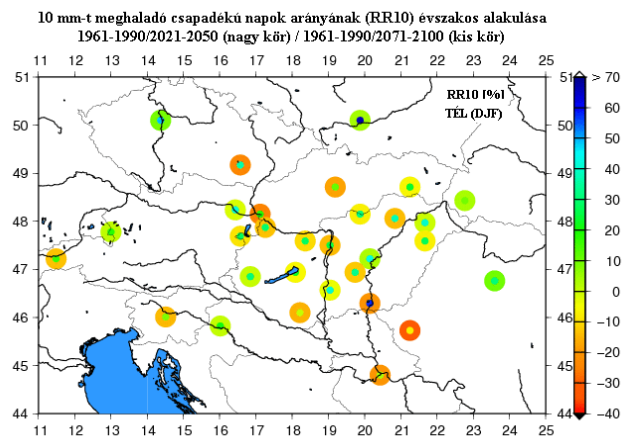
14. ábra

A 10 mm-t meghaladó csapadékú napok arányának (RR10) várható éves alakulása a Kárpát-medencében a XXI. század közepén illetve végén. Referencia időszak: 1961-1990.



15. ábra

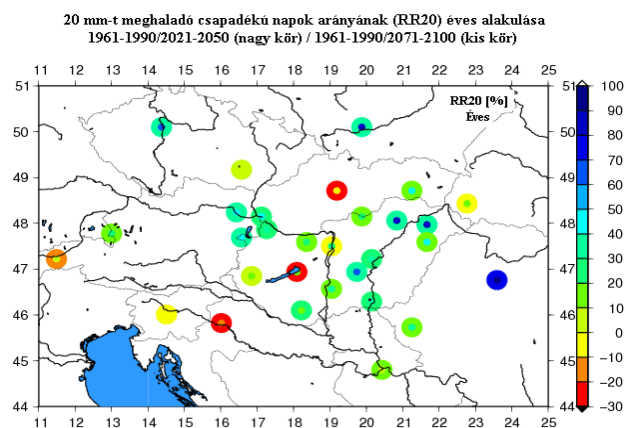
A 10 mm-t meghaladó csapadékú napok arányának (RR10) várható nyári alakulása a Kárpát-medencében a XXI. század közepén, illetve végén. Referencia időszak: 1961-1990.



16. ábra

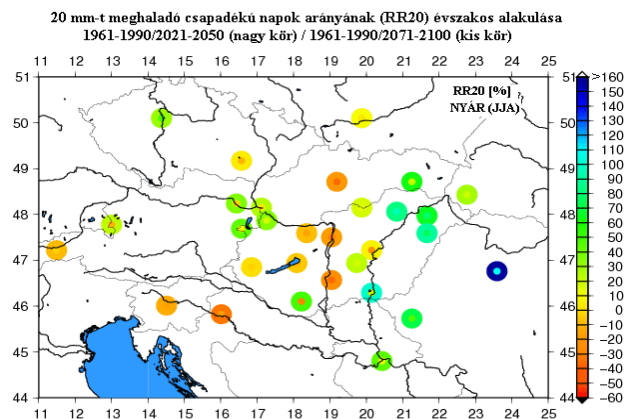
A 10 mm-t meghaladó csapadékú napok arányának (RR10) várható téli alakulása a Kárpát-medencében a XXI. század közepén illetve végén. Referencia időszak: 1961-1990.

A 17., 18. és a 19. ábrán a 20 mm-t meghaladó csapadékú napok arányának (RR20) várható éves, majd évszakos alakulását vizsgáljuk a Kárpát-medencében a XXI. század közepére és végére a referencia időszakhoz viszonyítva. Éves szinten tekintve elmondható, hogy a Kárpát-medence egészében várhatóan nőni fog ennek a szélsőséges csapadékparaméternek az értéke a század közepére, és végére egyaránt. A két éghajlati projekció között, hasonlóan az RR10-hez, további növekedés várható. Az 1961-1990 időszakhoz képest 2021-2050-re legkevesebb 13%-kal és legszélsőségebb esetben 50%-kal nő meg a 20 mm-t meghaladó csapadékú napok aránya. Jelentősebb csökkenés éves szinten csak a szlovák és horvát város esetében valószínű, ezzel szemben erős növekedés (80%-ot elérő, majd meghaladó) várható Kolozsvárott. Erről a térképről nem jelenthető ki egyértelműen, hogy csak a sík vagy csak a hegyvidéki területeken lesz erősebb a csökkenés, vagy a növekedés, ugyanis nem mutat egységes eloszlást ennek az extrém paraméternek a várható gyakorisága. Az évszakos változásokat megjelenítő térképeken látható, hogy télen gyengébb csökkenése várható ezen paraméter gyakoriságának, azonban a nyári valószínűsíthető értékek extrém nagy értékei, melyek a 160%-ot is meghaladják, éves szinten a 20 mm fölötti csapadékú napok arányának növekvő tendenciája felé viszik el az éves mérleget.



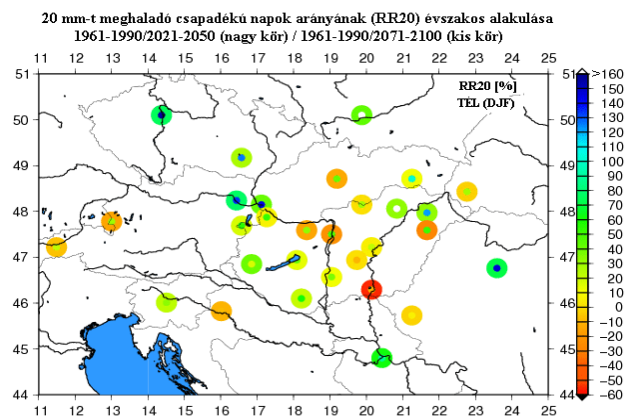
17. ábra

A 20 mm-t meghaladó csapadéku napok arányának (RR20) várható éves alakulása a Kárpát-medencében a XXI. század közepén, illetve végén. Referencia időszak: 1961-1990.



18. ábra

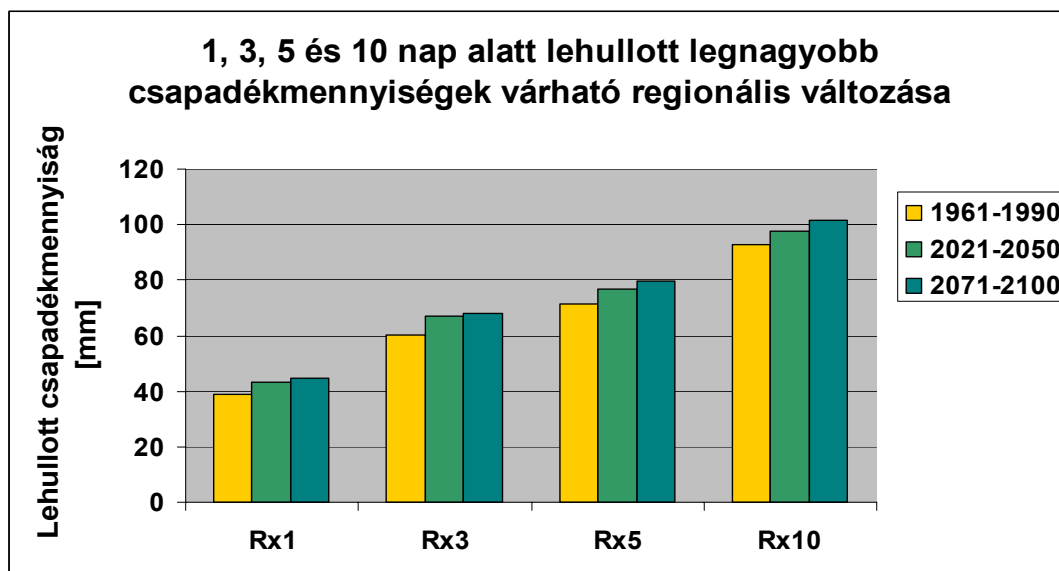
A 20 mm-t meghaladó csapadéku napok arányának (RR20) várható nyári alakulása a Kárpát-medencében a XXI. század közepén illetve végén. Referencia időszak: 1961-1990.



