

Csapadékindexek várható trendjei Magyarországon az ENSEMBLES szimulációk alapján

SZAKDOLGOZAT
FÖLDTUDOMÁNY ALAPSZAK
METEOROLÓGIA SZAKIRÁNY



Készítette: Kis Anna

III. éves Földtudomány BSc meteorológia szakirányos hallgató

Témavezető: Dr. Pongrácz Rita

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2011.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Az ENSEMBLES projekt	6
3. A vizsgált csapadékindexek bemutatása.....	9
4. A csapadékindexek XXI. századra becsült tendenciái	10
4.1. A 0,1 mm-nél nagyobb csapadékú napok számának várható változása	11
4.2. Az 1 mm-nél nagyobb csapadékú napok számának várható változása	14
4.3. Az 5 mm-nél nagyobb csapadékú napok számának várható változása	17
4.4. A 10 mm-nél nagyobb csapadékú napok számának várható változása	20
4.5. A 20 mm-nél nagyobb csapadékú napok számának várható változása	23
4.6. A száraz napok számának várható változása.....	26
4.7. Az egymást követő száraz napok maximális számának várható változása	29
4.8. A csapadékintenzitás várható változása	32
4.9. Az 1 nap alatt lehullott maximális csapadékmennyiség várható változása	36
4.10. Az 5 nap alatt lehullott maximális csapadékmennyiség várható változása	39
5. Összefoglalás	43
Köszönetnyilvánítás	45
Irodalomjegyzék	46
Függelék	48

1. Bevezetés

A klíma és az időjárás ismerete mindig is fontos volt az emberiség számára: nagymértékben meghatározza mindennapjainkat, életünket a Földön. Az időjárás kihat többek között a közlekedésre, a mezőgazdaságra, az egészségünkre, sőt még a kedélyállapotunkra is. Az elmúlt évszázad végére nyilvánvalóvá vált, hogy az emberi tevékenységek következtében az ipari forradalom kezdete óta megnőtt az üvegházhatású gázok koncentrációja (IPCC, 2007). Ez a koncentráció-növekedés mind globális, mind regionális skálán jelentős hatással van az éghajlatra. Az utóbbi időben egyre gyakoribbá váltak a szélsőséges időjárási események (Bartholy és Pongrácz, 2007), melyek komoly gazdasági károkat okozhatnak. A károk megelőzése, illetve mérséklése szempontjából alapvető fontosságú az extrém időjárási események előrejelzése, a jövőben várható gyakoriság-, illetve intenzitás változásainak becslése. A XX. századi mérések alapján, a Magyarországon és a környező térségben detektálható változások elemzése olvasható Bartholy és Pongrácz (2005a, 2005b, 2007) munkáiban. Ezek eredményei alapján a XX. század második felére vonatkozóan az extrém csapadékindexek gyakorisága és intenzitása növekedett, ugyanakkor az összcsapadék mennyisége csökkent a régióban.

Jacob et al. (2008) regionális klímaszimulációi szerint Közép-Európában a XXI. század közepéig 50%-os, a Földközi-tenger térségében pedig még ennél is jelentősebb csökkenő trend várható mind a négy évszak csapadékmennyiségében. Skandináviában viszont csapadéknövekedés várható, melyre nagyobb mértékben elsősorban a téli évszakban számíthatunk (Déqué et al., 2007). A XXI. század végére a Kárpát-medencében várható változásokat Bartholy et al. (2008) foglalta össze a PRUDENCE-szimulációk (Christensen et al., 2007) alapján az A2 és B2 scenáriót (Nakicenovic és Swart, 2000) alkalmazva. Az eredmények szerint a korábbiakban legcsapadékosabb évszakunk, a nyár válhat a jövőben a legszárazabbá, a jelenleg legszárazabb évszak, a tél pedig a legcsapadékosabbá, valamint az extrém csapadéktevékenységek intenzitása és gyakorisága is várhatóan növekedni fog térségünkben.

Ebben a dolgozatban a korábbi 30 éves időszakok helyett folyamatos 100 (PROMES), illetve 150 éves (ALADIN, RegCM) klímaszimulációkat használunk fel a csapadékextrémumok elemzéséhez. A vizsgálathoz szükséges napi csapadék mezősorokat az ENSEMBLES projekt (van der Linden és Mitchell, 2009) keretében végzett regionális

klímamodellek szimulált adatbázisából töltöttük le (<http://ensemblesrt3.dmi.dk/>), melyen a Formayer és Haas (2010) által leírt hibakorrektíós eljárást már elvégezték. A hibakorrektíóra elsősorban azért van szükség, mert a regionális klímamodellek nem képesek az éghajlat tökéletes reprodukálására (Christensen, 2008), ám mérési adatsorok eloszlásának felhasználásával (Déqué, 2007) a szisztematikus eltéréseket korigálni lehet. A várható átlagos változások elemzésekor elegendő lehet a jövőbeli és a múltbeli időszakra vonatkozó szimulációk különbségeit tekinteni, s így megadni a valószínűsíthető éghajlatváltozás mértékét. Ezzel szemben az extrém éghajlati indexek vizsgálatakor az alkalmazott definíciókból adódik, hogy a tendenciák elemzéséhez is szükségesek a konkrét szimulált idősorok, melyek korigálatlan alkalmazása téves következtetésekre vezethetnek. A hibakorrektíóhoz – a szintén az ENSEMBLES keretei közt összeállított – E-OBS adatbázis szolgált segítségül. Két adathalmaz statisztikai szempontból közel egyezőnek tekinthető, ha eloszlásuk megegyezik. Ezért az E-OBS adatbázisa alapján kapott eloszlásfüggvényhez illesztették a modell szimulációit, az igazítás percentilisenként meghatározott aránypárok segítségével történt. Így kiszűrték a szisztematikus eltéréseket.

Az ENSEMBLES projekt számos korábbi Európai Unió által támogatott hasonló témakörű projekt tapasztalatait felhasználta (1. táblázat), melyek közül a legfontosabbak: a PRUDENCE (<http://prudence.dmi.dk/>), a STARDEX (<http://www.cru.uea.ac.uk/projects/stardex/>), a MICE (<http://www.cru.uea.ac.uk/mice/>), a DEMETER (<http://www.ecmwf.int/research/demeter/>), a CECILIA (<http://www.cecilia-eu.org/WP4.htm>) és a CLAVIER (<http://www.clavier-eu.org/>).

A PRUDENCE projekt (Christensen et al., 2007) regionális scenáriók összeállításával értékelte a klímaváltozással járó regionális hatásokat és kockázatokat Európára nézve. Ezt kiegészítve a STARDEX projekt (Goodess, 2003) az extrém időjárási események gyakoriságának és intenzitásának változásait vizsgálta a XXI. század végére vonatkozóan. A MICE projekt (Hanson et al., 2006) szintén a hőmérséklet, a csapadék, valamint a szél extrémumaira fókuszált, azonban ezeknek a gazdasági szektorra vonatkozó várható hatásait helyezte előtérbe. A CECILIA (Halenka, 2007) és a CLAVIER projekt ugyancsak vizsgálta az extrém időjárási eseményeket, a levegőminőséget, valamint a hidrológiai következményeket, ám a vizsgálatok során egy kisebb területet emeltek ki, s a Közép- és Kelet-Európai térségre koncentráltak. A két projekt között az alkalmazott regionális modellekben volt lényegi eltérés. A CECILIA az ALADIN (Csimá és Horányi, 2008) és a RegCM (Torma et al., 2008) modelleket, a CLAVIER pedig a REMO-t (Szépszó és Horányi, 2008) alkalmazta.

1. táblázat. Korábbi EU projektek vezetői és futamidői

<i>A projekt rövid neve</i>	<i>Vezetőintézet</i>	<i>Vezető kutató</i>	<i>Futamidő</i>
PRUDENCE ¹	DMI ²	J. H. Christensen	2001.11.-2004.10.
STARDEX ³	CRU ⁴	C. Goodess	2001.02.-2004.05.
MICE ⁵	CRU	C. E. Hanson	2002.01.-2005.01.
DEMETER ⁶	ECMWF ⁷	T. N. Palmer	2000.04.-2003.09.
CECILIA ⁸	Prágai Károly Egyetem	T. Halenka	2006.06.-2009.11.
CLAVIER ⁹	MPI ¹⁰	D. Jacob	2006.09.-2009.09.

Az ENSEMBLES projekt újszerűségét elsősorban a folyamatos, finom (25 km-es) térbeli felbontású, egész Európára kiterjedő, több évtizedet felölelő klímaszimulációk előállítására, kutatási célokra történő rendelkezésre bocsátása jelenti (van der Linden és Mitchell, 2009).

A kutatási periódus hossza, a résztvevők száma, valamint a kutatásra fordított pénzügyi források alapján összességében az ENSEMBLES a valaha lefolytatott legnagyobb klímaváltozást kutató projektek egyike, melyet Paul van der Linden és John Mitchell, a Brit Meteorológiai Szolgálat Hadley Központjának (UKMO HC) munkatársai vezettek.

A dolgozat következő fejezeteiben először az ENSEMBLES projektet ismertetjük röviden, majd a vizsgálatban szereplő csapadékkal, illetve annak hiányával kapcsolatos éghajlati indexeket definiáljuk. A 4. fejezetben mutatjuk be és értékeljük az elvégzett elemzések eredményeit. Végül az 5. fejezetben összefoglaljuk a vizsgálat alapján levonható legfontosabb következtetéseket.

¹ Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects (Regionális scenáriók előrejelzése és bizonytalanságai az európai klímaváltozás kockázatainak és hatásainak definiálása céljából)

² Danmarks Meteorologiske Institut (Dán Meteorológiai Intézet)

³ Statistical and Regional dynamical Downscaling of EXtremes for European regions (Az extrémumok statisztikus és regionális dinamikus leskalázása Európa térségére)

⁴ Climate Research Unit (Klímakutató osztály)

⁵ Modelling the Impact of Climate Extremes (Az éghajlati extrémumok hatásának modellezése)

⁶ Development of a European Multimodel Ensemble system for seasonal to interannual prediction (Európai ensemble modell-rendszer fejlesztése évszakos és éven túli előrejelzés céljából)

⁷ European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (Európai Középtávú időjáráselőrejelzési-központ)

⁸ Central and Eastern Europe Climate change Impact and vulnerability Assessment (Közép- és Kelet-Európa klímaváltozásának hatásai és a sérülékenység felmérése)

⁹ CLimate ChAnge and Variability: Impact on Central and Eastern Europe (Klímaváltozás és változékonyság: hatások Kelet- és Közép-Európára)

¹⁰ Max Planck Institut (Max Planck Intézet)

2. Az ENSEMBLES projekt

Az Európai Unió által finanszírozott ENSEMBLES projekt célja, hogy informálja a kutatókat, döntéshozókat és a helyi közösségeket a várható éghajlati viszonyokról, melyek előrejelzését a legújabb klímamodellek és elemzési eljárások lehetővé tesznek (van der Linden és Mitchell, 2009). Az ENSEMBLES projekt az Európai Unió VI. keretprogramjának részeként 2004 szeptemberétől 2009 decemberéig tartott. A projektet a Brit Meteorológiai Szolgálat vezette; a kutatásban 20 ország 66 intézete vett részt, legfőképp Európából, de az egész világról (pl. USA, Japán, Ausztrália) csatlakoztak támogató partnerek. A vizsgálatokat a résztvevőkön kívül további 30 (főként európai) szervezet munkatársai végezték.

Az ENSEMBLES projekt fő célkitűzései az alábbiakban foglalhatók össze:

- Kifejleszteni egy finom térbeli felbontású, több modellt felhasználó előrejelzési rendszert az éghajlatváltozás becslésére, és ennek segítségével valószínűségi becslést adni a jövő éghajlatára, amit évszakos, éves, évtizedes vagy ennél is nagyobb időskálákra bonthatunk.
- Csökkenteni a bizonytalanságot az éghajlati rendszer fizikai, kémiai, biológiai és antropogén visszacsatolásainak leírásában, modellezésében, beleértve a vízkészlettel, a földhasználattal, a levegőminőséggel, valamint a szénkörforgással kapcsolatos visszacsatolásokat is.

Ebben a dolgozatban az ENSEMBLES keretében előállított számos klímamodell-futtatás közül három modell napi csapadék szimulációit vizsgáljuk. Ezek közül két modell – az ALADIN (<http://www.cnrm.meteo.fr/aladin/>) és a RegCM (<http://users.ictp.it/~pubregcm/RegCM3/>) – 150 évnyi folyamatos szimulációs futtatásai állnak rendelkezésre 1951-től 2100-ig. A harmadik modell – a PROMES (<http://www.uclm.es/>) – 100 év szimulációit szolgáltatja 1951-2050-re vonatkozóan. A három vizsgált klímamodell legfontosabb jellemzőit a 2. táblázatban foglaljuk össze. Az általunk vizsgált regionális klímamodelleket különböző GCM-ek (globális cirkulációs modellek) vezérlik, azaz adják meg számunkra a futtatáshoz szükséges kezdeti- és peremfeltételeket. Az ALADIN-t meghajtó ARPEGE_RM5.1 (Déqué et al., 1998) globális cirkulációs modellt a Météo France (CNRM) hozta létre. A RegCM vezérlő GCM-je az ECHAM5-r3 (Roeckner et al., 2003),

melyet a hamburgi Max Planck Intézet fejlesztett ki. Az általunk vizsgált harmadik regionális klímamodell, a PROMES irányító GCM-je pedig a Brit Meteorológiai Szolgálat Hadley Központja által kifejlesztett HADCM3Q0 (Gordon et al., 2000) volt.

2. táblázat. A három vizsgált regionális klímamodell legfontosabb jellemzői

<i>Klímamodell</i>	ALADIN	RegCM	PROMES
<i>Alkalmazó intézet, ország</i>	CNRM ¹¹ Franciaország	ICTP ¹² Olaszország	UCLM ¹³ Spanyolország
<i>Referencia publikáció</i>	Gibelin és Déqué, 2003	Giorgi és Bi, 2000	Castro et al., 1993
<i>Szimulációs időszak</i>	1951-2100 (150 év)	1951-2100 (150 év)	1951-2050 (100 év)
<i>Vezérlő GCM (fejlesztő intézet)</i>	ARPEGE_RM5.1 (CNRM)	ECHAM5-r3 (MPI)	HadCM3Q0 (UKMO HC)

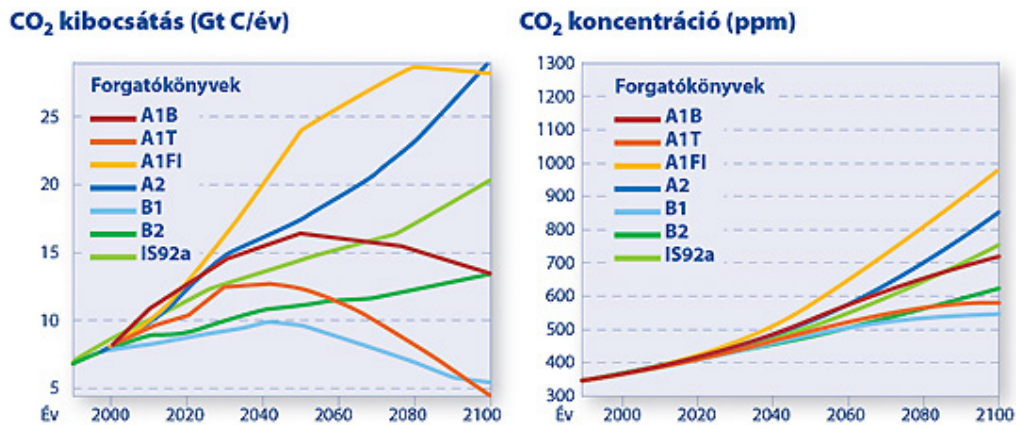
A klímamodellek egy rendkívül összetett rendszert vizsgálnak: figyelembe kell venni többek közt a légkör, az óceán és az élővilág fizikai, kémiai folyamatait, valamint ezek kölcsönhatásait, visszacsatolásait is. A jövőt óriási mértékben befolyásoljuk mi, emberek is, éppen ezért a modelleknek az antropogén hatásokat is számításba kell venni. Az éghajlatot befolyásoló emberi tevékenységeket nem tudjuk pontosan megjósolni a jövőre nézve, ezért több forgatókönyv felhasználásával próbáljuk megkerülni a jövőbeli fejlődési bizonytalanságokat. A hipotéziseket alapvetően 3 típusba sorolhatjuk: megkülönböztetünk optimista, pesszimista és közepesnek tekinthető változatokat. A vizsgálatunkban szereplő 25 km-es horizontális felbontású klímamodellek egységesen az A1 forgatókönyv-család egyik közepesnek tekinthető alaptípusát, az A1B scenáriót alkalmazták a futtatások során. Az A1 forgatókönyv-család szerint a jövőben gyors gazdasági növekedés és technológiai fejlődés várható (Nakicenovic és Swart, 2000). A becslések szerint a Föld népessége a XXI. század közepén eléri tetőpontját (2050-re a Föld lakosságának összlétszáma elérheti a 9 milliárdot), azután valamelyest csökkenni kezd. A forgatókönyv alapján jelentősen csökken az egy főre jutó jövedelemben meglévő regionális különbség, azaz kiegyenlítődnek az egyes régiók közti eltérések. Az A1 forgatókönyv-családon belül több

¹¹ Centre National de Recherches Météorologiques (Nemzeti Meteorológiai Kutatóközpont)

¹² International Centre for Theoretical Physics (Nemzetközi Elméleti Fizika Központ)

¹³ Universidad de Castilla-La Mancha (Castilla-La Mancha Egyetem)

szcenáriókat (pl. A1B, A1C, A1G, A1T) is megkülönböztetünk aszerint, hogy a jövőben az energiahordozók mely típusát használjuk majd a legnagyobb mértékben. Az A1B scenárió szerint az üvegházhatású gázok CO₂ egyenértékben kifejezett kibocsátása (1. ábra) 2050 körül éri el maximumát (megközelítően 16 Gt C/év), majd lassan csökkenni kezd: 2100-ra 15 Gt C/év alá esik; ekkor a koncentráció a légkörben nagyjából 717 ppm lesz (Nakicenovic és Swart, 2000). Az A1B forgatókönyv alapján a jövőben egyensúlyban lesznek a különböző energiaforrások: megközelítőleg fele-fele arányban fogjuk a megújuló- és atomenergiát, valamint a fosszilis energiaforrásokat használni.



1. ábra. A különböző üvegházhatású gázok CO₂ egyenértékben kifejezett kibocsátásának (Gt C/év) és koncentrációjának (ppm) alakulása különböző forgatókönyvek szerint a XXI. században
 Forrás: OMSZ (http://met.hu/omsz.php?almenu_id=homepages&pid=numprog&pri=9&mpx=0)

3. A vizsgált éghajlati indexek

E dolgozatban bemutatott kutatás során tíz éghajlati indexet vizsgáltunk, melyeket a CLIVAR/WMO munkacsoport (Karl et al., 1999) ajánlásaiban szereplő éghajlati indexek közül választottunk ki. A 3. táblázatban foglaljuk össze a vizsgált indexek jelét, pontos definícióját, mértékegységét. A táblázat első öt sorában szereplő indexek (RR0.1, RR1, RR5, RR10, RR20) mind a lehullott csapadék mennyiségére vonatkoznak, és egy-egy meghatározott küszöbérték meghaladásával kapcsolatosak. Ezekből kettő, az RR10 és az RR20 extrém időjárási eseményt jelez. A szárazságot két éghajlati index jellemzi jelen vizsgálatunk során (DD, CDD). A gazdasági károk mérséklése szempontjából alapvető fontosságú, hogy a csapadékhullás intenzitását is ismerjük, ezért vizsgáltuk az SDII-t, valamint az RX1 és az RX5 indexeket is.

3. táblázat. A vizsgált csapadék indexek jele, definíciója és egysége

<i>Jel</i>	<i>Definíció</i>	<i>Egység</i>
RR0.1	Azon napok száma, amelyeken a lehullott csapadék mennyisége meghaladja a 0,1 mm-t. ($R_{\text{nap}} \geq 0,1 \text{ mm}$)	nap
RR1	A csapadékos napok száma: azon napok száma, amelyeken a lehullott csapadék mennyisége meghaladja az 1 mm-t. ($R_{\text{nap}} \geq 1 \text{ mm}$)	nap
RR5	Azon napok száma, amelyeken a lehullott csapadék mennyisége meghaladja az 5 mm-t. ($R_{\text{nap}} \geq 5 \text{ mm}$)	nap
RR10	Azon napok száma, amelyeken a lehullott csapadék mennyisége meghaladja a 10 mm-t. ($R_{\text{nap}} \geq 10 \text{ mm}$)	nap
RR20	Azon napok száma, amelyeken a lehullott csapadék mennyisége meghaladja a 20 mm-t. ($R_{\text{nap}} \geq 20 \text{ mm}$)	nap
DD (Dry Days)	A száraz napok száma: azon napok száma, amelyeken a lehullott csapadék mennyisége kevesebb, mint 1 mm. ($R_{\text{nap}} < 1 \text{ mm}$)	nap
CDD (Consecutive Dry Days)	Az egymást követő száraz napok maximális száma. ($R_{\text{nap}} < 1 \text{ mm}$)	nap
SDII (Simple Daily Intensity Index)	Csapadékintenzitás: a teljes csapadékösszeg és a csapadékos napok számának hányadosa. ($R_{\text{sum}}/RR1$)	mm/nap
RX1	Az 1 nap alatt lehullott maximális csapadékösszeg. ($R_{\text{max}, 1\text{nap}}$)	mm
RX5	Egymást követő 5 nap során lehullott maximális csapadékösszeg. ($R_{\text{max}, 5\text{nap}}$)	mm

4. A csapadékindexek XXI. századra becsült tendenciái

A 100, illetve 150 éves szimulált idősorokat, trendeket, illetve a térképeket, szignifikancia vizsgálatokat elemezzük ebben a fejezetben. A térképes megjelenítés során e dolgozatban csak az évszakos változási mezőket ábrázoljuk, hiszen az éves változásokban ezek eredőjeként megjelenő tendenciák sokszor félrevezetőek lehetnek az egymással ellentétes évszakos változások miatt (Bartholy et al., 2008). A változások mértékét is figyelemmel kísérjük, kiemelve a szignifikáns eltéréseket. A következő alfejezetekben a tíz csapadékindexre (RR0.1, RR1, RR5, RR10, RR20, CDD, DD, SDII, RX1, RX5) vonatkozó vizsgálatok eredményeit elemezzük hasonló típusú ábrák segítségével.

I. Elsőként az indexek idősorait tekintjük át, melyeket a három regionális klímamodell szerint különböző színekkel jelöltünk (zöld: ALADIN, kék: RegCM, narancssárga: PROMES). Terjedelmi okok miatt itt csak a téli (felül) és a nyári (alul) évszakokra vonatkozó grafikonokat mutatjuk be, hiszen a legnagyobb különbség e között a két évszak között van. Az idősorokat a Magyarországon belül levő rácspontok átlagaiból képeztük.

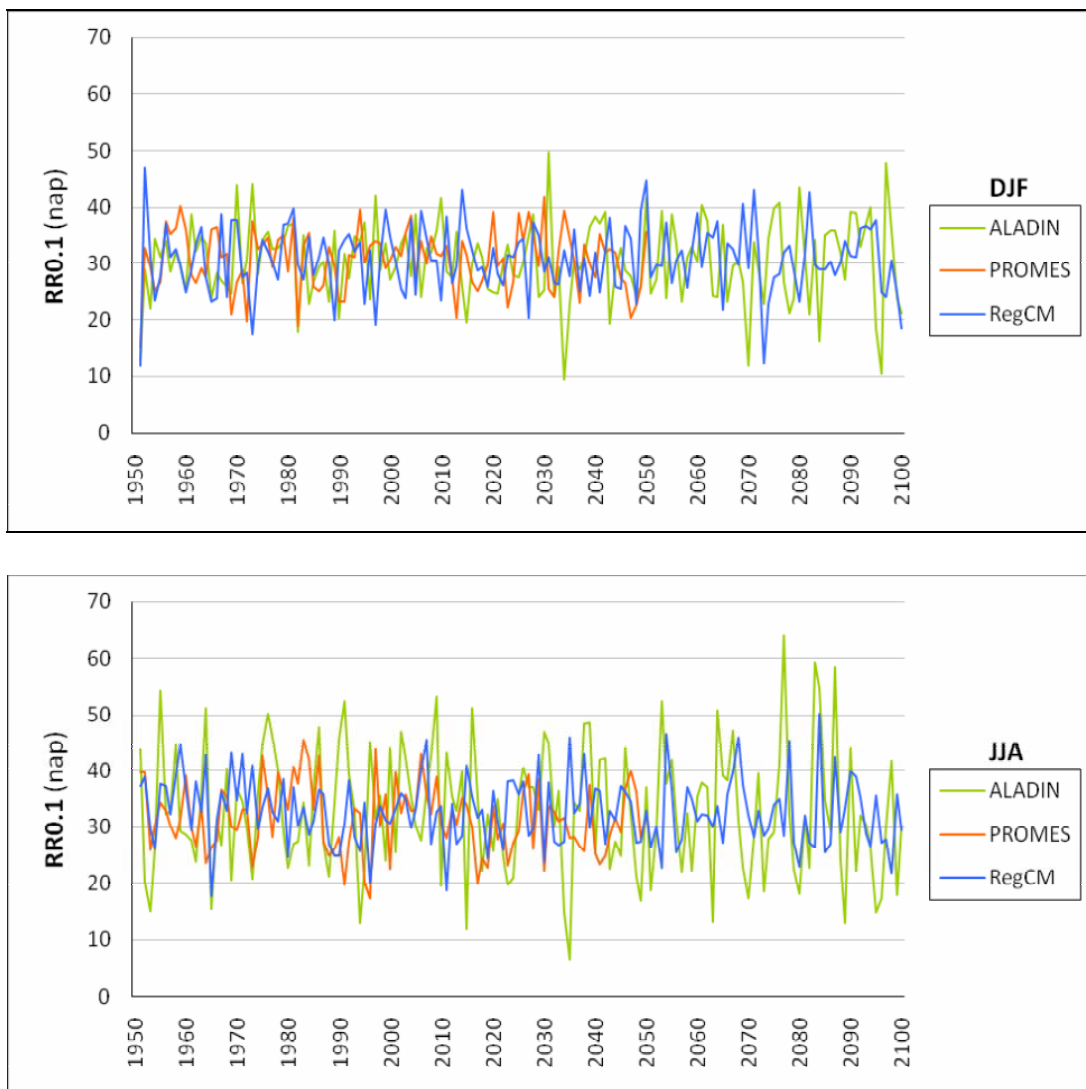
II. A 2021-2050-re, illetve 2071-2100-ra várható évszakos változásokat külön diagramon összesítjük. Ezekon a diagramokon a magyarországi rácspontok alapján számított átlagos változásokat tüntetjük fel. A beszínezett, teli szimbólumokkal jelöljük a statisztikai t-próba (Dévényi és Gulyás, 1988) alapján 95%-os szinten szignifikáns várható változásokat.

III. A várható évszakos változások térbeli szerkezetét térképes megjelenítés segítségével vizsgáljuk az egész Kárpát-medencére vonatkozóan. A bemutatott térképeken a barnás színek a várható szárazodást, a zöld árnyalatok pedig a nedvesség várható növekedését jelzik. Minél sötétebb egy-egy árnyalat, annál nagyobb a becsült változás mértéke. Az évszázad közepére (2021-2050) és végére (2071-2100) évszakonként – az 1961-1990 referencia időszakhoz viszonyított – várható relatív változások térképeit az egész Kárpát-medencét magába foglaló kivágoton jelenítjük meg. A dolgozatban az általunk vizsgált három regionális klímamodell (ALADIN, RegCM, PROMES) szimulációi alapján készült kompozit térképeket mutatjuk be. A függelékben pedig az egyes RCM-ek alapján külön-külön térképeken tüntetjük fel a prognosztizált évszakos változások térbeli szerkezetét.

Ezekon az ábrákon a térképek alatti százalékos értékek azt jelzik, hogy a magyarországi rácspontok hány százalékában szignifikáns 95%-os szinten a becült várható változás.

4.1. A 0,1 mm-nél nagyobb csapadékú napok számának várható változása (RR0.1)

Az RR0.1 definíció szerint a 0,1 mm-nél nagyobb csapadékmennyiségű napok számát jelenti (3. táblázat). A 2. ábrán a téli és nyári évszakokra vonatkozó szimulált idősorok láthatóak. A magyarországi rácspontok átlagértékei télen jellemzően 20-40 nap között változnak.

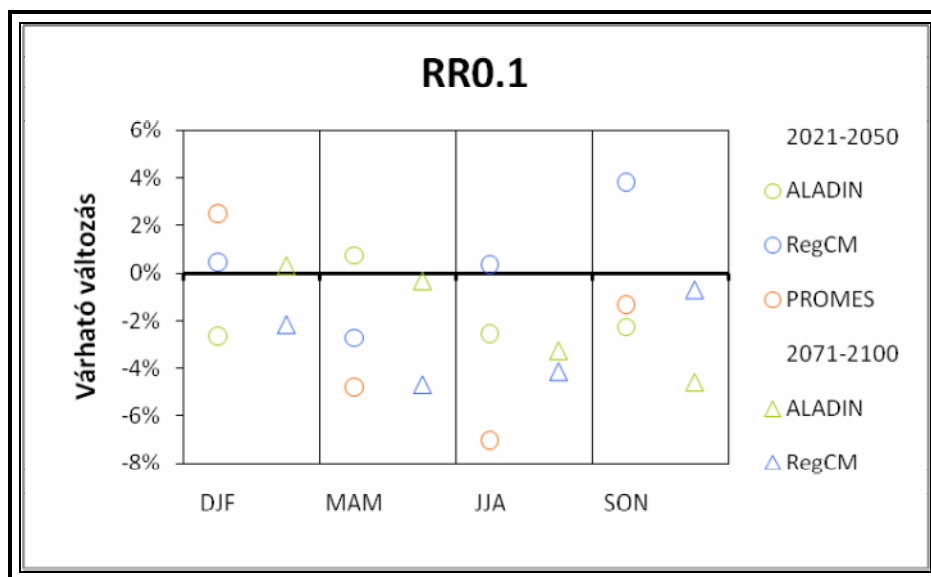


2. ábra. A 0,1 mm-nél nagyobb csapadékú napok évszakos száma télen (DJF) és nyáron (JJA), 1951-2100.

Nyáron a magyarországi rácspontokból kapott átlagértékek változékonysága nagyobb, 20 és 50 nap között változnak az értékek. A legnagyobb évek közötti változékonyságot az

ALADIN modell esetén kaptuk (az évszakos átlagidősor szórása nyáron 2071-2100 között mintegy 13 nap).

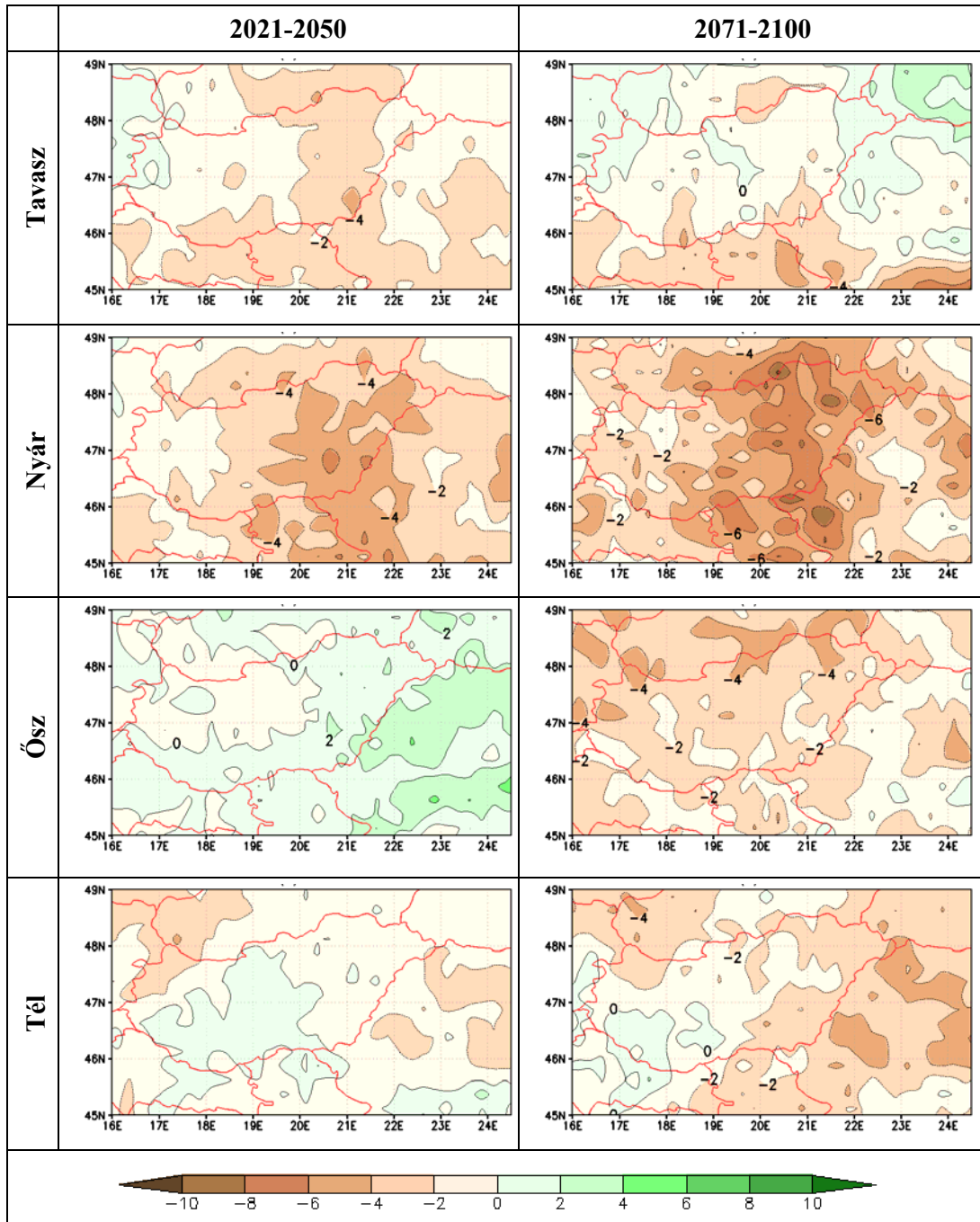
A 0,1 mm-nél nagyobb csapadékú napok számának Magyarországra várható átlagos relatív változása a XXI. század közepére és végére a 3. ábrán látható. A modellek projekciói alapján néhány százalékos csökkenésre számíthatunk az RR0.1 esetén: a távolabbi jövőre vonatkozó eredmények egyetlen kivétellel (ALADIN, tél) mind csökkenést valószínűsítenek. Azt viszont mindenképp figyelembe kell vennünk, hogy a várható változások közül egyik sem szignifikáns 95%-os szinten a t-próba alapján.



3. ábra. Az RR0.1 várható relatív változása a XXI. század közepére és végére (a 95%-os szinten szignifikáns eltéréseket teli jelek mutatják). Referencia időszak: 1961-1990.