19. ábra

A 20 mm-t meghaladó csapadéku napok arányának (RR20) várható téli alakulása a Kárpát-medencében a XXI. század közepén illetve végén. Referencia időszak: 1961-1990.

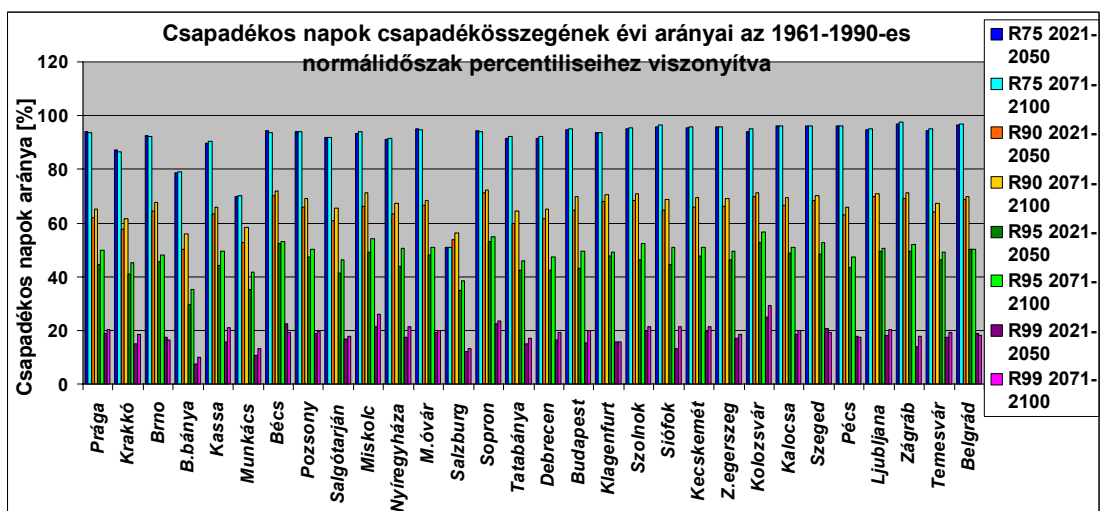
A 20. ábrán oszlopdiagram formájában szemléltetjük az 1, 3, 5 és 10 nap alatt lehulló maximális csapadékmennyiségek (Rx1, Rx3, Rx5, Rx10) várható regionális változásait a 2021-2050 és a 2071-2100 időszakokra az 1961-1990 referencia időszakhoz képest. A diagramon egyértelmű növekedés látszik mind a négy szélsőséges csapadékparaméter esetében. Elmondható, hogy minden esetben átlagosan hasonló mértékben fog nőni, az 1, 3, 5, 10 nap alatt lehulló maximális csapadék mennyisége a XXI. század közepére és végére is. A közelebbi éghajlati projekcióra átlagosan 8%-os, a későbbire 13%-os a várható növekedés mértéke. A referencia időszak és század vége között bekövetkező legnagyobb gyarapodás a 3 nap alatt lehulló csapadék mennyiségében a legnagyobb, maximális esetben ez az érték elérheti a 18%-ot is, vagyis az 1961-1990 időszakban mért 43-120 mm a század végére 46-142 mm is lehet. A négy esetet összehasonlítva látható, hogy a lehullott legnagyobb csapadék mennyisége várhatóan átlagban a 40–100 mm között mozog.



20. ábra

Az 1, 3, 5 és 10 nap alatt lehullott átlagos legnagyobb csapadékmennyiségek várható regionális változása a XXI. század közepére illetve végére. Referencia időszak: 1961-1990.

A 21. ábra és a 9. táblázat segítségével még négy nagyon fontos extrém csapadékparaméter várható alakulását mutatjuk be. A 21. ábra oszlopdiaagramjai szemléltetik a csapadékos napok csapadékösszegeinek évi arányait az 1961-1990 referencia időszak percentiliseihez viszonyítva (R75, R90, R95, R99). Ezekben az esetekben a 2021-2050 időszakot hasonlítjuk össze a 2071-2100 időszeakkal. Minden esetben megfigyelhető, hogy a század közepéhez képest növekedés valószínűsíthető a század végére, vagyis a csapadék egyre nagyobb hányada hullik majd intenzívebben. A mérsékelt csapadékos napok arányában (R75) várható a legkisebb növekedés, a század végére szinte egyáltalán nem, de maximálisan is csak 2%-ot nő, és szintén kevésbé jelentős a változás a csapadékos napok csapadékösszegeinek évi arányában az 1961-1990 időszak felső deciliséhez viszonyítva (R90). A nagyon csapadékos napok aránya (R95) átlagosan 15%-kal gyarapodik, és az extrém csapadékos napok arányának változásában, a legjelentősebb 16-43%-os növekedés valószínűsíthető.



21. ábra

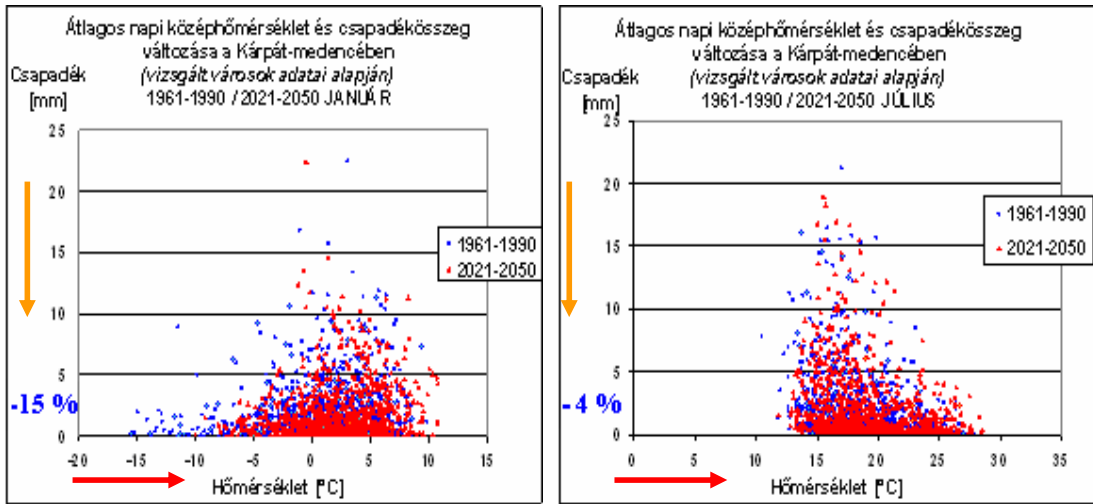
Csapadékos napok csapadékösszegeinek évi arányai az 1961-1990-es referencia időszak percentiliseihez viszonyítva.