A kompozit térképek (4. ábra) alapján a Kárpát-medencében várható relatív változás a XXI. században -4% és +4% közé tehető. Tehát nem várhatóak nagymértékű változások, de feltehetőleg valamelyest csökkenni fog az RR0.1 értéke. A legerőteljesebb csökkenést mindkét időszakra nyárra várhatjuk az Alföld térségére (akár 8%-os változást). Az egyes modelleket külön-külön vizsgálva (F.1. ábra) láthatjuk, hogy a 2021-2050-es időszakra vonatkozóan az ALADIN és a PROMES északnyugat-délkeleti irányú csökkenést, a RegCM pedig északkelet-délnyugat irányú kismértékű növekedést valószínűsít nyárra. A távolabbi jövőre nézve (F.2. ábra) mindkét RCM az RR0.1 csökkenését jelzi. A várható változások az esetek többségében nem szignifikánsak a t-próba alapján 95%-os szinten Magyarországon (kivéve a PROMES: nyáron a rácsponatok 85%-ában várható szignifikáns

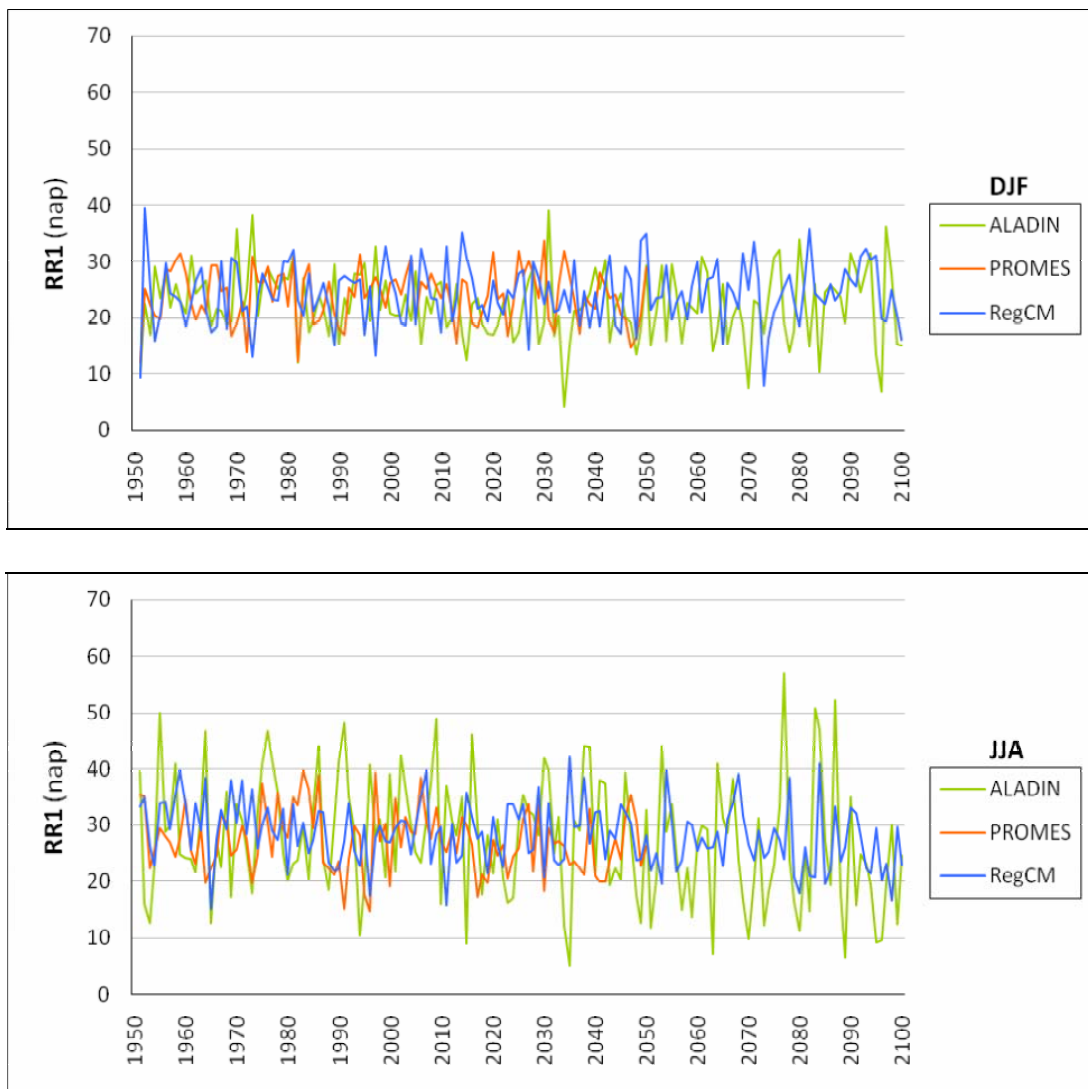
változás). A legnagyobb növekedést ősze várhatjuk a 2021-2050-es időszakra, ekkor az ország keleti felében, valamint Erdélyben 2-4%-os pozitív irányú változás várható (ezt az F.1. ábrán is jól láthatjuk: a RegCM 4-8%-os növekedést valószínűsít Erdélyben).



4. ábra. Az RR0.1 index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re és 2071-2100-ra. Referencia időszak: 1961-1990.

4.2. Az 1 mm-nél nagyobb csapadékú napok számának várható változása (RR1)

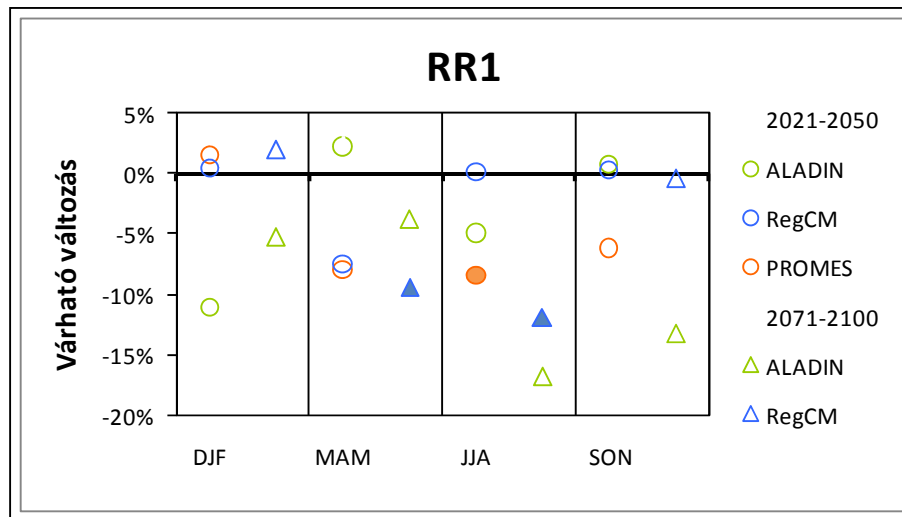
Az egyik legfontosabb csapadékindex az RR1, hiszen ez az index mutatja meg a csapadékos napok számát (azaz azon napok számát, amikor az 1 nap alatt lehullott csapadék mennyisége meghaladja az 1 mm-t). A magyarországi rácspontra vonatkozó idősor (5. ábra) alapján télen 20-30 nap között mozognak a modellek projekciói. Nyáron feltehetőleg több a csapadékos napok száma, mint télen: erre jó példa az ALADIN szimulációja (akár duplájára is nőhet az RR1 értéke nyáron a télhez képest).



5. ábra. Az 1 mm-nél nagyobb csapadékú napok évszakos száma télen (DJF) és nyáron (JJA), 1951-2100.

A két évszak összehasonlítása során azt a megállapítást tehetjük, hogy nyáron valamelyest több az RR1 értéke mint télen, ugyanakkor a teljes szimulációs időszakra számított trendegyütthatók szignifikáns csökkenést valószínűsítnek nyárra.

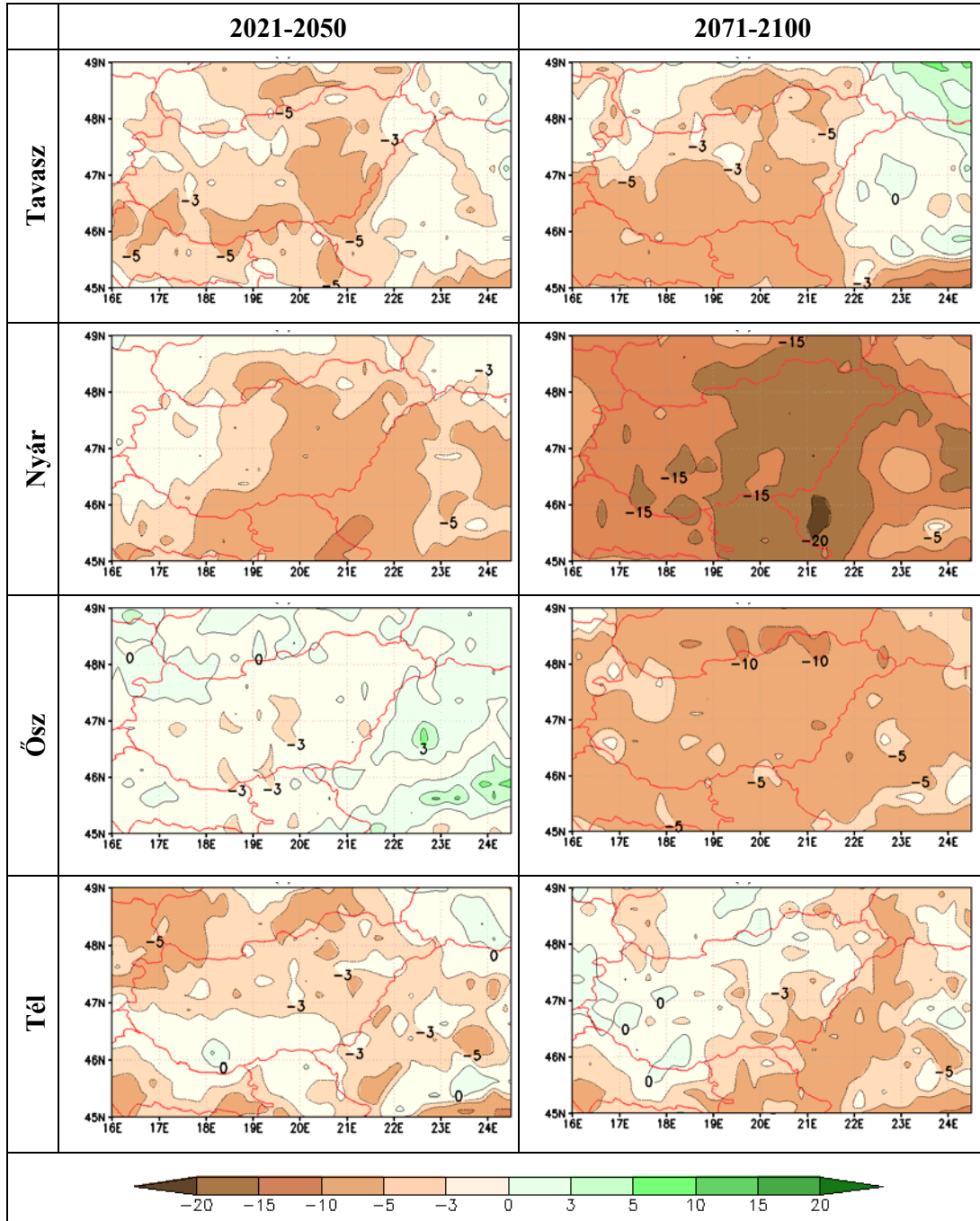
A távolabbi jövőre (2071-2100) vonatkozóan az RR1-gyel jelölt csapadékos napok száma (6. ábra) mindkét modell beclése szerint legfeljebb 20%-kal fog csökkenni, vagyis nagy valószínűséggel ritkábban számíthatunk majd csapadékra a jövőben mind a négy évszakban. Szignifikáns változást csupán a RegCM prognosztizál a 2071-2100 időszak nyári és tavaszi hónapjaira, valamint a PROMES jelez előre 10%-os szignifikáns csökkenést a 2021-2050 időszak nyarára vonatkozóan. Növekedés leginkább télen valószínűsíthető (a RegCM és a PROMES szimulációk alapján), de ezek a kismértékű változások nem szignifikánsak a t-próba alapján.



6. ábra. A csapadékos napok számának várható relatív változása a XXI. század közepére és végére (a 95%-os szinten szignifikáns eltéréseket teli jelek mutatják).
Referencia időszak: 1961-1990.

A 7. ábrán az RR1 várható változásának térbeli eloszlását láthatjuk. Szárazodás feltehetőleg nyárra várható leginkább: az Alföld területén 15%-ot meghaladó csökkenés is előfordulhat a jövőben. Az előző indexhez (RR0.1) hasonló térbeli eloszlással az egyes modellek alapján készült térképek (F.3. ábra) szerint nyáron az ALADIN és a PROMES csökkenést, a RegCM pedig kisebb mértékű növekedést valószínűsít 2021-2050-re. Várható növekedést a kompozit térképek nagyon kis hányadán észlelhetünk: tavasszal, a Kárpátokban láthatunk zöld színeket, melyek az RR1 növekedését jelzik (ez az ALADIN modell 2021-2050 tavaszára vonatkozó térképén jól látható – F.3. ábra). A kompozit

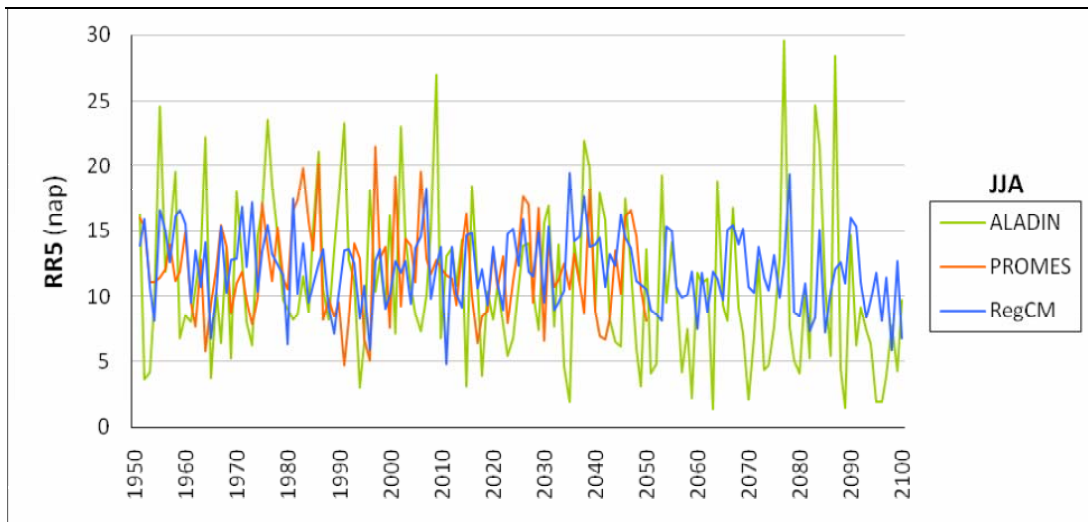
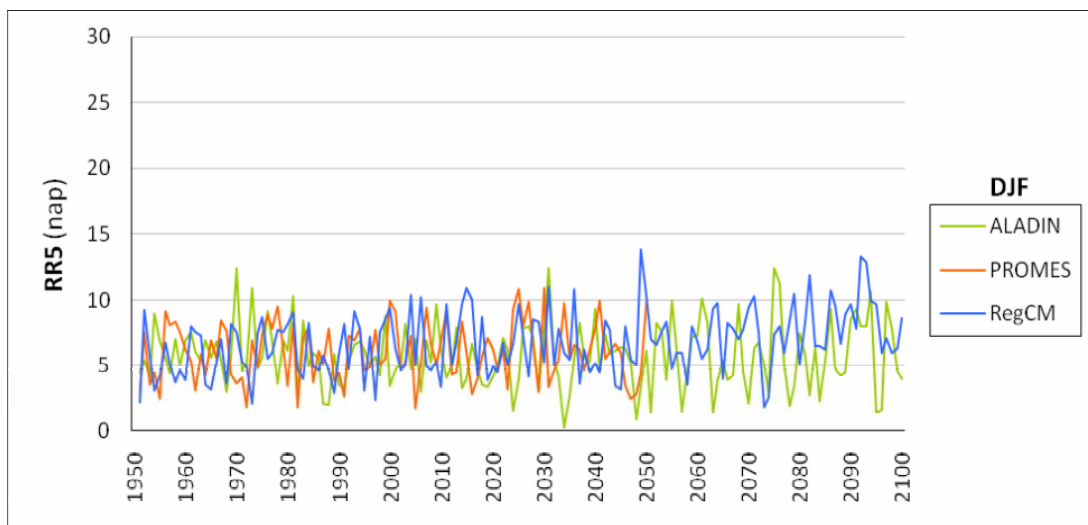
térképek alapján azt az összegző megállapítást tehetjük, hogy feltehetőleg 3-10%-kal fog csökkenni a csapadékos napok száma a Kárpát-medence térségében a jövőben.



7. ábra. Az RR1 index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re és 2071-2100-ra. Referencia időszak: 1961-1990.

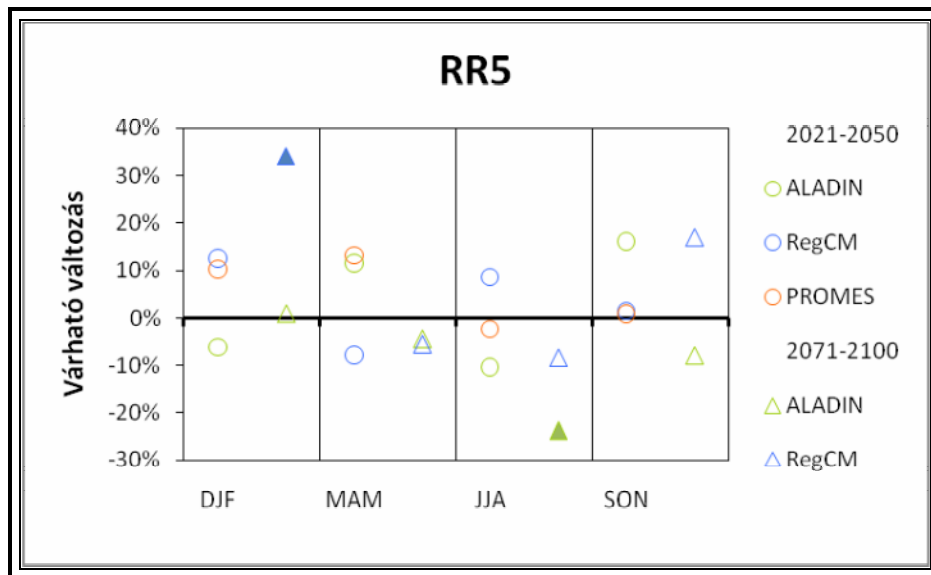
4.3. Az 5 mm-nél nagyobb csapadékú napok számának várható változása (RR5)

Az RR5 az 5 mm-t meghaladó csapadékú napok számát jelenti definíció szerint (3. táblázat). Télen növekedésre számíthatunk a megjelenített idősorok (8. ábra), és az ezekre számított trendegyütthatók alapján, nyáron viszont kismértékű csökkenést valószínűsíthetünk. A két évszak összevetéséből láthatjuk, hogy nyáron sokkal gyakoribb az 5 mm-t meghaladó csapadékmennyiség (jellemzően 5-20 nap), mint télen (3-10 nap); valamint azt is észrevehetjük, hogy míg télen viszonylag kiegyenlített az RR5 ingadozása, addig nyáron nagyok a szórások (a legnagyobb az ALADIN szimulációiból számított index nyári idősorának szórása, mely 2071-2100 között meghaladja a 7 napot).