	2021-2050	2071-2100	Változás mértéke
Mérsékelt csapadékos napok aránya, R75	50-97%	51-97%	0 – 2%
Csapadékos napok csapadékösszegeinek évi aránya az 1961-1990-es normálidőszak felső deciliséhez (R90%) viszonyítva, R90	50-71%	56-72%	+ 1 – 12%
Nagyon csapadékos napok aránya, R95	29-53%	35-57%	+ 8 – 21%
Extrém csapadékos napok aránya, R99	7-25%	10-29%	+ 16 – 43%

9. táblázat

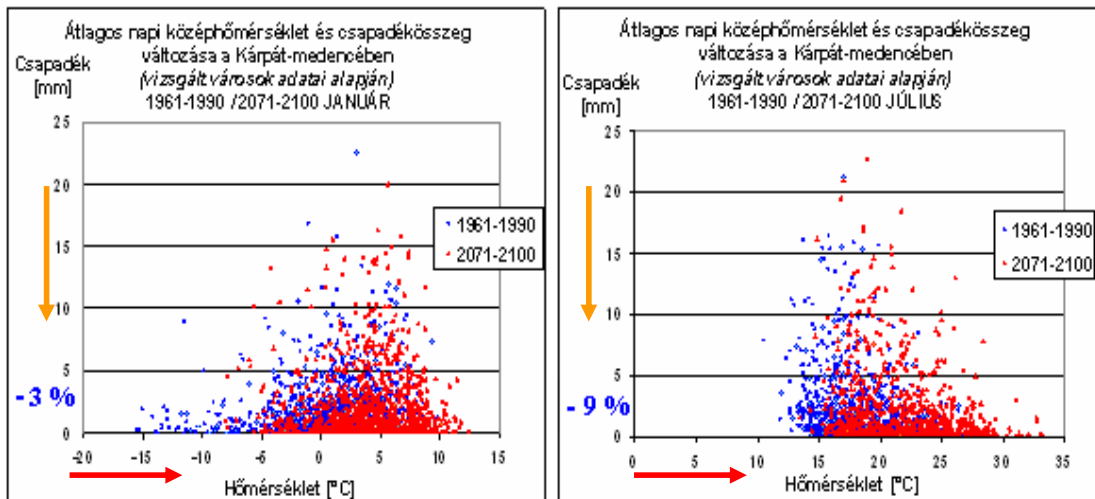
Csapadékos napok csapadékösszegeinek évi arányai az 1961-1990-es referencia időszak percentiliseihez viszonyítva, számszerűsítve.

A 22. és a 23. ábrán a szélsőséges hőmérsékleti és csapadékparaméterek eddigi szétválasztott vizsgálatait után együttesen, csapadék-hőmérséklet pontdiagramok formájában mutatjuk be a XXI. század közepére és végére várható változásokat a januári, valamint a júliusi időszakokat összehasonlítva a Kárpát-medencében. Mind a négy esetben az 1 mm feletti csapadékú napokat figyelembe véve arra az eredményre jutottunk, hogy a Kárpát-medence éghajlata szárazabbá és melegebbé fog válni a vizsgált időszak januárjaiban illetve júliusaiban. Az 1961-1990 referencia időszakhoz képest 2021-2050-re az 1 mm feletti csapadékú napok júliusra várhatóan 4%-kal, míg januárra 15%-kal csökkenhetnek. A referencia időszak 30 évének júliusainak 454 darab 1 mm feletti csapadékú napja, a század közepére 428 napra csökkenhet, és a korábbi januári 536 nap 80 nappal lehet kevesebb, mindemellett enyhébb január [-8 °C ; $+11\text{ °C}$] és melegebb július [13 °C ; 28 °C] várható. Szintén a referencia időszakhoz viszonyítva 2071-2100-ra további melegedésre számíthatunk a térségben. A januári hőmérsékletek átlagosan [-5 °C ; $+13\text{ °C}$] között alakulnak majd, míg júliusban átlagosan $15\text{--}30\text{ °C}$ között várhatóak a hőmérsékletek, és már megjelennek a szélsőségesnek számító hőségnapok is, vagyis tovább melegszik a térség éghajlata. A csapadékösszegek tekintetében a század közepéhez hasonlóan szintén csökkenésre számíthatunk. A normálidőszakhoz képest januárban az 1 mm-nél nagyobb csapadékú napok gyakorisága 3%-kal csökkenhet, vagyis 16 nappal lehet kevesebb, míg júliusban 388 napra redukálódhat a korábbi 454 nap, ezzel 9%-os csökkenést okozva. Megállapítható az is, hogy a század közepéhez képest, a század vége melegebb és csapadékosabb lesz.



22. ábra

Csapadék-hőmérséklet pontdiagramok a januári/júliusi időszakra a Kárpát-medence területére a XXI. század közepére. Referencia időszak: 1961-1990.



23. ábra

Csapadék-hőmérséklet pontdiagramok a januári/júliusi időszakra a Kárpát-medence területére a XXI. század végére. Referencia időszak: 1961-1990.

6. Összefoglalás

Jelen szakdolgozatban a Kárpát-medence hőmérsékleti és csapadék extrém indexeiben várható tendenciák összehasonlító elemzését végeztük el a XXI. század közepére és végére a RegCM3 klímaszimulációinak felhasználásával. Vizsgálataink során a következő hőmérsékleti paraméterek trendjeit tanulmányoztuk: napi középhőmérsékleti tartomány (T_{mDR}), átlagos hideghullám hossza (W_{cmD}), átlagos hóhullám hossza (W_{hmD}), hőösszeg (GDD), vegetációs periódus hossza (GSL), fagyos napok száma (T_{n0LT}), téli napok száma (T_{x0LT}), zord napok száma (T_{n-10LT}), nyári napok száma (T_{x25GT}), trópusi éjjelek száma (T_{n20GT}), hőségnapok száma (T_{x30GE}), forró napok száma (T_{x35GE}), hideg napok aránya ($T_{x10percLT}$), meleg napok aránya ($T_{x90percGT}$), hideg éjjelek aránya ($T_{n10percLT}$) és meleg éjjelek aránya ($T_{n90percGT}$). A modellbecslések alapján az alábbi konklúziókat vonhatjuk:

1. A Kárpát-medence várhatóan melegebbé válik a jövőben.
2. A szélsőséges hőmérsékletekben egyértelműen jelentős melegedés várható, az egész általunk vizsgált régióban, egyik állomás esetében sem vitatható egyik extrém pozitív hőmérsékleti paraméter esetében sem az erős növekedő tendencia.
3. Az alföldi területeken a pozitív hőmérsékleti indexek számának megnövekedése erőteljesebb, mint a hegyvidéki területeken, és ezzel párhuzamosan a hideg extrémumok tendenciájában a magasabban fekvő régiókban kisebb mértékű negatív változások következnek be.
4. A legintenzívebb növekedési arányokat a hőségnapok száma (T_{x30GE}), a forró napok száma (T_{x35GE}), a trópusi éjjelek száma (T_{n20GT}), a meleg napok aránya ($T_{x90percGT}$) és a meleg éjjelek aránya ($T_{n90percGT}$) paramétereknél valószínűsíthetünk, és a meleg hőmérsékleti extrém indexek növekvő tendenciája a század végére valószínűsíthetően erősödik.
5. A negatív extrém hőmérsékleti indexek gyakorisága jelentősen csökken, kevesebb fagyos nap (T_{n0LT}), téli nap (T_{x0LT}), zord nap (T_{n-10LT}), hideg nap ($T_{x10percLT}$) és hideg éjjel ($T_{n10percLT}$) várható a jövőben.

A csapadékparaméterek vizsgálatánál a következő indexekre végeztünk elemzéseket: átlagos csapadékos napok százaléka (W_{DmP}), átlagos száraz napok százaléka

(DDmP), csapadékos napok aránya (WDP), nagy és extrém csapadékú napok aránya (RR10, RR20), 5 mm-nél, 10 mm-nél és 20 mm-nél nagyobb csapadékú napok aránya (WDP5GT, WDP10GT, WDP20GT) az év során mért legnagyobb 1, 3, 5 és 10 nap alatt lehullott csapadékmennyiség (Rx1, Rx3, Rx5, Rx10), csapadékos napok arányai a normálidőszak percentiliseihez viszonyítva (R75, R90, R95, R99). Vizsgálataink alapján a következő konklúziókat vonhatjuk le:

1. Az átlagos csapadék mennyisége valószínűsíthetően csökken, az extrém csapadékú napok gyakorisága, valamint a rövid időn belül lehullott csapadék mennyisége és intenzitása várhatóan megnő a jövőben.
2. A csapadék extrém indexekben éves viszonylatban és regionális átlagban relatíve kis változások várhatóak, a nyári és téli időszakot külön-külön vizsgálva egymással ellentétes jelentős mértékű változásokra számíthatunk.

Megállapítható tehát, hogy a Kárpát-medence térségében is várható jelentős mértékű melegeedés mellett a következő évtizedekben várhatóan a csapadék mennyiségének csökkenése lesz tapasztalható, ami többek között az aszályok gyakoriságának növekedését eredményezi. A klíma szárazabbá és melegebbé válása jelentős hatással lehet a térség sekély állóvizeire, és a változó hidrológiai folyamatok számos ökológiai problémát eredményeznek majd, erős flóra- és faunamozgást okozva. (KIVM, 2003) Becsléseinknél figyelembe kell vennünk, hogy a regionális szimulációk manapság még nem teljesen tökéletesek, és hibával terheltek. A verifikációs vizsgálatok során kitént, hogy a RegCM3 modell a hőmérsékleti értékeket, felül-, míg a csapadékparamétereket általában átlagosan alulbecsli.

Az éghajlatváltozás jelentős mezőgazdasági hatásokat válthat ki, az IPCC 2001-es jelentése szerint a csapadékparaméterek szélsőségének század végére történő ugrásszerű megnövekedése komoly veszélyforrás lehet az ágazat szempontjából. Figyelembe kell venni, hogy miként változnak a klímaváltozás hatására a növénytermesztési feltételek, és ennek megfelelő stratégiák kidolgozására lesz szükség. A jövőbeni állapotok feltérképezésére, éghajlatunk változásának és a szélsőséges paraméterek lehető legpontosabb megismeréséhez a jövőben számos kutatásra és nemzetközi összefogásra lesz még szükség.

Köszönetnyilvánítás

Mindenek előtt köszönettel tartozom Pongrácz Rita adjunktusnak, témavezetőmnek, a felmerülő problémák megoldásában nyújtott segítségével és hogy biztatott, Bartholy Judit tanszékvezető egyetemi tanárnak, hogy szakmailag megalapozta a munkámat, Barcza Zoltán adjunktusnak, a számítástechnikai és programozási problémáim orvoslásáért, Torma Csaba 3. éves PhD hallgatónak, aki a modellek futásával kapcsolatos kérdéseimre válaszokat adott.

Köszönöm a Családom, Kedvesem és barátaim lelkesítő szavait, és segítségét.

Kutatásainkat támogatta a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, az OTKA T-049824, K-67626, K-69164 és K-78125 számú pályázata, valamint az MTA TKI Alkalmazkodás a klímaváltozáshoz című, 2006/TKI/246 számú programja. A RegCM futtatások az EU VI. keretprogram CECILIA projektje (GOCE-037005) keretében készültek.

r

Irodalomjegyzék

- Bartholy J., Schlanger V., 2004: *Az éghajlat regionális modellezése*. A Természet Világa 2004/II. különszám, 40-44.
- Bartholy J., Pongrácz R., 2005a: *Néhány extrém éghajlati paraméter globális és a Kárpát-medencére számított tendenciája a XX. században*. AGRO-21 Füzetek, 40, 70-93.
- Bartholy J., Pongrácz R., 2005b: *Tendencies of extreme climate indices based on daily precipitation in the Carpathian Basin for the 20th century*. Időjárás, 109, 1-20.
- Bartholy J., Pongrácz R., 2006: *Comparing tendencies of some temperature related extreme indices on global and regional scales*. Időjárás, 110, 35-48.
- Bartholy J., Pongrácz R., 2007: *Regional analysis of extreme temperature and precipitation indices for the Carpathian Basin from 1946 to 2001*. Global and Planetary Change 57, 83-95.
- Bartholy J., Pongrácz R., Gelybó Gy., 2008a: *Milyen mértékű éghajlatváltozás várható a Kárpát-medencében?* Léggör LIII. évfolyam, 2008/2. szám, 19-24.
- Bartholy J., Pongrácz R., Gelybó Gy., Szabó P., 2008b: *Analysis of expected climate change in the Carpathian basin using the PRUDENCE results*. Időjárás, 112 (No.3-4.), 249-264.
- Bell J. L., Sloan L. C. and Snyder M. A., 2004: *Regional changes in extreme climatic events: A future climate scenario*. J. Climate 17, 81–87.
- Bülow K., Jacob D. and Podzun R., 2005: *Changes in precipitation intensity under climate change over major catchments in Europe*. In Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, edited by J. Coté. WMO/TD-No. 1276, 07-03–07-04.
- Christensen J.H., 2005: *Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects – Final Report*. – DMI, Copenhagen.
- Christensen J.H., Christensen O.B., 2007: *A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century*. Climatic Change 81, 7-30
- Clarke R. T., 2003: *Frequencies of future extreme events under conditions of changing hydrologic regime*. Geophys. Res. Lett. 30, No. 3, 1124.
- Csima G., Horányi A., 2008: *Validation of the ALADIN-Climate regional climate model at the Hungarian Meteorological Service*. Időjárás 112, 155-177