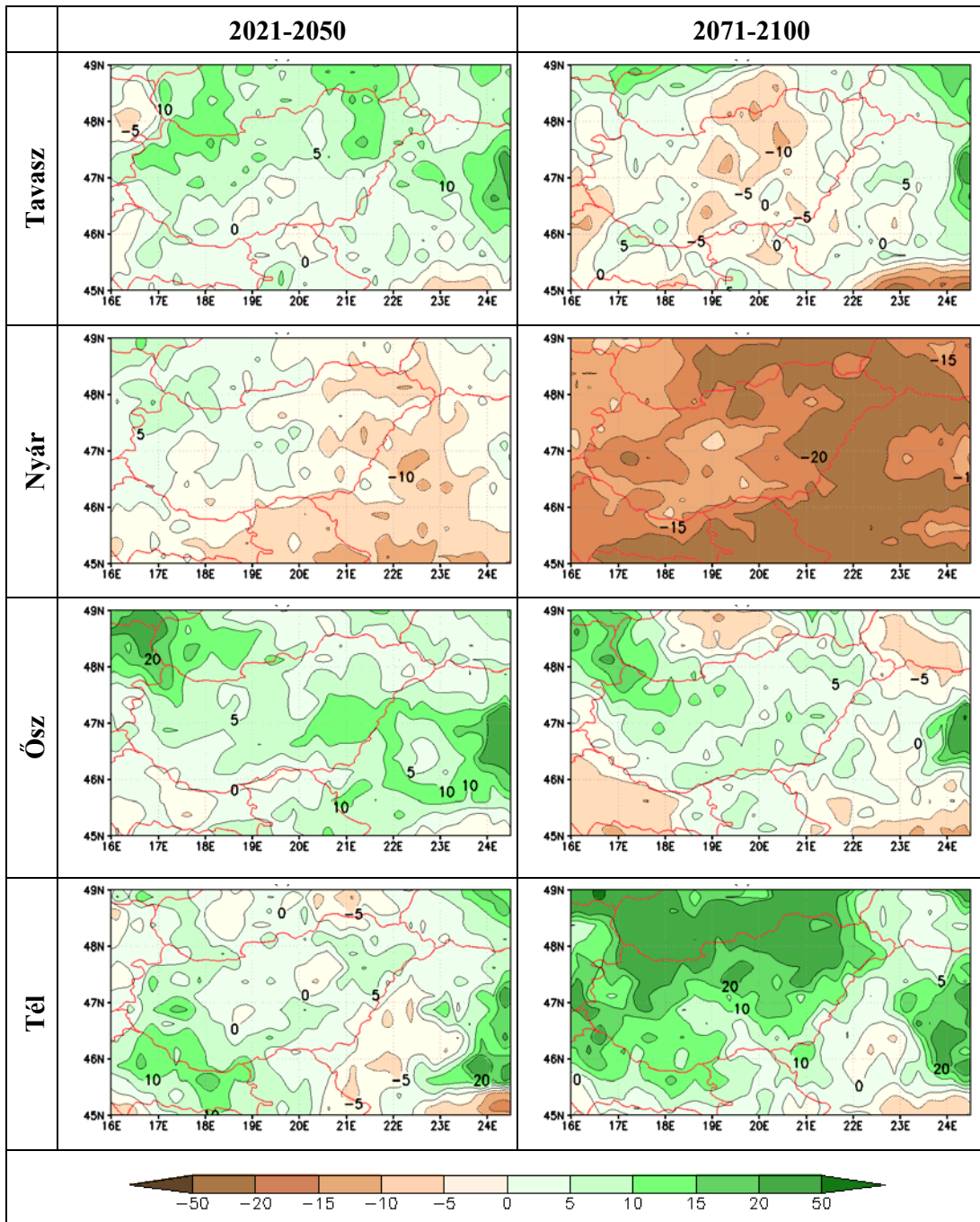
8. ábra. Az 5 mm-nél nagyobb csapadékú napok évszakos száma télen (DJF) és nyáron (JJA), 1951-2100.

Az 5 mm mennyiséget meghaladó csapadékos napok számának jövőben várható relatív változása a 9. ábrán látható. A legtöbb eredmény -10% és +10% közé esik, így egy kiegyenlített sávban mozognak az RCM-ek projekciói. A 8. ábrán csupán két szignifikáns eltérést láthatunk: ezek éppen ellentétes irányú várható változásokat mutatnak: a távolabbi jövőre vonatkozóan a RegCM télre kb. 35%-os növekedést, míg az ALADIN nyárra közel 30%-os csökkenést jelez előre. Tehát feltehetőleg télen növekedni, nyáron pedig csökkenni fog azon napok száma, amikor a lehullott csapadék mennyisége meghaladja az 5 mm-t.



9. ábra. Az RR5 várható relatív változása a XXI. század közepére és végére (a 95%-os szinten szignifikáns eltéréseket teli jelek mutatják). Referencia időszak: 1961-1990.

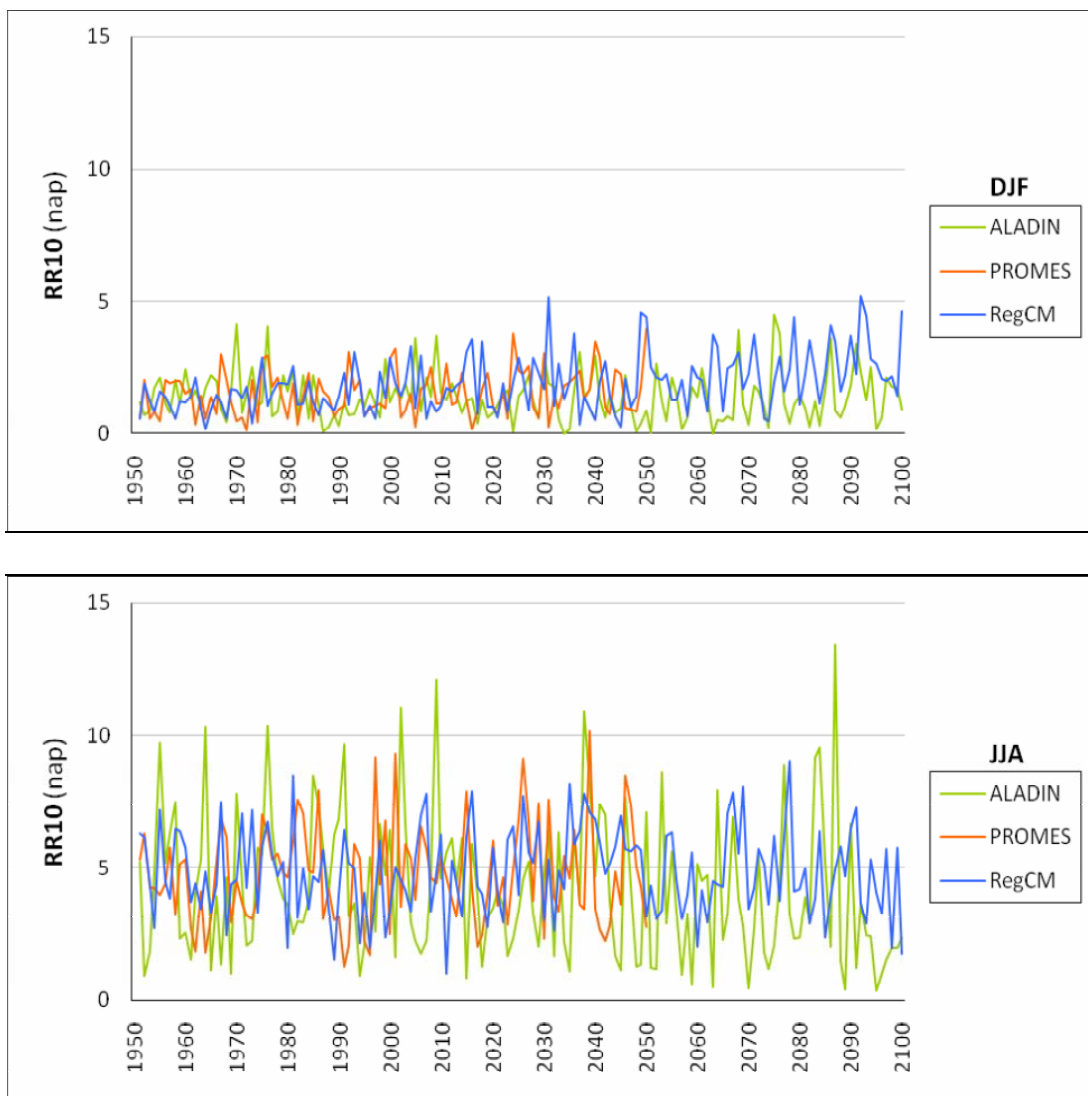
Az RR5 változásának térbeli eloszlását a 10. ábrán láthatjuk. Nyáron, a távolabbi jövőben kelet felé erősödő csökkenés várható (mely akár 20%-os csökkenést jelenthet a keleti határszélen). Az F.6. ábrán is láthatjuk, hogy nyáron átlagosan 15-30%-kal lesz kevesebb az RR5 értéke, mely változás feltehetőleg az ország felén szignifikáns lesz. Télen viszont az 5 mm-t meghaladó csapadékmennyiség gyakoribbá válására számíthatunk a 2071-2100 közötti időszakra vonatkozóan, elsősorban a Kárpát-medence északi területein. A RegCM 20-50%-os növekedést jelez 2071-2100 telére vonatkozóan (F.6. ábra), a magyarországi rácspontok 98%-ban szignifikáns változással. A térképekről leolvasott változások várható alakulása alátámasztja az előző ábra alapján levont következtetéseinket. Az átmeneti évszakokban csak csekély mértékű (5%-ot alig meghaladó) változás várható.



10. ábra. Az RR5 index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re és 2071-2100-ra. Referencia időszak: 1961-1990.

4.4. A 10 mm-nél nagyobb csapadékú napok számának várható változása (RR10)

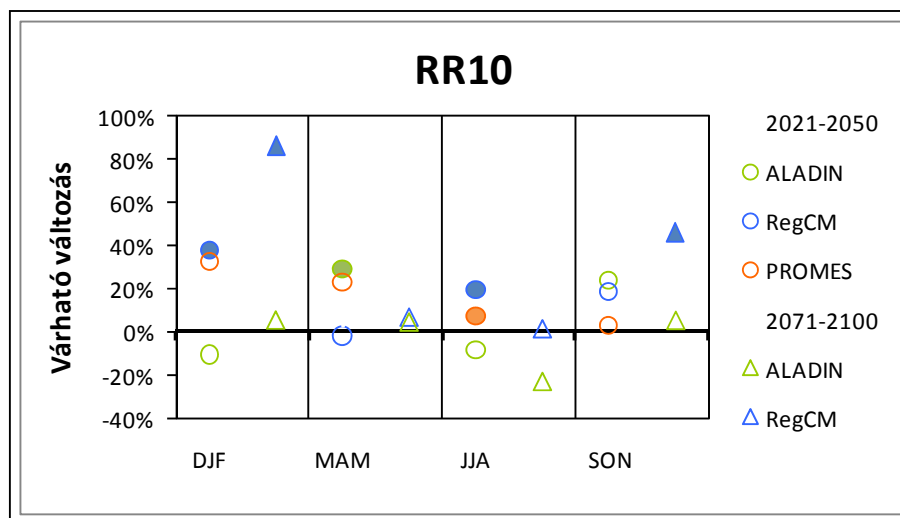
Ebben az alfejezetben a 10 mm-nél nagyobb csapadékú napok számára (RR10) vonatkozó vizsgálataink eredményeit elemezzük. Elsőként idősorok segítségével (11. ábra) tekintjük át, hogyan alakul ennek az indexnek a megváltozása. A téle vonatkozóan egyértelműen növekedő tendenciát figyelhetünk meg: mindhárom klímamodell az RR10 növekedését prognosztizálja a XXI. század végére. A legkisebb növekedést az ALADIN előrejelzései mutatják. A nyárra vonatkozóan nem ilyen egyértelmű a növekedés, inkább a nagy szórás tűnik fel (pl. a 2021-2050 időszakban a szórás az ALADIN esetén 3 nap, a RegCM szerint 1 nap, a PROMES alapján pedig 2 nap).



11. ábra. A 10 mm-nél nagyobb csapadékú napok évszakos száma télen (DJF) és nyáron (JJA), 1951-2100.

Az általunk vizsgált modellek szerint az RR10 nyáron többször (5-10 nap), télen kevesebbszer (1-5 nap) fordul elő Magyarországon.

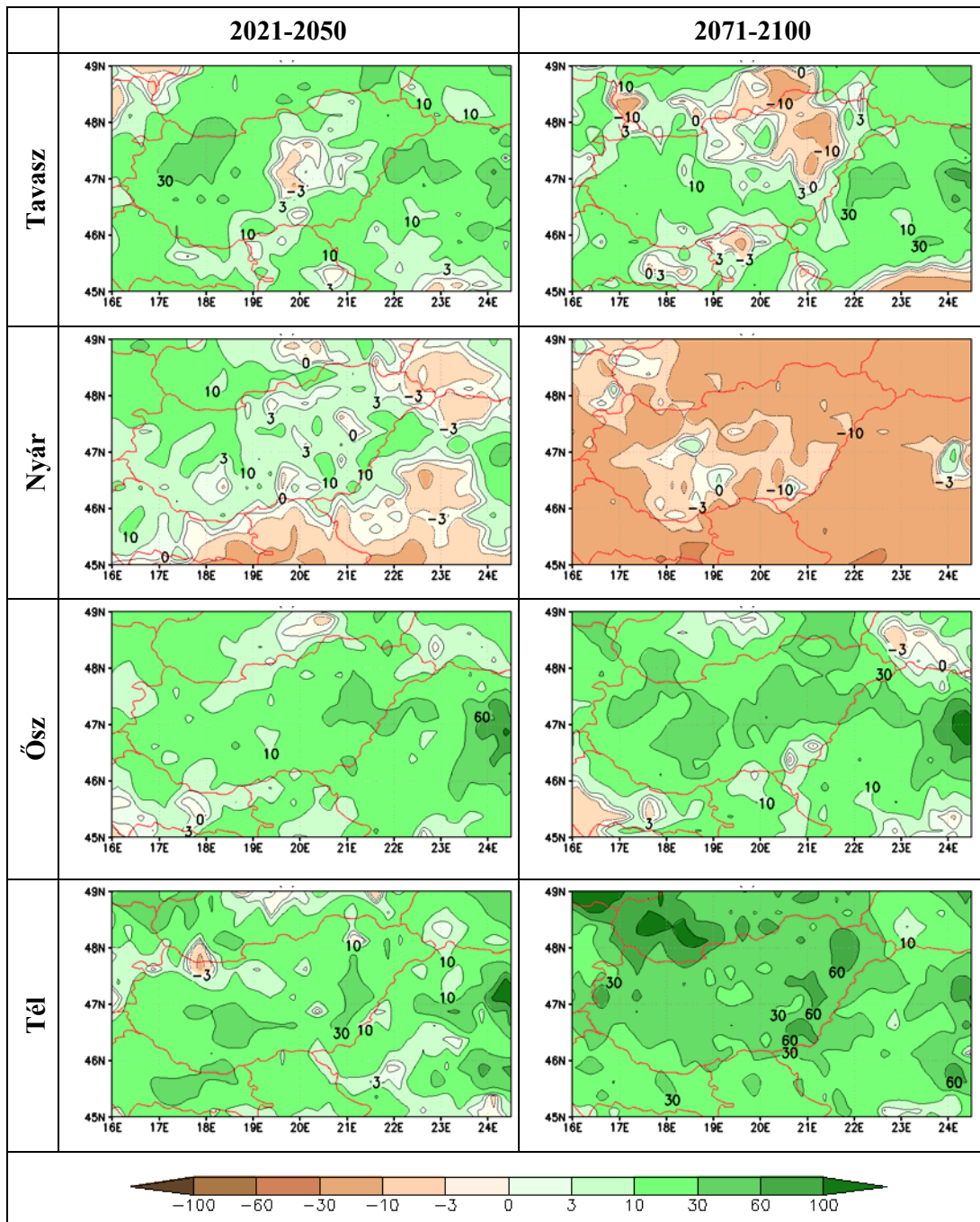
Az eredményeink alapján a 10 mm-nél nagyobb csapadékú napok száma (RR10) várhatóan meg fog növekedni a jövőben, ezt alátámasztja a 12. ábra is. A 95%-os szinten szignifikáns várható változások mindegyike pozitív: 2021-2050-re télen és kisebb mértékben nyáron a RegCM szimulációk alapján, tavasszal az ALADIN szimulációk alapján, nyáron a PROMES szimulációk alapján is kismértékű szignifikáns növekedésre számíthatunk. A legjelentősebb változások 2071-2100-ra valószínűsíthetőek: a RegCM szimulációk alapján, télen és ősszel egyaránt szignifikáns, 40%-ot meghaladó növekedés várható. Kismértékű csökkenést télen és nyáron csak az ALADIN szimulációk prognosztizálnak, ám ezek egyike sem szignifikáns. Tehát a jövőben várhatóan gyakoribbá fog válni a 10 mm-t meghaladó csapadékos napok száma.



12. ábra. A 10 mm-nél nagyobb csapadékú napok számának várható relatív változása a XXI. század közepére és végére (a 95%-os szinten szignifikáns eltéréseket teli jelek mutatják). Referencia időszak: 1961-1990.

A térképek alapján (13. ábra) is egyértelműen látszik, hogy alapvetően az RR10 növekedésére kell számítanunk minden évszakban a jövőben, a nyár kivételével. A legnagyobb mértékű növekedés a 2071-2100-as időszak telére valószínűsíthető: az ország keleti felén a 60%-ot is meghaladhatja a változás mértéke; a RegCM szimulációi alapján (F.8. ábra) akár 100%-os is lehet a várható növekedés mértéke, mely az ország 98%-án jelent szignifikáns változást. A legjelentősebb csökkenés nyáron (10%) Magyarország északkeleti vidékén várható a kompozit térképek alapján (F.7. ábra) a 2071-2100-as

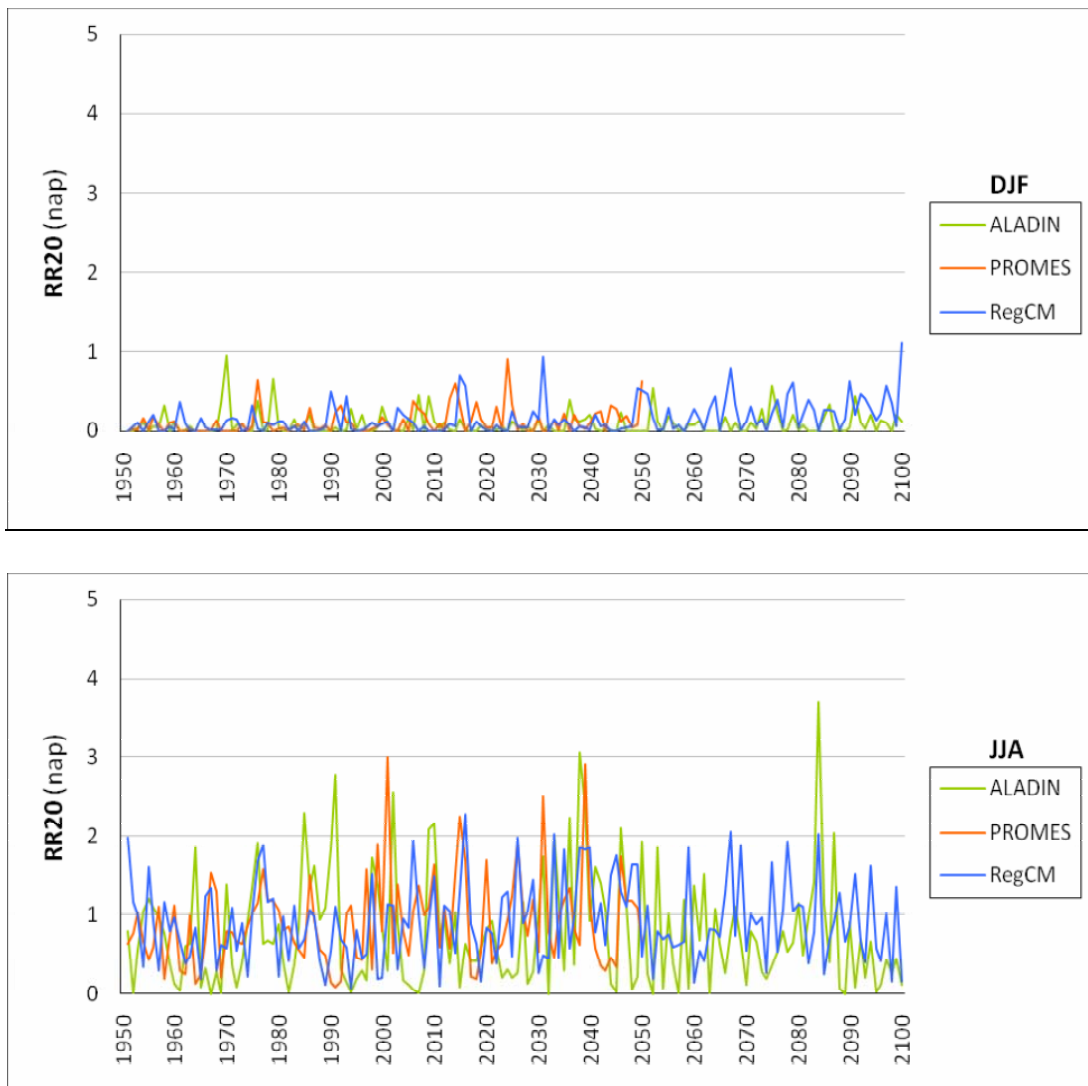
időszakra vonatkozóan. Az egyes modellek szimulációi alapján 2021-2050 nyarán -10% és 30% közötti a változás mértéke, a távolabbi jövőre nézve (F.8. ábra) akár a 40%-ot is elérheti a csökkenés mértéke.



13. ábra. Az RR10 index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re és 2071-2100-ra. Referencia időszak: 1961-1990.

4.5. A 20 mm-nél nagyobb csapadékú napok számának várható változása (RR20)

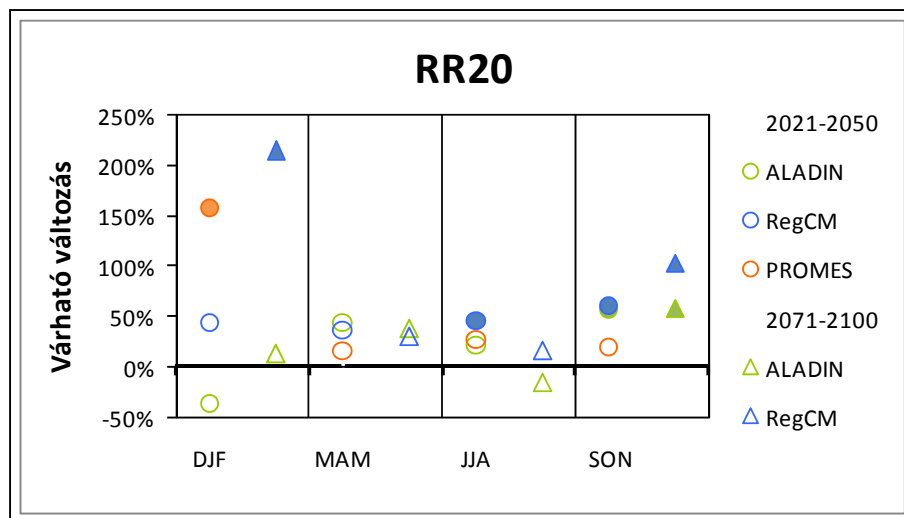
Az egy nap alatt lehullott 20 mm-t meghaladó csapadék mennyiségét az RR20 index jelöli, mely extrém csapadéktevékenységet jelent. A 14. ábrán az RR20-ra vonatkozó téli és nyári idősorokat láthatjuk: az előző ábrákhoz hasonlóan, az RR20 index esetén kisebb értékek jelennek meg (télien 0 és 1 nap között változik az index értéke). Ennek oka, hogy a 20 mm-t meghaladó csapadékmennyiség különösen télen ritkábban bekövetkező esemény. Télen egy kismértékű növekedésre számíthatunk: ez leginkább a RegCM eredményei alapján látszik (a trendegyüttható értéke 0,02 nap/évtized, mely 95%-os szinten szignifikáns).



14. ábra. A 20 mm-nél nagyobb csapadékú napok évszakos száma télen (DJF) és nyáron (JJA), 1951-2100.

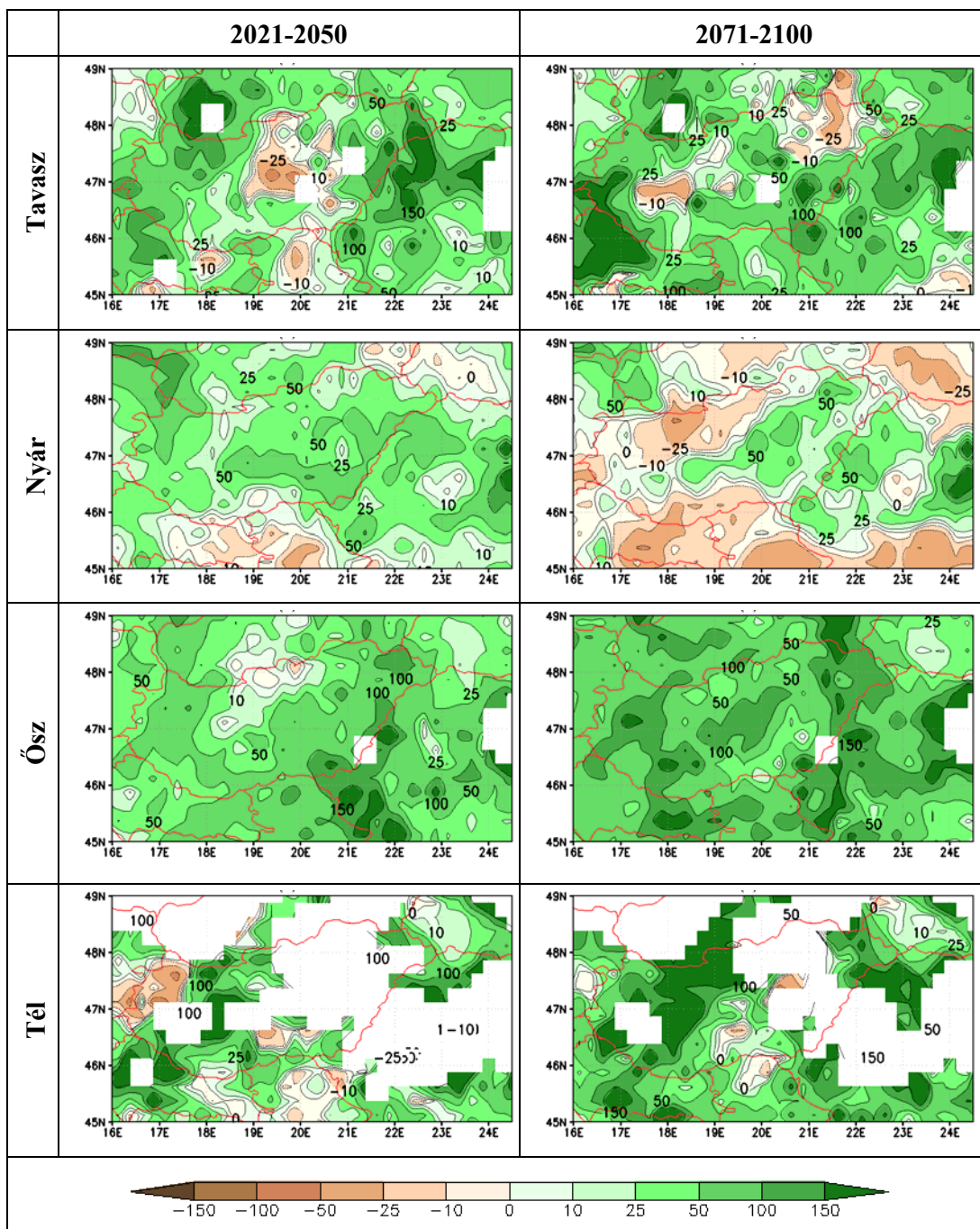
Nyáron több az RR20 előfordulási száma, mint télen, ám itt nem láthatunk egyértelmű tendenciát, hiszen nagy a szórás: átlagosan 0-2 nap között mozognak az értékek, a maximum csaknem eléri a 4 napot.

A 15. ábrán a 20 mm-t meghaladó csapadékmennyiség várható relatív változását láthatjuk az 1961-1990. referencia időszakhoz viszonyítva. Az eredmények alapján arra a következtetésre juthatunk, hogy az RR20 száma várhatóan növekedni fog. Néhány esetben ugyan csökkenést prognosztizál az ALADIN modell, de ezek a becsült változások nem szignifikánsak. Télen és ősszel láthatunk szignifikáns növekedést, várhatóan akár 150-200%-os is lehet ez a változás a RegCM, illetve a PROMES szimulációi alapján.



15. ábra. A 20 mm-nél nagyobb csapadékú napok számának várható relatív változása a XXI. század közepére és végére (a 95%-os szinten szignifikáns eltéréseket jelölő jelek mutatják). Referencia időszak: 1961-1990.

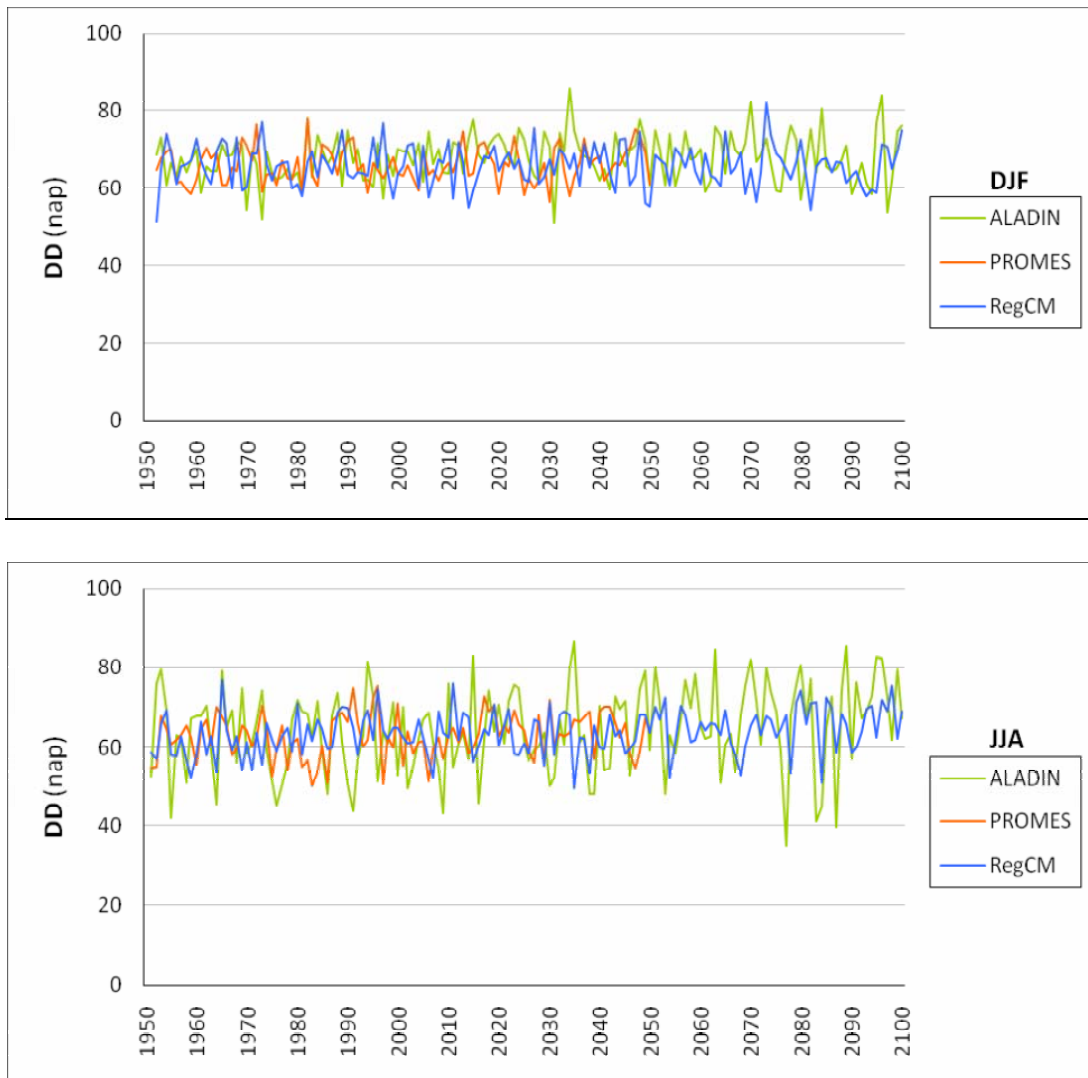
Az RR20 várható változását a Kárpát-medence egész térségére a 16. ábrán láthatjuk. A fehér területek azokat a helyeket jelölik, ahol a szimulációk alapján az 1961-1990-es időszakban korábban nem fordult elő 20 mm-t meghaladó csapadékmennyiség. Ez az esemény a múltban ritkán fordult elő (a legkevesebb alkalommal télen), ezért a relatív változásokra igen nagy értékeket kaptunk. Növekedésre ősszel, illetve télen számíthatunk leginkább (a Dunántúlon akár 150%-os változás is várható); nyáron és tavasszal egyes területeken (pl. a Kárpát-medence déli részén) csökkenhet az RR20 értéke, ám az egyes modellek szimulációi alapján (F.10. ábra) a Kárpát-medence keleti területein növekedésre számíthatunk.



16. ábra. Az RR20 index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re és 2071-2100-ra. Referencia időszak: 1961-1990.

4.6. A száraz napok számának várható változása (DD)

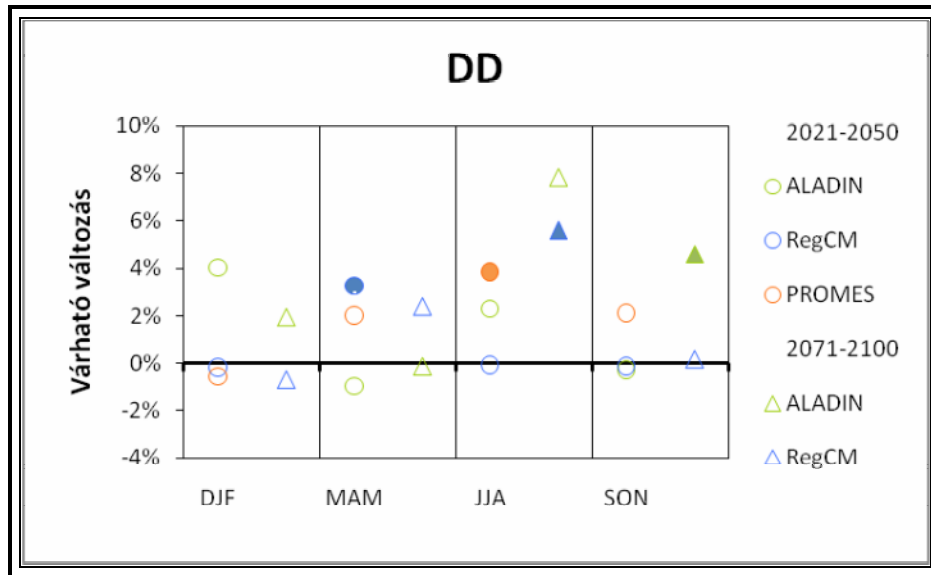
A DD (Dry Days) a száraz napok számát jelenti, vagyis azokat a napokat, amikor a lehullott csapadék mennyisége kevesebb, mint 1 mm. A 17. ábrán azt láthatjuk, hogy télen átlagosan 60-80 nap között mozog az index értéke az általunk vizsgált 150 év során, míg nyáron 40-80 nap között. A XXI. század végére nyáron kismértékű növekedés várható a száraz napok számában a megjelenített idősorok menete és az ezekből számított trendegyütthatók alapján is – ennek feltehetőleg kedvezőtlen hatása lesz a mezőgazdaságra nézve.