- Dunkel Z., (szerk.) 1998: Meteorológiai Tudományos Napok '97: *Az éghajlatváltozás és következményei*. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest. 289p.
- Easterling D. R., Evans J. L., Groisman P. Ya., Karl T. R., Kunkel K. E. and Ambenje P., 2000a: *Observed variability and trends in extreme climate events*. A brief review. Bull. Amer. Meteor. Soc. 81, 417–425.
- Easterling D. R., Meehl G. A., Parmesan C., Changnon S. A., Karl T. R. and Mearns L. O., 2000b: *Climate extremes: Observations, modeling, and impacts*. Science 289, 2068–2074.
- Frei C., Schär C., Lüthi D. and Davies H. C., 1998: *Heavy precipitation processes in a warmer climate*. Geophys. Res. Lett. 25, 1431–1434.
- Frich P., Alexander L. V., Della-Marta P., Gleason B., Haylock M., Klein Tank A.M.G., Peterson T., 2002: *Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century*. Climate Research, 19, 193-212.
- Gibson J.K., Kallberg P., Uppala S., Nomura A., Hernandez A., Serrano A., 1997: *The ERA-40 project plan*. ERA40 Project Report Series No. 1, 77.
- Giorgi F. (1990): *Simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model*. Journal of Climate 3, 941-963.
- Giorgi F., Marinucci M.R. and Bates G.T., 1993a: *Development of a second generation regional climate model (RegCM2). Part I: Boundary layer and radiative transfer processes*. Mon. Weather Rev. 121, 2794–2813.
- Giorgi F., Marinucci M.R., Bates G.T. and DeCanio G., 1993b: *Development of a second generation regional climate model (RegCM2). Part II: Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions*. Mon. Weather Rev. 121, 2814–2832.
- Gregory J. M., Mitchell J. F. B. and Brady A. J., 1997: *Summer drought in northern midlatitudes in a time-dependent CO2 climate experiment*. J. Climate 10, 662–686.
- Grell G., 2003: *Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parametrizations*. Mon. Weather Rev. 121, 764-784.
- Groisman P. Ya., Knight R. W., Easterling D. R., Karl T. R., Hegerl G. C. and Razuvaev V. N., 2005: *Trends in intense precipitation in the climate record*. J. Climate 18, 1326–1350.
- Halenka T., 2007: *On the Assessment of Climate Change Impacts in Central and Eastern Europe – EC FP6 Project CECILIA*. Geophys. Res. Abstracts 9, 10545.

- Horányi A., Ihász I., and Radnóti, G., 1996: *ARPEGE/ALADIN: A numerical weather prediction model for Central-Europe with the participation of the Hungarian Meteorological Service*. *Időjárás* 100, 277-300.
- Horányi A., 2006: *Regionális klímadinamikai kutatások: nemzetközi és hazai áttekintés*. 31. *Meteorológiai Tudományos Napok, Az éghajlat regionális módosulásának objektív becslését megalapozó klímadinamikai kutatások*, Budapest, 62-70.
- IPCC, 2001: *Intergovernmental Panel on Climate Change 2001: Third Assessment Report. The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC, 2007: *Intergovernmental Panel on Climate Change 2007: The physical science basis. The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Karl T.R., Nicholls N., Ghazi A., 1999: *Clivar/GCOS/WMO Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes Workshop Summary*. *Climatic Changes*, 42, 3-7.
- Kharin V. V. and Zwiers F. W., 2000: *Changes in the extremes in an ensemble of transient climate simulations with a coupled atmosphere–ocean GCM*. *J. Climate* 13, 3760–3788.
- Kharin V. V. and Zwiers F. W., 2005: *Estimating extremes in transient climate change simulations*. *J. Climate* 18, 1156–1173.
- Klein Tank A.M.G. and Coauthors, 2002a: *Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment*. *Int. J. Climatol.*, 22, 1441-1453.
- Klein Tank A.M.G., Wijngaard J.B., van Engelen A., 2002b: *Climate of Europe; Assessment of observed daily temperature and precipitation extremes*. KNMI, De Bilt, the Netherlands, 36p.
- Klein Tank A.M.G., Können G.P., 2003: *Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946-99*. *J. Climate*, 16, 3665-3680.
- Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, 2003: *Nemzetközi Együttműködés az éghajlatváltozás veszélyének, az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére*. Debreceni Egyetem, 27-34
- Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, 2008: *Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia 2008-2025*. Budapest, 114p
- Lenoble J., 1993: *Athmospheric Radiative Transfer*. Deebak, Hampton VA. 532p.
- Meehl G. A., Collins W. D., Boville B. A., Kiehl J. T., Wigley T. M. L. and Arblaster J. M., 2000: *Response of the NCAR Climate System Model to increased CO₂ and the role of physical processes*. *J. Climate* 13, 1879–1898.

- Pal J.S., Giorgi F., Bi X., Elguindi N., Solmon F., Gao X., Francisco R., Zakey A., Winter J., Ashfaq M., Syed F., Bell J.L. and Steiner A., 2007: *Regional climate modeling for the developing world: The ICTP RegCM3 and RegCNET*. B. Am. Meteorol. Soc. 88, 1395-1409.
- Peterson T., Folland C.K., Gruza G., Hogg W., Mokssit A., Plummer N., 2002: *Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs, 1998-2001*. World Meteorological Organisation Rep. WCDMP-47. WMO-TD 1071. Geneva Switzerland. 143p.
- Puskás M., 1985: *Rapszódikus Évszakok* Légkör XXX. évfolyam, 1985/2.szám, 30-31.
- Pongrácz R. és Bartholy J., 2004: *Klímaváltozás: a szélsőségek eltolódása a XX. században*. Természet Világa 135, II. különszám: Klímaváltozás, magyarországi hatások, 51–54.
- Räisänen J., 2005: *Impact of increasing CO2 on monthly-to-annual precipitation extremes: Analysis of the CMIP2 experiments*. Climate Dyn. 24, 309–323.
- Salinger J. M., 2005: *Climate variability and change: Past, present and future – An overview*. Climatic Change 70, 9–29.
- Schär C., Vidale PL., Luthi D., Frei C., Häberli C., Liniger MA., Appenzeller C., 2004: *The role of the increasing temperature variability in European summer heatwave*. Nature 427, 332-336.
- Torma Cs., Bartholy J., Pongracz R., Barcza Z., Coppola E., Giorgi F., 2008: *Adaptation and validation of the RegCM3 climate model for the Carpathian Basin*. Időjárás, 112. (No.3-4.), 233-247.
- Weidinger T. (szerk), 2006: *31. Meteorológiai Tudományos Napok, Az éghajlat regionális módosulásának objektív becslését megalapozó klímadinamikai kutatások*. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 228p.
- Wetherald R. T. and Manabe S., 1999: *Detectability of summer dryness caused by greenhouse warming*. Climatic Change 43, 495–511.
- Zängl W., Hamberger S., Grosse D., Funk-Salamí F., Baumeister O., 2003: *Gesellschaft für ökologische Forschung*

Függelék

1. Függelék

Hőmérsékleti indexek:

Sorszám	Jelölés	Index	Az extrém klíma-index definíciója	Egység
1	TxM	Tmax közép	Napi maximum T^0 az adott időintervallumra átlagolva	°C
2	TnM	Tmin közép	Napi minimum T^0 az adott időintervallumra átlagolva	°C
3	TmM	Tközép közép	Napi közép T^0 az adott időintervallumra átlagolva	°C
4	TmDR	Napi középhőmérsékleti tartomány	(Tmax-Tmin) napi értékei az adott időintervallumra átlagolva	°C
5	TDR10	Napi hőmérsékleti ingás alsó decilise	(Tmax-Tmin) napi értékeinek alsó decilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
6	TDR90	Napi hőmérsékleti ingás felső decilise	(Tmax-Tmin) napi értékeinek felső decilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
7	Tx1	Tmax 1. percentilise	Tmax napi értékeinek 1. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
8	Tx5	Tmax 5. percentilise	Tmax napi értékeinek 5. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
9	Tx10	Tmax alsó decilise	Tmax napi értékeinek alsó decilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
10	Tx20	Tmax alsó kvintilise	Tmax napi értékeinek alsó kvintilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
11	Tx30	Tmax 30. percentilise	Tmax napi értékeinek 30. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
12	Tx40	Tmax 40. percentilise	Tmax napi értékeinek 40. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
13	Tx50	Tmax mediánja	Tmax napi értékeinek mediánja az adott időintervallumra vonatkozóan	%
14	Tx60	Tmax 60. percentilise	Tmax napi értékeinek 60. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
15	Tx70	Tmax 70. percentilise	Tmax napi értékeinek 70. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
16	Tx80	Tmax felső kvintilise	Tmax napi értékeinek felső kvintilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
17	Tx90	Tmax felső decilise	Tmax napi értékeinek felső decilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
18	Tx95	Tmax 95. percentilise	Tmax napi értékeinek 95. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
19	Tx99	Tmax 99. percentilise	Tmax napi értékeinek 99. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
20	Tm1	Tközép 1. percentilise	Tközép napi értékeinek 1. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
21	Tm5	Tközép 5. percentilise	Tközép napi értékeinek 5. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
22	Tm10	Tközép alsó decilise	Tközép napi értékeinek alsó decilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
23	Tm20	Tközép alsó kvintilise	Tközép napi értékeinek alsó kvintilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
24	Tm30	Tközép 30. percentilise	Tközép napi értékeinek 30. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%

Sorszám	Jelölés	Index	Az extrém klíma-index definíciója	Egység
25	Tm40	Tközép 40. percentilise	Tközép napi értékeinek 40. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
26	Tm50	Tközép mediánja	Tközép napi értékeinek mediánja az adott időintervallumra vonatkozóan	%
27	Tm60	Tközép 60. percentilise	Tközép napi értékeinek 60. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
28	Tm70	Tközép 70. percentilise	Tközép napi értékeinek 70. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
29	Tm80	Tközép felső kvintilise	Tközép napi értékeinek felső kvintilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
30	Tm90	Tközép felső decilise	Tközép napi értékeinek felső decilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
31	Tm95	Tközép 95. percentilise	Tközép napi értékeinek 95. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
32	Tm99	Tközép 99. percentilise	Tközép napi értékeinek 99. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
33	Tn1	Tmin 1. percentilise	Tmin napi értékeinek 1. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
34	Tn5	Tmin 5. percentilise	Tmin napi értékeinek 5. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
35	Tn10	Tmin alsó decilise	Tmin napi értékeinek alsó decilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
36	Tn20	Tmin alsó kvintilise	Tmin napi értékeinek alsó kvintilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
37	Tn30	Tmin 30. percentilise	Tmin napi értékeinek 30. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
38	Tn40	Tmin 40. percentilise	Tmin napi értékeinek 40. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
39	Tn50	Tmin mediánja	Tmin napi értékeinek mediánja az adott időintervallumra vonatkozóan	%
40	Tn60	Tmin 60. percentilise	Tmin napi értékeinek 60. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
41	Tn70	Tmin 70. percentilise	Tmin napi értékeinek 70. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
42	Tn80	Tmin felső kvintilise	Tmin napi értékeinek felső kvintilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
43	Tn90	Tmin felső decilise	Tmin napi értékeinek felső decilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
44	Tn95	Tmin 95. percentilise	Tmin napi értékeinek 95. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
45	Tn99	Tmin 99. percentilise	Tmin napi értékeinek 99. percentilise az adott időintervallumra vonatkozóan	%
46	Tn0LT	Fagyos napok száma	Azon napok száma az adott időintervallumra vonatkozóan, ahol a Tmin < 0 °C (ECA&D)	nap
47	Tx0LT	Téli napok száma	Azon napok száma az adott időintervallumra vonatkozóan, ahol a Tmax < 0 °C (ECA&D)	nap
48	CFD	Egymást követő fagyos napok	Azon egymást követő fagyos napok száma, ahol Tmin < 0°C	nap
49	GDD	Hőösszeg(def1)	$\sum_{T_{közép} > 4^{\circ}C} (T_{közép} - 4^{\circ}C)$ az adott időintervallumra vonatkozóan. (ECA definíció)	°C
50	GDD2	Hőösszeg(def2)	$\sum_{T_{max} > 10^{\circ}C} \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} - 10^{\circ}C \right)$, ha $\begin{cases} T_{min} < 10^{\circ}C \rightarrow T_{min} = 10^{\circ}C; \\ T_{max} > 30^{\circ}C \rightarrow T_{max} = 30^{\circ}C; \end{cases}$ az adott időintervallumra vonatkozóan	°C