17. ábra. A száraz napok napok évszakos száma télen (DJF) és nyáron (JJA), 1951-2100.

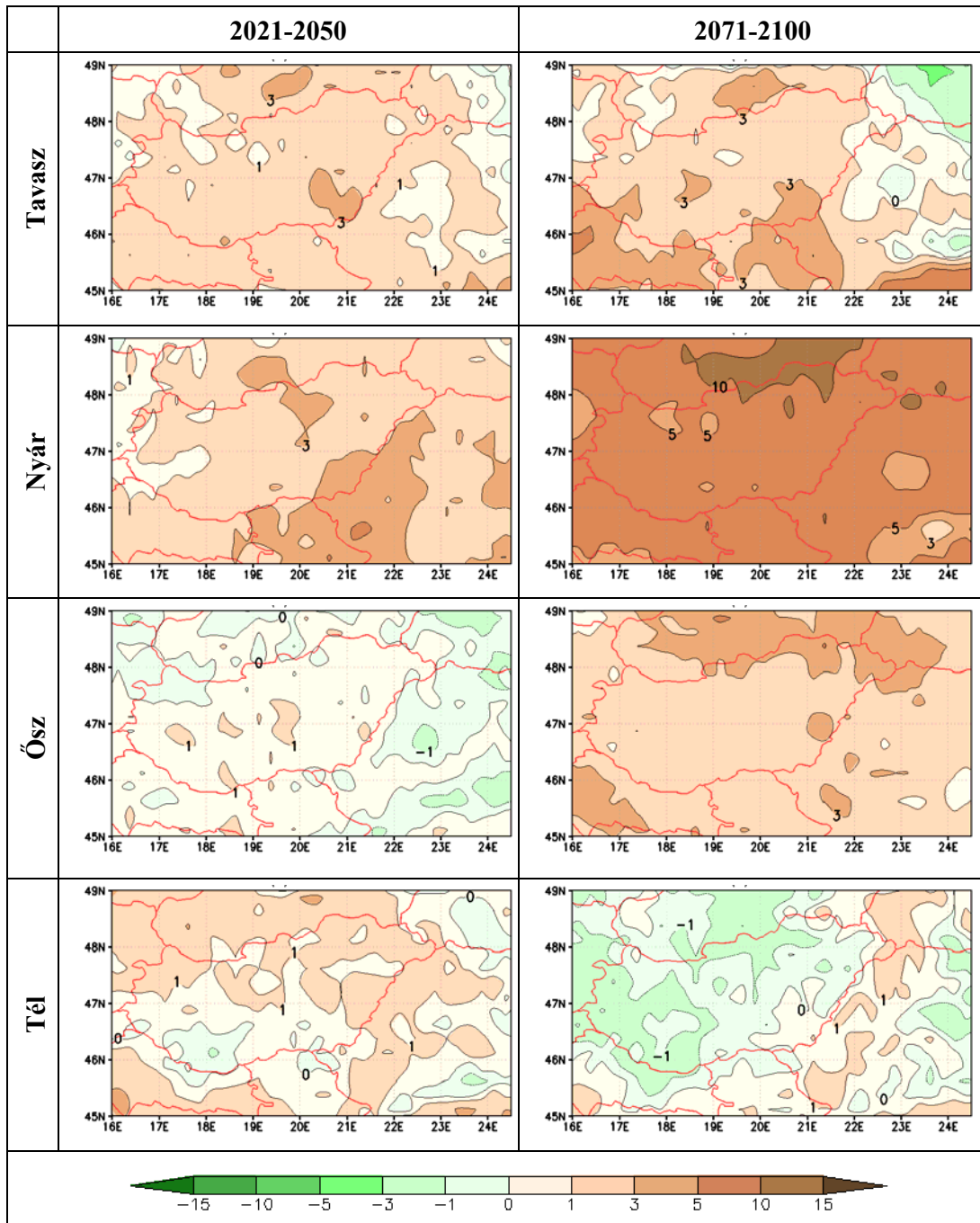
A száraz napok évszakonként várható relatív változását a 18. ábra összegzi a magyarországi rácspontokra vonatkozóan. A szignifikáns eltérések mind növekedést

prognosztizálnak: nyáron a RegCM 6%-os, a PROMES 4%-os, ősszel az ALADIN 4%-os, tavasszal pedig a RegCM szintén 4%-os változást jelez előre. Néhány esetben csökkenést várhatunk a regionális klímamodellek eredményei alapján (elsősorban télen és tavasszal), ám ezek a változások nem szignifikánsak. Tehát levonhatjuk a következtetést, miszerint a jövőben várhatóan meg fog növekedni a száraz napok száma az országban.



18. ábra. A száraz napok számának várható relatív változása a XXI. század közepére és végére (a 95%-os szinten szignifikáns eltéréseket teli jelek mutatják). Referencia időszak: 1961-1990.

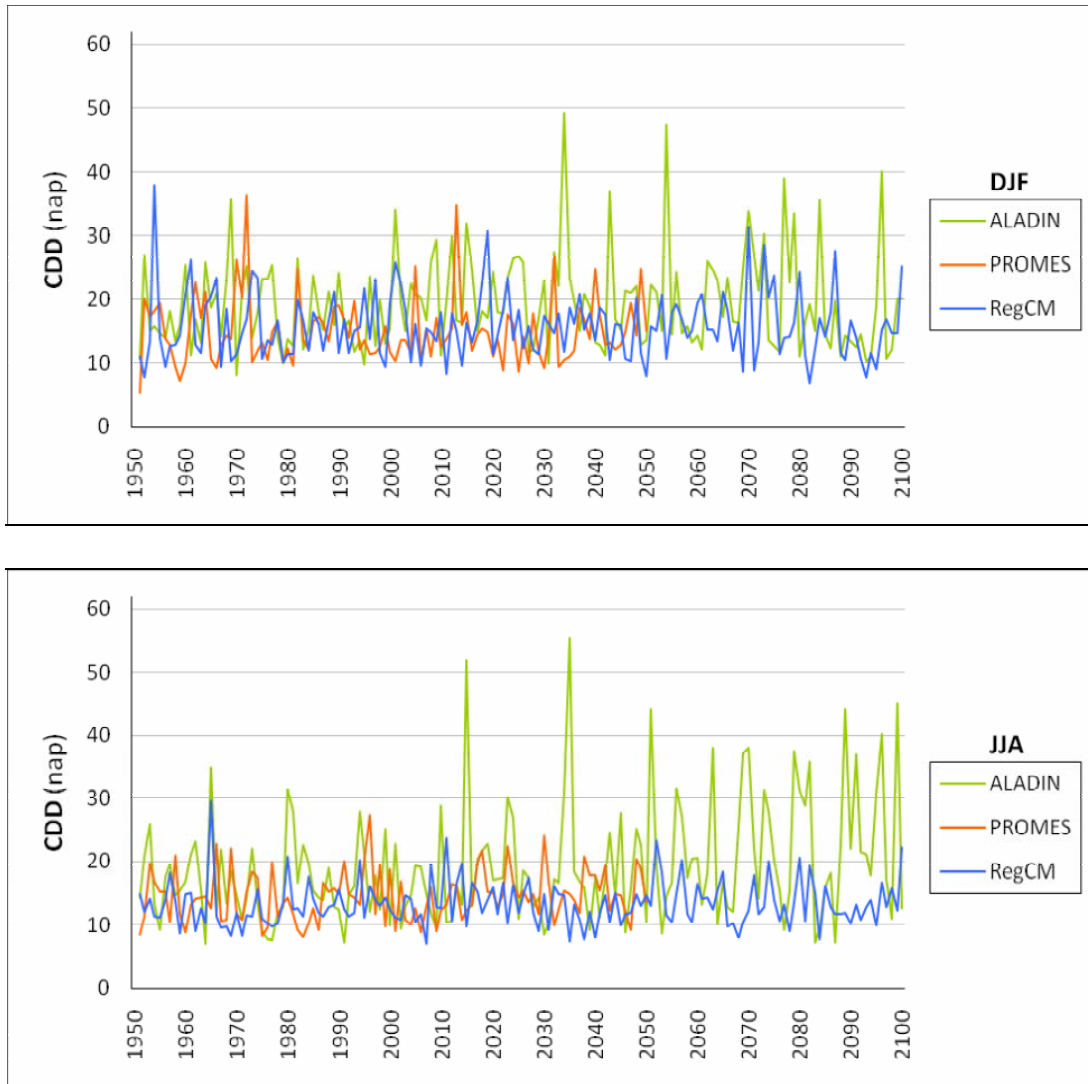
A térképeken (19. ábra) is látható, hogy a DD meg fog növekedni a jövőben, hiszen alapvetően minden évszakban mindkét vizsgált időszakra a barna színek jellemzőek, melyek a szárazodást, azaz a száraz napok számának megnövekedését jelentik (átlagosan 1-3%). Hogyha ez a kevesebb csapadékmennyiség növekvő hőmérséklettel párosul a jövőben, akkor sajnos nem csupán a mezőgazdaságra, de az emberi szervezetre nézve is káros hatással lehet majd ez a változás. A legjelentősebb növekedés nyárra várható a távolabbi jövőre nézve (10%). Ugyanakkor kismértékű (3%) csökkenés valószínűsíthető a távolabbi jövőre nézve télen, elsősorban az ország nyugati felén. Az egyes RCM-ek térképeit nézve (F.11. ábra) nyáron a 2021-2050 közötti időszakban 3-5%-os növekedés várható az ALADIN és a PROMES szimulációi alapján; a RegCM 1-3%-os csökkenést valószínűsít az ország nyugati felére. 2071-2100 között (F.12. ábra) mindkét modell (ALADIN, RegCM) 5-10%-os növekedést mutat; a t-próba alapján az ország több mint 80%-ában szignifikáns lesz a változás.



19. ábra. Az DD index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re és 2071-2100-ra. Referencia időszak: 1961-1990.

4.7. Az egymást követő száraz napok számának várható változása (CDD)

A CDD (Consecutive Dry Days) az egymást követő száraz napok maximális számát jelenti. Télen nem figyelhetünk meg egyértelmű tendenciát az idősorok (20. ábra) alapján. A grafikonon jól látszik, hogy az általunk vizsgált regionális klímamodellek közül az ALADIN adja a leghosszabb száraz időszakokat, mely a XXI. század során többször is meghaladja a 30 napos hosszúságot.

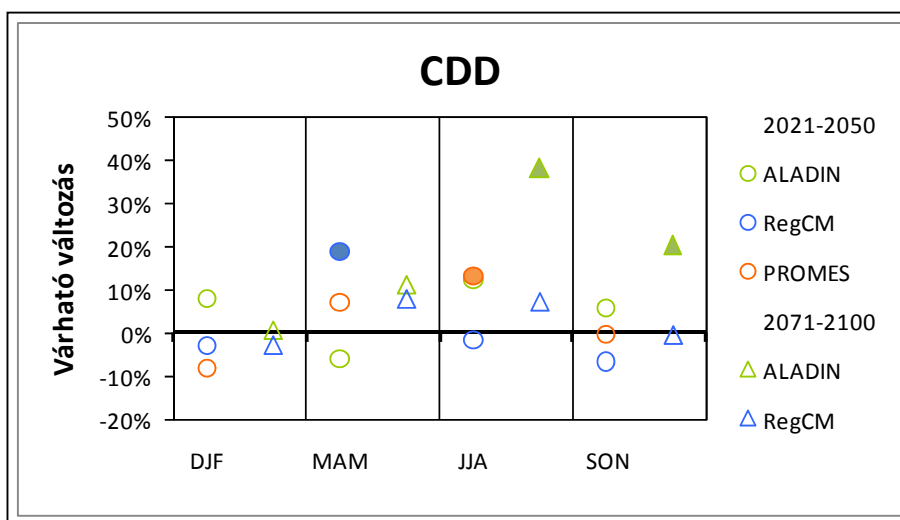


20. ábra. Az egymást követő száraz napok napok évszakos száma télen (DJF) és nyáron (JJA), 1951-2100.

Az ALADIN szimulációi esetében nyáron nagyobb a szórás, a RegCM és a PROMES szimulációk idősaiban télen. Mindkét bemutatott évszakban jellemzően 10-40 nap

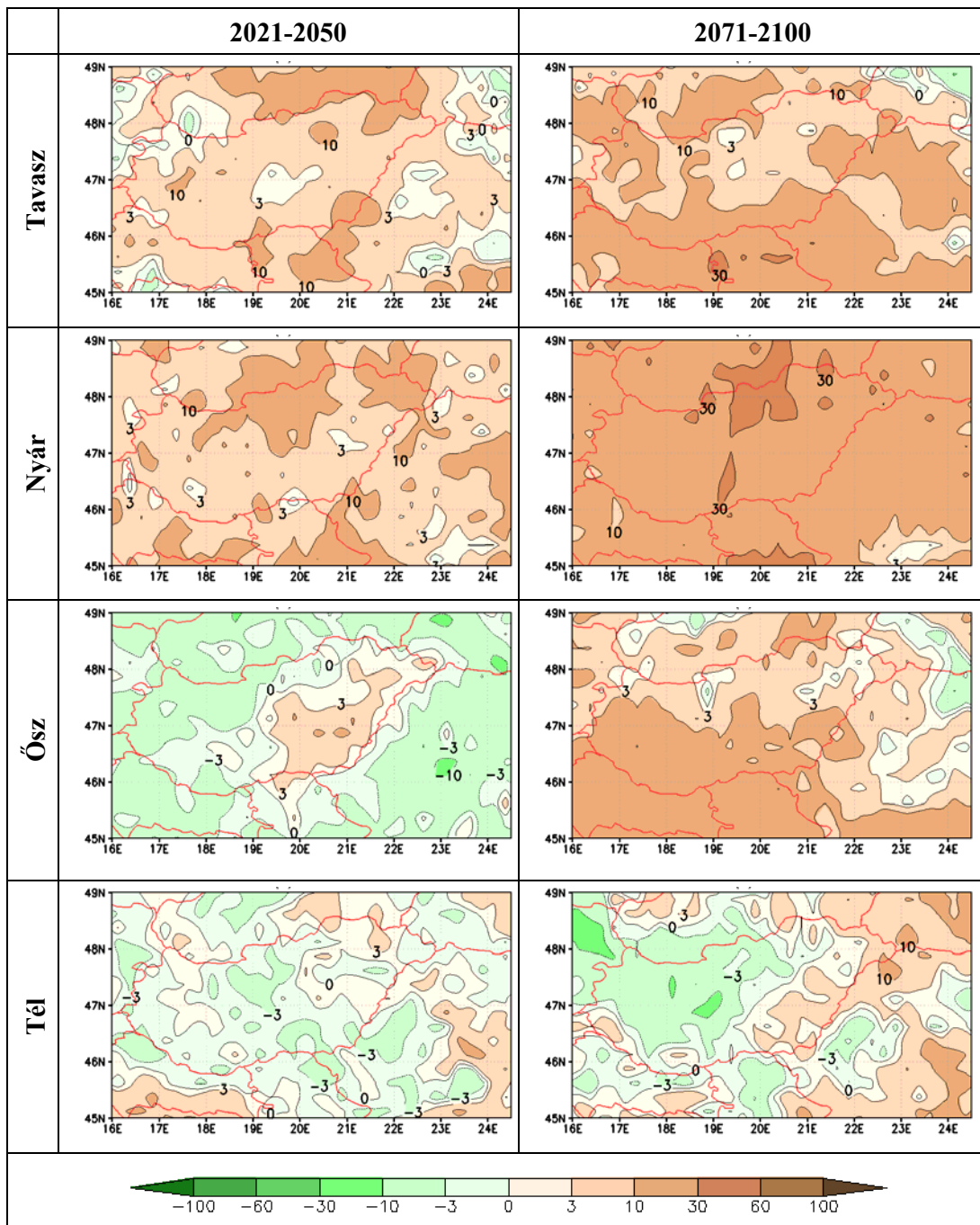
közötti értékeket vesz fel átlagosan a CDD. Az ALADIN szimulációiból meghatározott indexidőszak alapján növekvő tendencia várható nyáron (akár 0,56 nap/évtized ütemű) az egymást követő száraz napok számában, mely miatt akár az 50 napos szárazságok sem lesznek ritkák a XXI. század második felében.

Az egymást követő száraz napok maximális száma (CDD) várható változásaiban eltérések mutatkoznak a különböző modellek, illetve évszakok esetében (21. ábra). Ugyanakkor a prognosztizált változások nagy része nem szignifikáns 95%-os szinten a t-próba alapján. Az viszont kiemelendő, hogy a CDD esetében a szignifikáns változások növekedést jeleznek tavasszal és nyáron, melyek mértéke átlagosan 20%-ra tehető. A diagramról leolvasható, hogy a CDD-re vonatkozóan az ALADIN a távolabbi jövőre nézve nemcsak a nyári, hanem az őszi hónapokra is szignifikáns növekedést prognosztizál, mely akár a 40%-ot is elérheti és feltehetően kedvezőtlenül hat majd a mezőgazdasági termelésre. A téli évszakra vonatkozóan inkább csökkenés valószínűsíthető, de ezek a változások nem szignifikánsak.



21. ábra. Az egymást követő száraz napok maximális hosszának várható relatív változása a XXI. század közepére és végére (a 95%-os szinten szignifikáns eltéréseket teli jelek mutatják). Referencia időszak: 1961-1990.