Sorszám	Jelölés	Index	Az extrém klíma-index definíciója	Egység
51	TeR	Extrém hőmérsékleti tartomány adott időintervallumra	Max. Tmax és min. Tmin közötti tartomány az adott időintervallumra vonatkozóan (éves időszakot vizsgálva megegyezik az éven belüli extrém hőmérsékleti tartománnyal)	°C
52	WhmD	Átlagos hóhullám hossza	Legyen Tx_{ij} a j. periódus i.-ik napjának napi maximum hőmérséklete, valamint legyen Tx_{inorm} az a naptári nap, mely egy adott perióduson belül egy 5 napos ablak minden napjának a közepe. Ezek után a napok száma egy periódus alatt egy legalább 6 napos folyamatos intervallumban: $Tx_{ij} > Tx_{inorm} + 5$	nap
53	WhbD90	Hóhullám hosszának felső decilise	Legyen Tx_{ij} a j. periódus i.-ik napjának napi maximum hőmérséklete, valamint legyen $Txq90_{inorm}$ az a naptári nap, mely egy adott perióduson belül egy 5 napos ablak minden napjának a közepének felső decilise. Ezek után a napok száma egy periódus alatt egy legalább 6 napos folyamatos intervallumban: $Tx_{ij} > Txq90_{inorm}$	%
54	HDD	Forró napok száma	$\sum_{T_{közép} < 17\text{ °C}} (17\text{ °C} - T_{közép})$	nap
55	WcmD	Átlagos hideghullám hossza	Legyen Tn_{ij} a j. periódus i. napjának napi minimum hőmérséklete, valamint legyen Tn_{inorm} az a naptári nap, mely egy adott perióduson belül egy 5 napos ablak minden napjának a közepe. Ezek után a napok száma egy periódus alatt egy legalább 6 napos folyamatos intervallumban: $Tn_{ij} < Tn_{inorm} - 5$	nap
56	WcbD10	Hóhullám hosszának alsó decilise	Legyen Tn_{ij} a j. periódus i. napjának napi minimum hőmérséklete, valamint legyen $Tnq10_{inorm}$ az a naptári nap, mely egy adott perióduson belül egy 5 napos ablak minden napjának a közepe. Ezek után a napok száma egy periódus alatt egy legalább 6 napos folyamatos intervallumban: $Tn_{ij} < Tnq10_{inorm}$	%
57	SFL	Fagyos időszak hossza	Az az átlagos időszak, amikor van legalább 5 olyan egymást követő nap az adott időintervallumon belül, ahol $Tmin < 0\text{°C}$	nap
58	Tx25GT	Nyári napok száma	Azon napok százalékos aránya, ahol $Tmax > 25\text{°C}$	nap
59	Tn20GT	Trópusi éjjelek száma	Azon napok száma, ahol $Tmin > 20\text{ °C}$	nap
60	Tx10percLT	Hideg napok aránya	Azon napok aránya, az 1961-1990-es normálidőszak alsó deciliséhez viszonyítva ahol $Tmax <$ az alsó decilis, mely 5 napos ablak felhasználásával határozandó meg	%
61	Tx90percGT	Meleg napok aránya	Azon napok aránya, az 1961-1990-es normálidőszak felső deciliséhez viszonyítva ahol $Tmax >$ a felső decilis, mely 5 napos ablak felhasználásával határozandó meg	%
62	Tm10percLT	Azon napok aránya, ahol $Tközép <$ alsó decilis	Azon napok aránya, az 1961-1990-es normálidőszak alsó deciliséhez viszonyítva ahol $Tközép <$ az alsó decilis, mely 5 napos ablak felhasználásával határozandó meg	%
63	Tm90percGT	Azon napok aránya, ahol $Tközép >$ felső decilis	Azon napok aránya, az 1961-1990-es normálidőszak felső deciliséhez viszonyítva ahol $Tközép >$ a felső decilis, mely 5 napos ablak felhasználásával határozandó meg	%

Sorszám	Jelölés	Index	Az extrém klíma-index definíciója	Egység
64	Tn10percLT	Hideg éjszakák aránya	Azon napok aránya, az 1961-1990-es normálidőszak alsó deciliséhez viszonyítva ahol $T_{min} <$ az alsó decilis, mely 5 napos ablak felhasználásával határozandó meg	%
65	Tn90percGT	Meleg éjszakák aránya	Azon napok aránya, az 1961-1990-es normálidőszak felső deciliséhez viszonyítva ahol $T_{min} >$ a felső decilis, mely 5 napos ablak felhasználásával határozandó meg	%
66	Tx30GE	Hőségnapok száma	Azon napok száma, ahol $T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$	nap
67	Tx35GE	Forró napok száma	Azon napok száma, ahol $T_{max} \geq 35^{\circ}\text{C}$	nap
68	Tn-10LT	Zord napok száma	Azon napok száma, ahol $T_{min} < -10^{\circ}\text{C}$	nap
69	TmVintera	Tközép évek közötti változékonysága	Átlagos évi Tközép értékek szórása átlagolva az adott időintervallumra (pl. 1 hónap)	$^{\circ}\text{C}$
70	TxVintera	Tmax évek közötti változékonysága	Átlagos évi Tmax értékek szórása átlagolva az adott időintervallumra (pl. 1 hónap)	$^{\circ}\text{C}$
71	TnVintera	Tmin évek közötti változékonysága	Átlagos évi Tmin értékek szórása átlagolva az adott időintervallumra (pl. 1 hónap)	$^{\circ}\text{C}$
72	TmVintraa	Tközép éven belüli változékonysága	Tközép éves szórása a teljes időszakra átlagolva (pl. 10 éves periódus) az adott időintervallumra vonatkozóan	$^{\circ}\text{C}$
73	TxVintraa	Tmax éven belüli változékonysága	Tmax éves szórása a teljes időszakra átlagolva (pl. 10 éves periódus) az adott időintervallumra vonatkozóan	$^{\circ}\text{C}$
74	TnVintera	Tmin éven belüli változékonysága	Tmin éves szórása a teljes időszakra átlagolva (pl. 10 éves periódus) az adott időintervallumra vonatkozóan	$^{\circ}\text{C}$
75	GSL	Vegetációs periódus hossza	Kezdet: > 5 napon át $T_{közép} > 5^{\circ}\text{C}$, vége: > 5 napon át július 1.-je után $T_{közép} < 5^{\circ}\text{C}$	nap

Csapadék indexek:

Sorszám	Jelölés	Index	Az extrém klíma-index definíciója	Egység
76	Prcm	Átlagos klimatológiai csapadék	Átlagos csapadék (magába foglal száraz és nedves napokat)	mm/nap
77	Prwdm	Csapadékos napok átlagos csapadéka	Csapadékos napok átlagos csapadéka (megegyezik a „klasszikus napi intenzitással”)	mm/nap
78	WDP	Csapadékos napok aránya	Csapadékos napok száma/ összes nap száma	%
79	WD10	Napi csapadék alsó decilise	Összes csapadékos nap alsó decilise	mm/nap
80	WD20	Napi csapadék alsó kvintilise	Összes csapadékos nap alsó kvintilise	mm/nap
81	WD30	Napi csapadék 30. percentilise	Összes csapadékos nap 30. percentilise	mm/nap
82	WD40	Napi csapadék 40. percentilise	Összes csapadékos nap 40. percentilise	mm/nap
83	WD50	Napi csapadék mediánja	Összes csapadékos nap mediánja	mm/nap
84	WD60	Napi csapadék 60. percentilise	Összes csapadékos nap 60. percentilise	mm/nap
85	WD70	Napi csapadék 70. percentilise	Összes csapadékos nap 70. percentilise	mm/nap
86	WD80	Napi csapadék felső kvintilise	Összes csapadékos nap felső kvintilise	mm/nap
87	WD90	Napi csapadék felső decilise	Összes csapadékos nap felső decilise	mm/nap
88	WD95	Napi csapadék 95. percentilise	Összes csapadékos nap 95. percentilise	mm/nap
89	WD99	Napi csapadék 99. percentilise	Összes csapadékos nap 99. percentilise	mm/nap
90	Prt10F	Éves teljes csapadékösszeg alsó decilis feletti csapadék aránya	Éves teljes csapadékösszeg alsó decilis feletti csapadék aránya	%
91	Prt20F	Éves teljes csapadékösszeg alsó kvintilise feletti csapadék aránya	Éves teljes csapadékösszeg alsó kvintilise feletti csapadék aránya	%
92	Prt30F	Éves teljes csapadékösszeg 30%-os percentilise feletti csapadék aránya	Éves teljes csapadékösszeg 30%-os percentilise feletti csapadék aránya	%
93	Prt40F	Éves teljes csapadékösszeg 40%-os percentilise feletti csapadék aránya	Éves teljes csapadékösszeg 40%-os percentilise feletti csapadék aránya	%
94	Prt50F	Éves teljes csapadékösszeg mediánja feletti csapadék aránya	Éves teljes csapadékösszeg mediánja feletti csapadék aránya	%
95	Prt60F	Éves teljes csapadékösszeg 60%-os percentilise feletti csapadék aránya	Éves teljes csapadékösszeg 60%-os percentilise feletti csapadék aránya	%
96	Prt70F	Éves teljes csapadékösszeg 70%-os percentilise feletti csapadék aránya	Éves teljes csapadékösszeg 70%-os percentilise feletti csapadék aránya	%
97	Prt80F	Éves teljes csapadékösszeg felső kvintilise feletti csapadék aránya	Éves teljes csapadékösszeg felső kvintilise feletti csapadék aránya	%
98	Prt90F	Éves teljes csapadékösszeg felső decilis feletti csapadék aránya	Éves teljes csapadékösszeg felső decilis feletti csapadék aránya	%
99	Prt95F	Éves teljes csapadékösszeg 95%-os percentilise feletti csapadék aránya	Éves teljes csapadékösszeg 95%-os percentilise feletti csapadék aránya	%