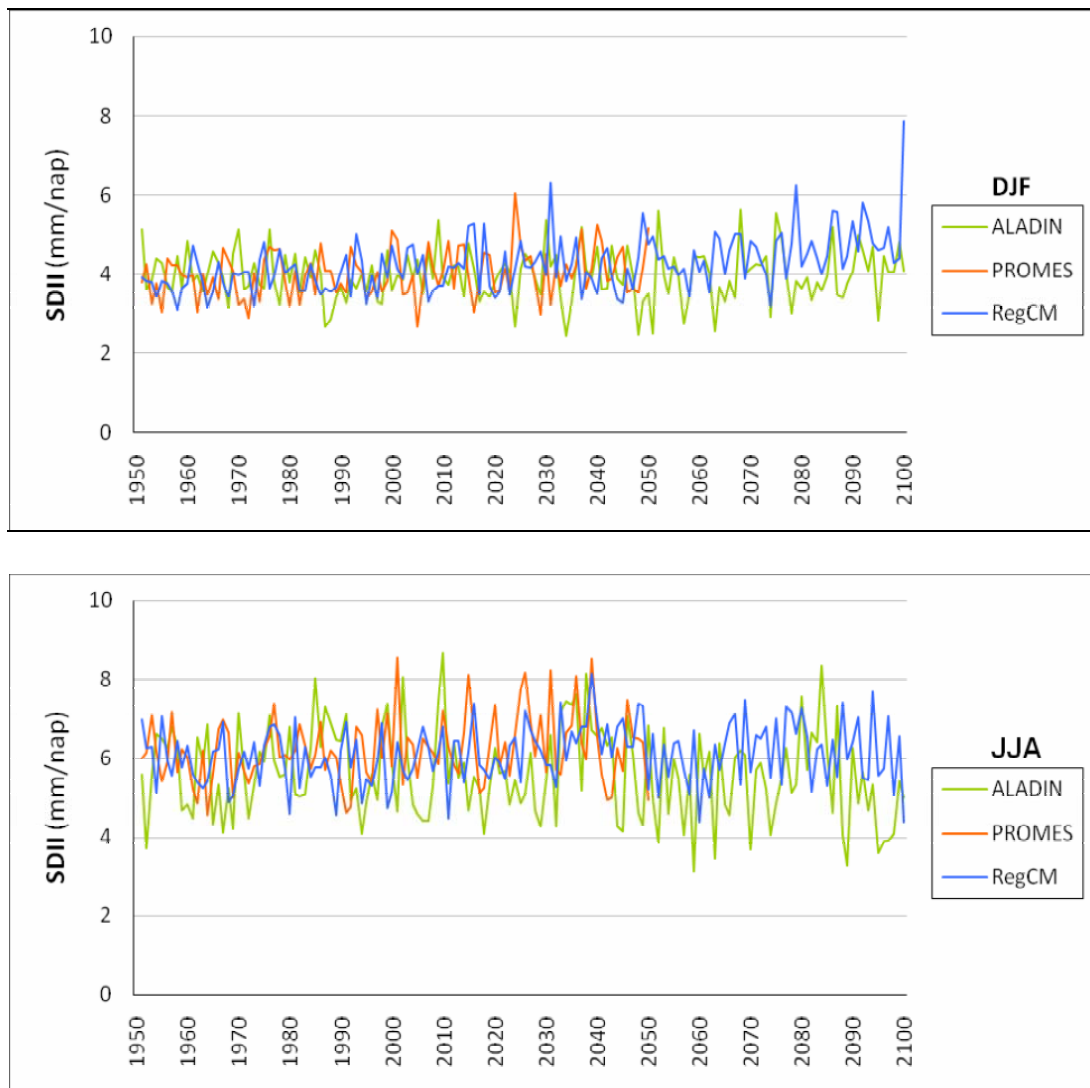
A CDD értéke tavasszal és nyáron valószínűleg növekedni, ősszel és télen a 2021-2050-es időszakot tekintve pedig csökkenni fog, elsősorban az ország nyugati területein (22. ábra). Tehát a nyarak szárazabbá válnak majd a szimulációk alapján. Az egymást követő száraz napok számában bekövetkező növekedés (30%) jelentősebb lehet majd, mint a csökkenés mértéke (10%). A legnagyobb mértékű szárazodás az Alföldön várható, a legkisebb mértékű szárazodás pedig az Északkeleti-Kárpátokban valószínűsíthető.



22. ábra. Az CDD index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re és 2071-2100-ra. Referencia időszak: 1961-1990.

4.8. A csapadékintenzitás várható változása (SDII)

Az SDII (Simple Daily Intensity Index) index a csapadékintenzitást jelenti, vagyis megmutatja, hogy adott időegység alatt (nap) hány mm csapadék hullott le. Először vizsgáljuk meg a téli és nyári idősorokat (23. ábra)! A téli évszakban növekedő tendenciát figyelhetünk meg mindhárom RCM alapján: a legkisebb növekedést az ALADIN esetén, míg a legnagyobbat a RegCM esetében tapasztalhatjuk (e szerint a modell szerint akár duplájára is nőhet a csapadékintenzitás a XXI. század végére az 1950-es évekhez viszonyítva: 4 mm/napról akár 8 mm/napra is ugorhat az SDII értéke).

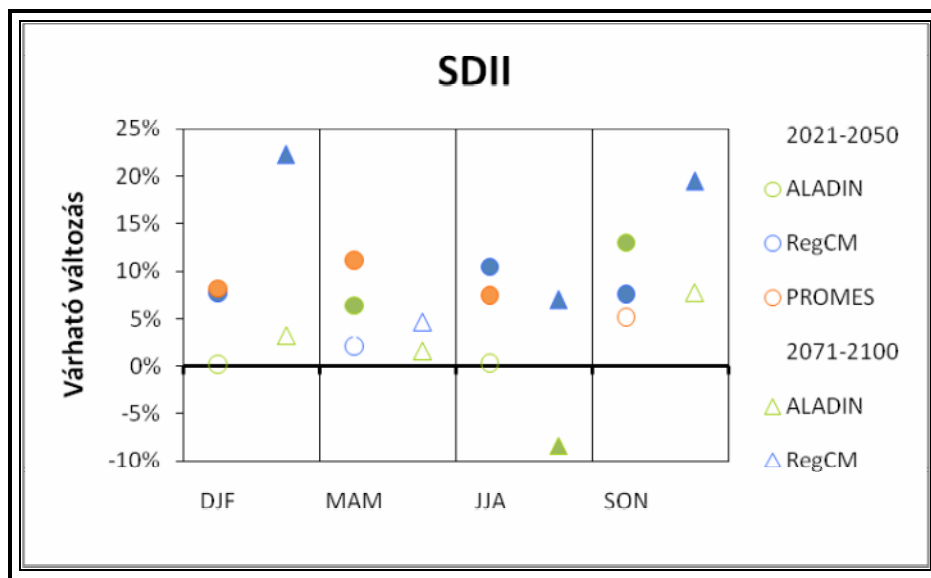


23. ábra. A csapadékintenzitás télen (DJF) és nyáron (JJA), 1951-2100.

Nyáron nagyobb a bizonytalanság, ezért nem vonhatunk le egyértelmű következtetést a tendenciára vonatkozóan. A legkisebb csapadékintenzitást itt is az ALADIN modell adja,

hiszen a modell által szimulált görbe általában a másik két RCM által kirajzolt görbék alatt halad; ugyanakkor a XXI. század során több évben is megjelenhet a 8 mm/nap nagyságú SDII érték.

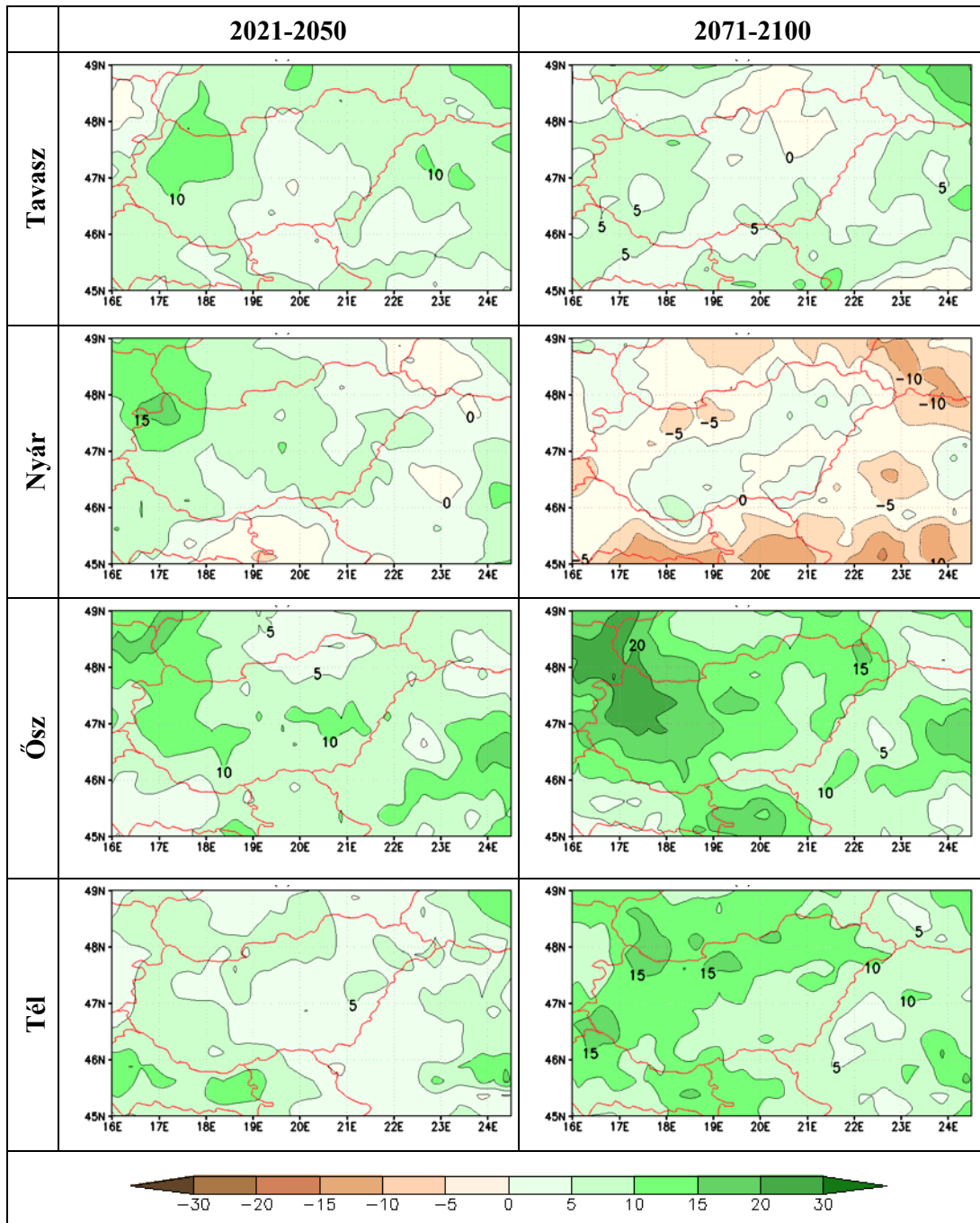
A csapadékintenzitásra (SDII) vonatkozóan mindhárom modell alapvetően növekedést jelez előre egyetlen kivétellel (ALADIN, nyár) a 24. ábra alapján. Jól látható, hogy az SDII szignifikánsan meg fog változni, mind a négy évszakban; átlagosan 10%-os növekedés valószínűsíthető. A többi index esetén nem tapasztaltunk az összes évszakra kiterjedő szignifikáns változásokat. Az SDII becslése különösen fontos, hiszen óriási gazdasági károkat okozhat egy-egy nem várt, intenzív csapadéktevékenység.



24. ábra. A csapadékintenzitás várható relatív változása a XXI. század közepére és végére (a 95%-os szinten szignifikáns eltéréseket teli jelek mutatják). Referencia időszak: 1961-1990.

Az 24. ábra diagramjáról az is leolvasható, hogy a RegCM által a 2071-2100 időszak telére és őszére prognosztizált pozitív változás kiemelkedik a többi becsült változás közül: akár a 20%-ot is meghaladhatja az SDII várható növekedése. A csapadékintenzitás esetén ellentétes előjelű változást valószínűsít két regionális klímamodell: a nyári hónapokra az ALADIN szignifikáns csökkenést, míg a RegCM szignifikáns növekedést jelez a XXI. század végére. Ez az ellentmondás azért fordulhat elő, mert a csapadék mind térben, mind időben rendkívül változékony meteorológiai elem, ezért igen nagyok a bizonytalanságok, szórások.

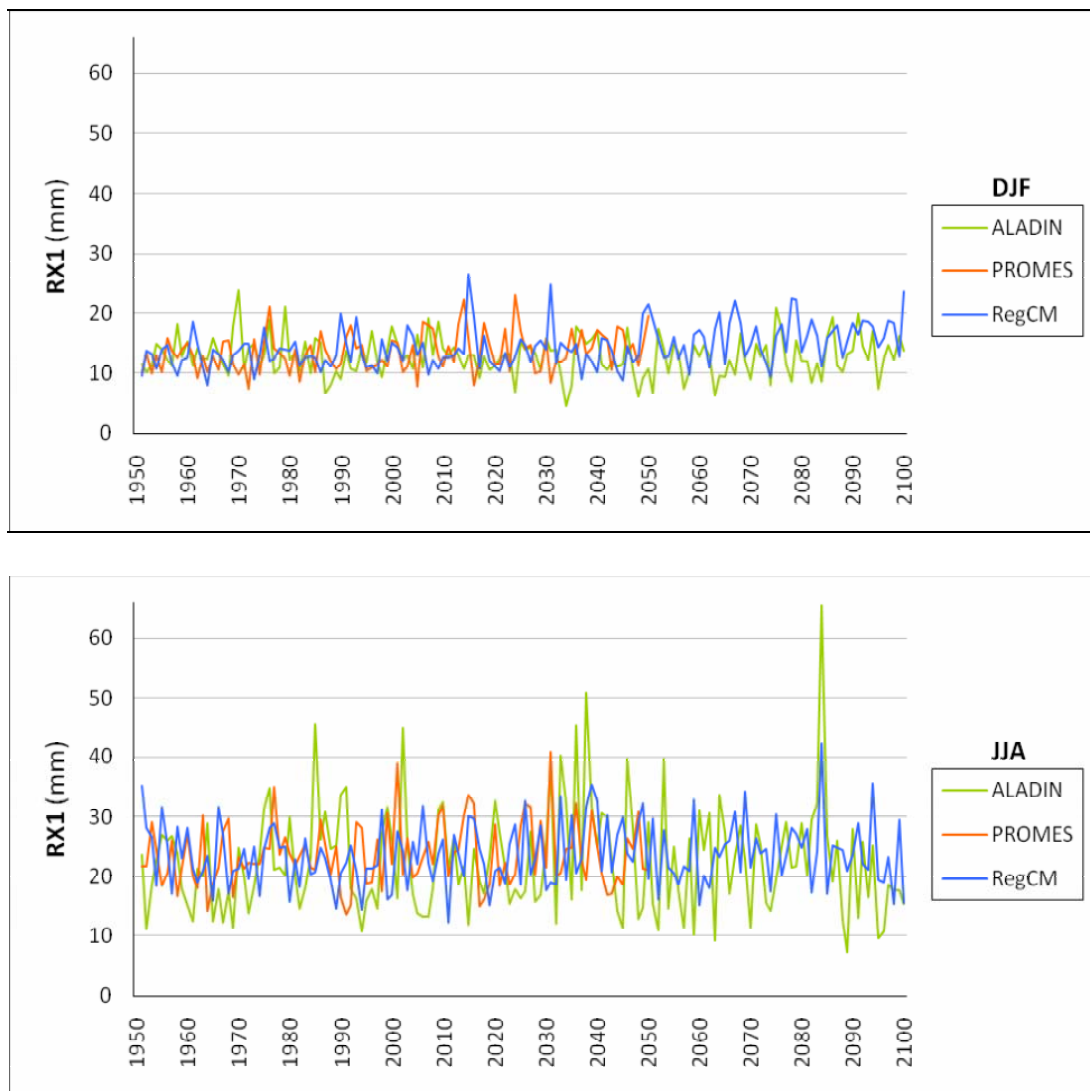
A 25. ábrán a csapadékintenzitás várható változását láthatjuk térképes megjelenítéssel. Tavasszal, ősszel és télen az SDII növekedésére számíthatunk: a 2071-2100-as időszakra (20%) nagyobb mértékű változás valószínűsíthető, mint a 2021-2050-es időszakra (10%). A csapadékintenzitás megnövekedése feltehetőleg a Dunántúlon lesz a legjelentősebb. Az F.15. ábrán láthatjuk, hogy ősszel 20%-ot is meghaladó lehet a csapadékintenzitás növekedése a Kárpát-medence nyugati felén az ALADIN szimulációi alapján (és az ország 94%-án szignifikáns változás várható). 2071-2100 között a RegCM is 20% körüli növekedést jelez, mely egész Magyarországon szignifikáns változást jelent (F.16. ábra). Nyáron kisebb mértékű növekedés (0-5%), valamint 5%-os, vagy ezt meghaladó mértékű csökkenés várható az ország északi területein a kompozit térképek alapján. Az ALADIN 5-10%-os csökkenést, a RegCM és a PROMES pedig 10-15%-os növekedést prognosztizál 2021-2050 nyarára vonatkozóan (F.15. ábra). A távolabbi jövőre vonatkozóan nyáron az ALADIN ismét csökkenést, a RegCM pedig növekedést becsül (F.16. ábra), mely változás feltehetőleg az ország felén lesz szignifikáns.



25. ábra. Az SDII index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re és 2071-2100-ra. Referencia időszak: 1961-1990.

4.9. Az 1 nap alatt lehullott maximális csapadékmennyiség számának várható változása (RX1)

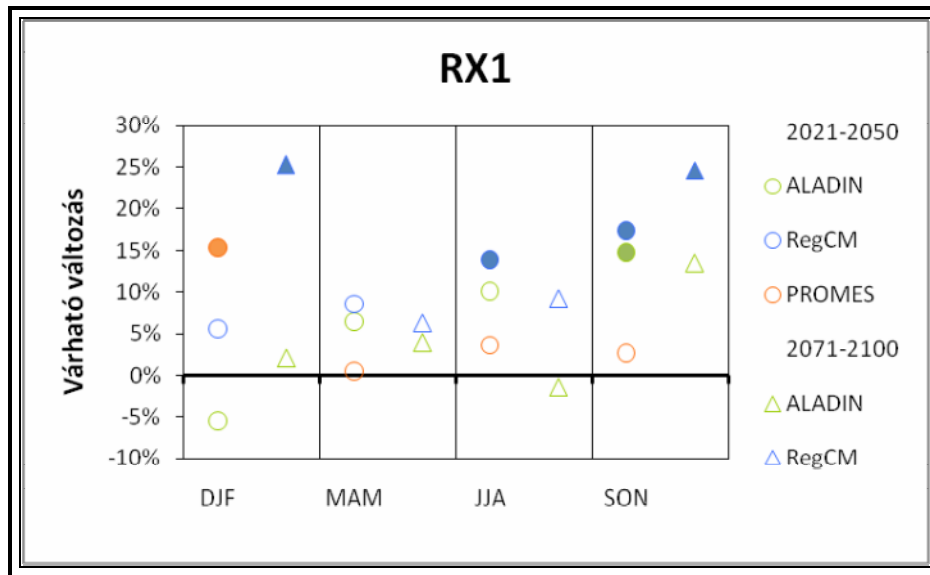
Az egy nap alatt lehullott maximális csapadékmennyiség (RX1) idősorát a 26. ábrán tekinthetjük meg. Télen növekvő tendenciát figyelhetünk meg: 10 mm-ről 20 mm-re változik átlagosan az index értéke. Nyáron igen nagy a szórás (10 és 40 mm között mozog az RX1), és különösen kiugró értékeket figyelhetünk meg mind a RegCM (kb. 40 mm), mind az ALADIN (kb. 60 mm) modell esetén.