Sorszám	Jelölés	Index	Az extrém klíma-index definíciója	Egység
100	Prt99F	Éves teljes csapadékösszeg 99%-os percentilise feletti csapadék aránya	Éves teljes csapadékösszeg 99%-os percentilise feletti csapadék aránya	%
101	RR10	Nagy csapadékú napok aránya	10mm/nap feletti csapadékos napok aránya	%
102	RR20	Extrém csapadékú napok aránya	20mm/nap feletti csapadékos napok aránya	%
103	CDD	Az egymást követő száraz napok maximális száma	Az egymást követő száraz napok maximális száma	nap
104	CWD	Az egymást követő csapadékos napok maximális száma	Az egymást követő csapadékos napok maximális száma	nap
105	WDMp	Átlagos csapadékos napok százaléka	Egymás követő csapadékos napok összessége/összes csapadékos nap	%
106	DDmP	Átlagos száraz napok százaléka	Egymás követő száraz napok összessége/összes száraz nap	%
107	WSLm	Átlagos csapadékos időtartam hossza	Átlagos csapadékos időtartam hossza	nap
108	WSLmed	Csapadékos időtartam hosszának mediánja	Csapadékos időtartam hosszának mediánja	nap
109	WSLsd	Csapadékos időtartam hosszának szórása	Csapadékos időtartam hosszának szórása	nap
110	DSLm	Átlagos száraz időtartam hossza	Átlagos száraz időtartam hossza	nap
111	DSLmed	Száraz időtartam hosszának mediánja	Száraz időtartam hosszának mediánja	nap
112	DSLsd	Száraz időtartam hosszának szórása	Száraz időtartam hosszának szórása	nap
113	Rx1	Az év során mért legnagyobb 1 nap alatt lehullott csapadékmennyiség	Az év során mért legnagyobb 1 nap alatt lehullott csapadékmennyiség	mm
114	Rx3	Az év során mért legnagyobb 3 nap alatt lehullott csapadékmennyiség	Az év során mért legnagyobb 3 nap alatt lehullott csapadékmennyiség	mm
115	Rx5	Az év során mért legnagyobb 5 nap alatt lehullott csapadékmennyiség	Az év során mért legnagyobb 5 nap alatt lehullott csapadékmennyiség	mm
116	Rx10	Az év során mért legnagyobb 10 nap alatt lehullott csapadékmennyiség	Az év során mért legnagyobb 10 nap alatt lehullott csapadékmennyiség	mm
117	R90	Csapadékos napok csapadékösszegének évi aránya az 1961-1990-es normálidőszak felső deciliséhez ($R_{90\%}$) viszonyítva	Csapadékos napok csapadékösszegének évi aránya az 1961-1990-es normálidőszak felső deciliséhez ($R_{90\%}$) viszonyítva ($\sum R_{nap} / R_{total}$, ahol $\sum R_{nap}$ az $R_{90\%}$ -nál nagyobb napi csapadékok összege)	%
118	R95	Nagyon csapadékos napok aránya	Csapadékos napok csapadékösszegének évi aránya az 1961-1990-es normálidőszak 0.95-ös kvantiliséhez ($R_{95\%}$) viszonyítva	%
119	R99	Extrém csapadékos napok aránya	Csapadékos napok csapadékösszegének évi aránya az 1961-1990-es normálidőszak 0.99-es kvantiliséhez ($R_{99\%}$) viszonyítva	%
120	R75	Mérsékelt csapadékos napok aránya	Csapadékos napok csapadékösszegének évi aránya az 1961-1990-es normálidőszak 0.75-ös kvantiliséhez ($R_{75\%}$) viszonyítva	%

Sorszám	Jelölés	Index	Az extrém klíma-index definíciója	Egység
121	WDP90	Csapadékos napok aránya > 1961-1990-es normálidőszak felső decilise	(Csapadékos napok száma> alaperiódus 0.90-ös kvartilise)/csapadékos napok száma	%
122	WDP95	Csapadékos napok aránya > 1961-1990-es normálidőszak 0.95-ös kvartilise	(Csapadékos napok száma> alaperiódus 0.95-ös kvartilise)/csapadékos napok száma	%
123	WDP99	Csapadékos napok aránya > 1961-1990-es normálidőszak 0.99-es kvartilise	(Csapadékos napok száma> alaperiódus 0.99-ös kvartilise)/csapadékos napok száma	%
124	WDP20GT	20 mm-nél nagyobb csapadékú napok aránya	$(R_{\text{nap} \geq 20 \text{ mm}})/R_{\text{total}}$	%
125	WDP10GT	10 mm-nél nagyobb csapadékú napok aránya	$(R_{\text{nap} \geq 10 \text{ mm}})/R_{\text{total}}$	%
126	WDP5GT	5 mm-nél nagyobb csapadékú napok aránya	$(R_{\text{nap} \geq 5 \text{ mm}})/R_{\text{total}}$	%
127	Prmintera	Átlagos csapadék évek közötti változékonysága	Átlagos éves csapadék értékek szórása átlagolva az adott időintervallumra (pl. 1 hónap)	mm
128	PrWDintera	Csapadékos napok csapadékának évek közötti változékonysága	Átlagos éves csapadékos napok csapadéértékeinek szórása az adott időintervallumra (pl. 1 hónap)	mm
129	Prmintra	Átlagos csapadék éven belüli változékonysága	Átlagos csapadék éves szórása a teljes időszakra átlagolva (pl. 10 éves periódus) az adott időintervallumra vonatkozóan	mm
130	PrWDintra	Csapadékos napok csapadékának éven belüli változékonysága	Átlagos csapadékos napok csapadéértékeinek éves szórása a teljes időszakra átlagolva (pl. 10 éves periódus) az adott időintervallumra vonatkozóan	mm
131	Cor(Tm,Pm)	Korreláció (Tközép, Átlagos csapadék)	Teljes időszakra vonatkozó (pl. 10 év) korreláció Tközép és átlagos csapadék között adott időintervallumra	—