26. ábra. Az 1 nap alatt lehullott maximális csapadékmennyiség télen (DJF) és nyáron (JJA), 1951-2100.

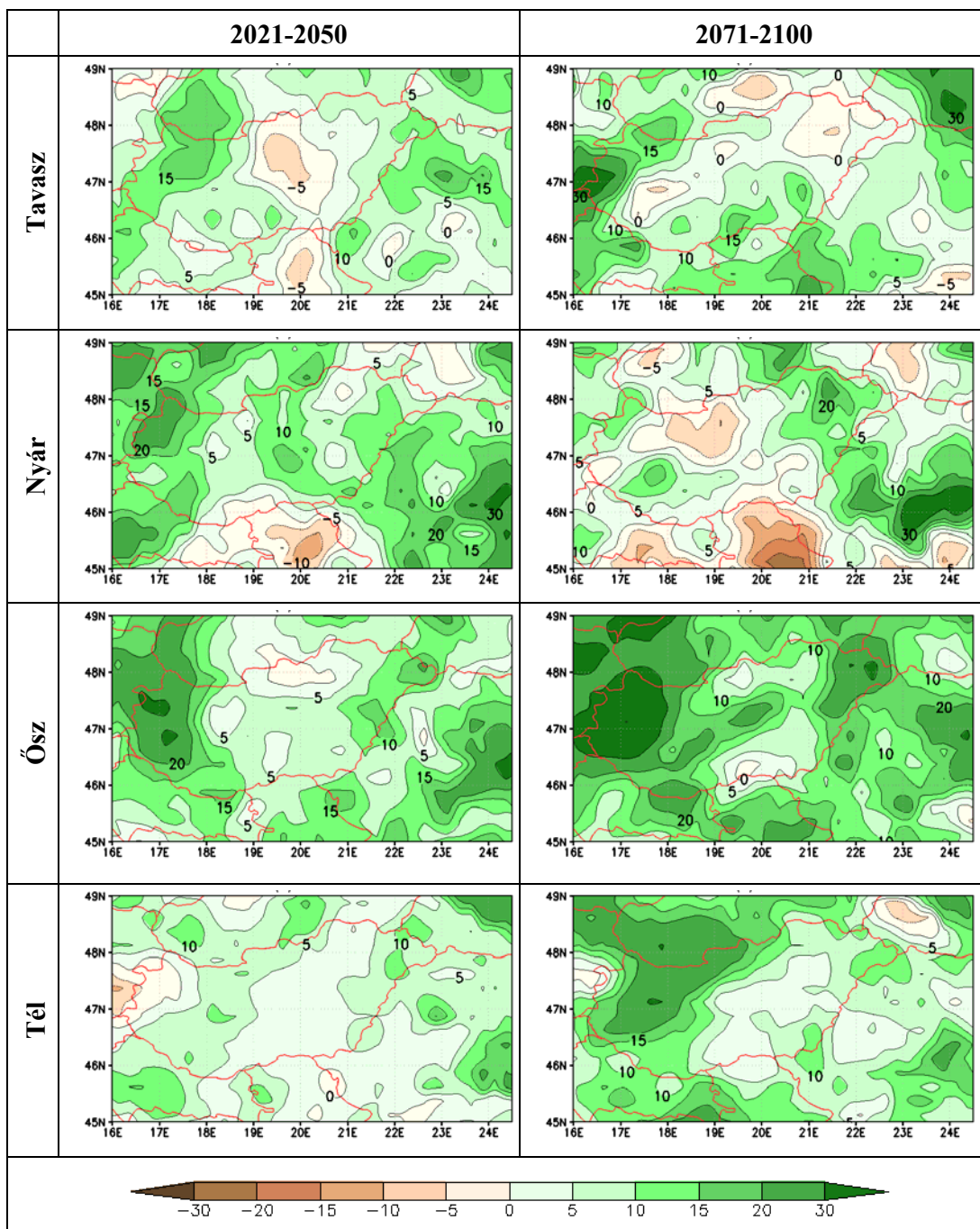
Az RX1 esetén a közelebbi jövőre (2021-2050) vonatkozóan a szignifikáns változást jelző szimulációs eredmények alapján (27. ábra) átlagosan 15%-os növekedés valószínűsíthető

(kivéve tavasszal, amikor egyik modell sem jelez szignifikáns változást). A távolabbi jövőre (2071-2100) nézve viszont akár 25%-os is lehet ez a változás a RegCM szerint (télén és ősszel). Csökkenés csak az ALADIN szimulációi alapján várható (télén és nyáron), ám ezek egyike sem szignifikáns.



27. ábra. Az egy nap alatt lehullott maximális csapadékmennyiség várható relatív változása a XXI. század közepére és végére (a 95%-os szinten szignifikáns eltéréseket teli jelek mutatják). Referencia időszak: 1961-1990.

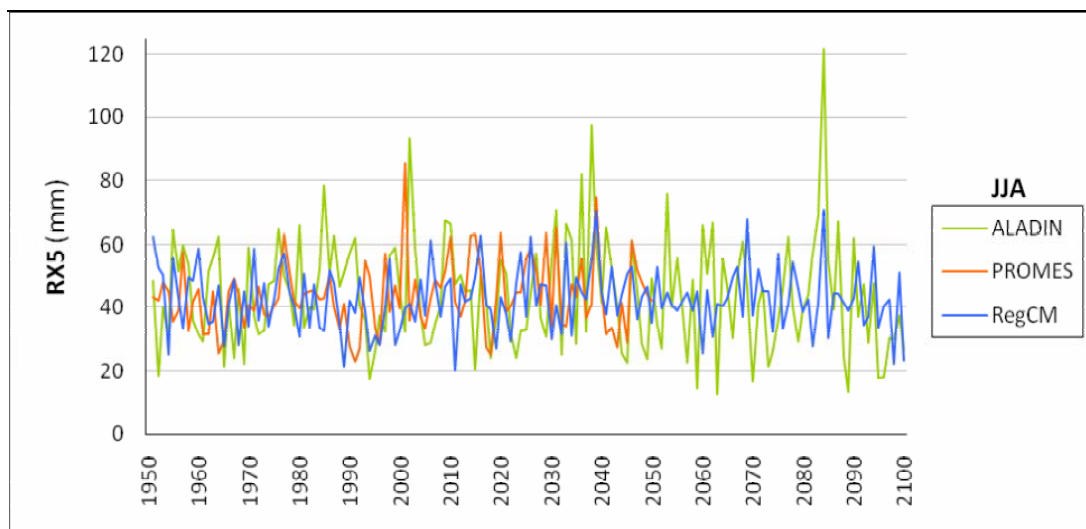
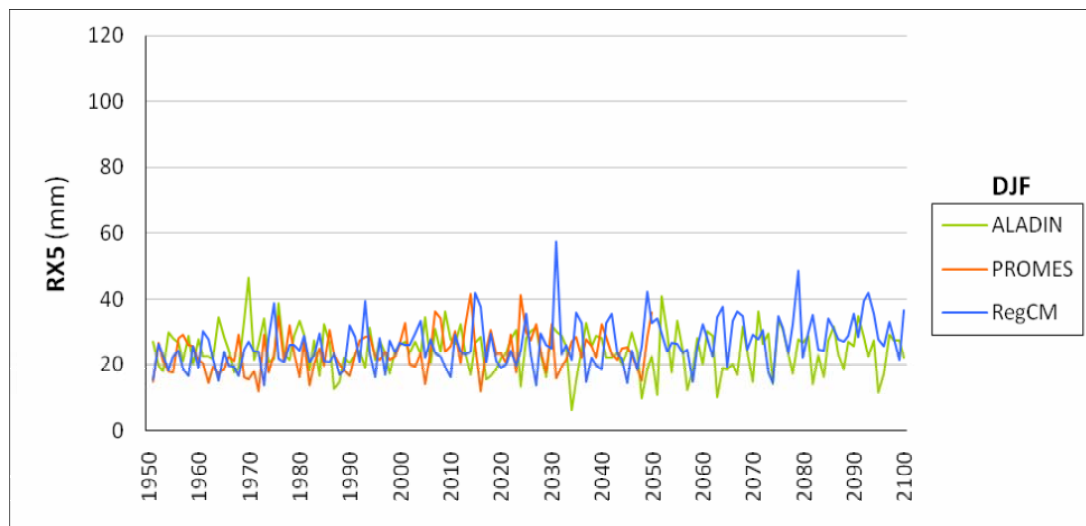
A kompozit térképek alapján (28. ábra) az 1 nap alatt lehullott maximális csapadékmennyiség várhatóan növekedni fog: a legnagyobb mértékben (akár 30%) az ország nyugati felén, az átmeneti évszakokban (tavasz, ősz). Ősszel akár több, mint 30%-os növekedés várható mindkét időszakra (2021-2050, illetve 2071-2100) a három RCM alapján a Dunántúlon (F. 17. és F. 18. ábra). Az RX1 legjelentősebb csökkenése a Kárpát-medence déli részére valószínűsíthető nyáron. A legkisebb változás feltehetően télen lesz, az Alföld területén.



28. ábra. Az RX1 index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re és 2071-2100-ra. Referencia időszak: 1961-1990.

4.10. Az 5 nap alatt lehullott maximális csapadékmennyiség számának várható változása (RX5)

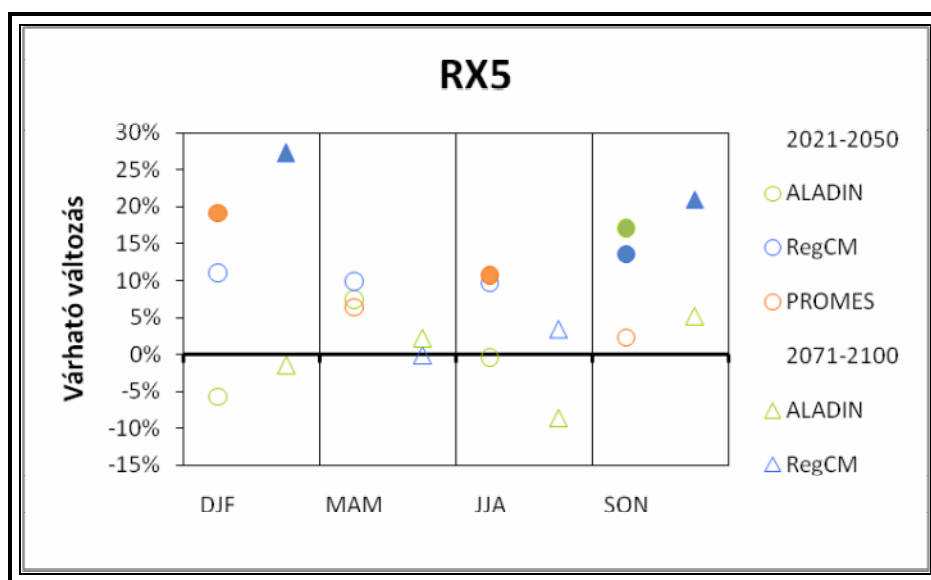
Az RX5 az egymást követő 5 nap alatt lehullott maximális csapadékmennyiség összege. A téli évszakra a Magyarországra vonatkozó idősor alapján (29. ábra) növekvő tendenciát detektálhatunk (20-40 mm). Nyáron nagy a szórás, átlagosan 20-80 mm között mozog az index értéke.



29. ábra. Az 5 nap alatt lehullott maximális csapadékmennyiség télen (DJF) és nyáron (JJA), 1951-2100.

Nyáron ismét nagy a szórás: nem figyelhetünk meg egyértelmű tendenciát (pl. az ALADIN szimulációi esetén a 30 éves normálidőszakon belül 20 mm és 120 mm közötti értékek fordulnak elő).

Az RX5 esetében a közelebbi jövőre vonatkozóan 15-20%-os szignifikáns növekedés valószínűsíthető ősszel az ALADIN és a RegCM, télen és nyáron pedig a PROMES regionális klímamodellek futtatásai alapján (30. ábra). A távolabbi jövőre a RegCM télen és ősszel 20%-ot meghaladó szignifikáns növekedést prognosztizál. A legnagyobb mértékű csökkenést az ALADIN szimulációja jelzi előre, mégpedig a nyári évszakra a távolabbi jövőben, ám ez a 10%-os csökkenés nem szignifikáns 95%-os szinten a t-próba alapján.

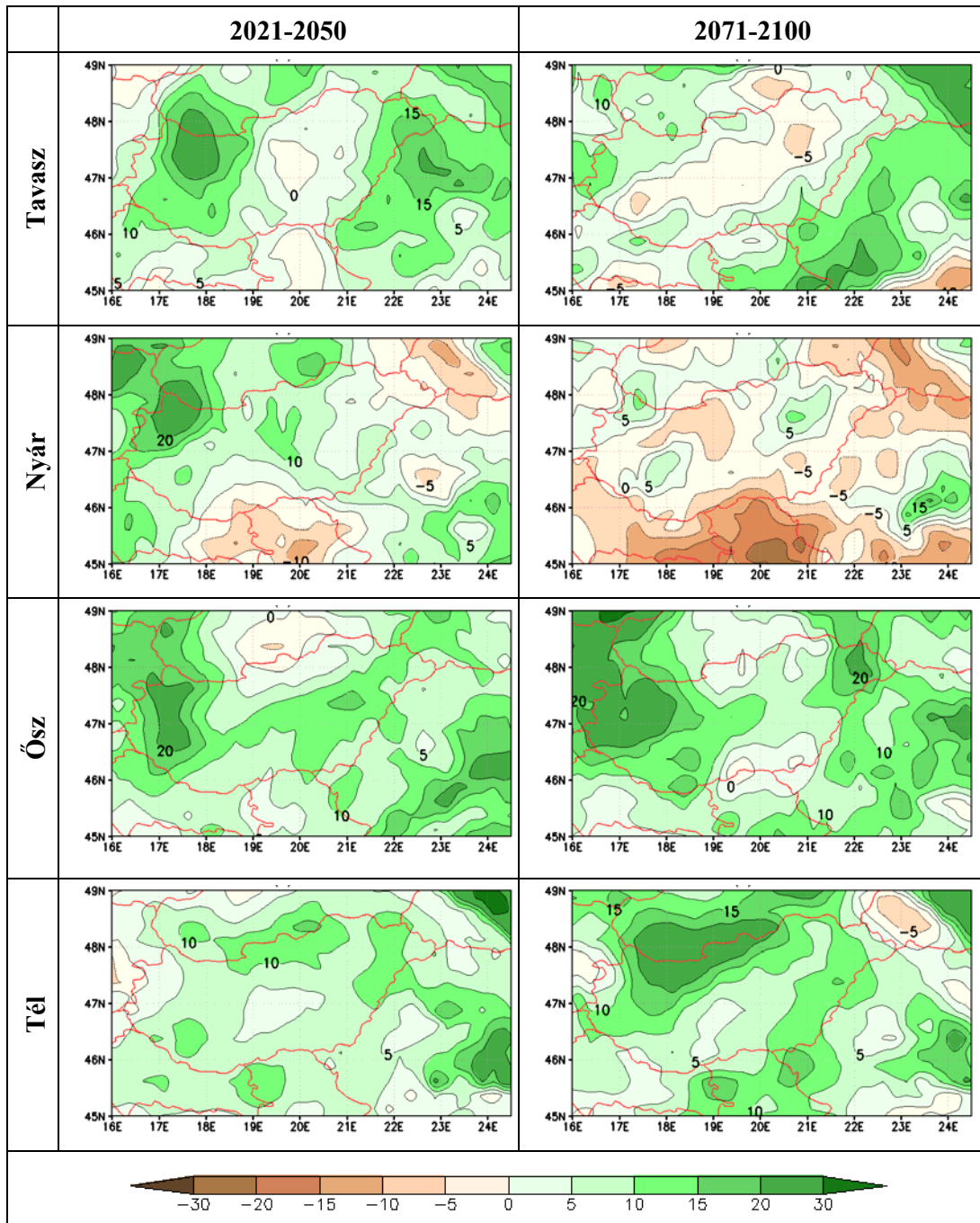


30. ábra. Az öt nap alatt lehullott maximális csapadékmennyiség várható relatív változása a XXI. század közepére és végére (a 95%-os szinten szignifikáns eltéréseket jelző mutatók). Referencia időszak: 1961-1990.

Az RX1 (27. ábra) és RX5 (30. ábra) indexekre vonatkozóan, melyek a csapadékintenzitására utalnak (az adott időszakban lehullott legnagyobb 1, illetve 5 napi csapadékösszeget jelzik), pozitív tendencia dominál, akárcsak az SDII esetén (24. ábra). Ez a várható növekedés azonban kevesebbszer bizonyult statisztikailag szignifikánsnak 95%-os szinten, mint az SDII esetén becsült változások.

Az 5 egymást követő napon lehullott maximális csapadékmennyiség várható változását a 31. ábrán láthatjuk a Kárpát-medence térségére vonatkozóan. Nyáron a déli területeken, tavasszal pedig az Alföldön valószínűsíthető csökkenés. Télen és ősszel viszont az RX5 megnövekedésére számíthatunk a modellek szimulációi alapján. A legnagyobb mértékű

növekedés (10-20%) télen az északi, ősszel a nyugati területeken várható. A RegCM és a PROMES modellek alapján télen 15-30%-os növekedés, az ALADIN szerint 15%-os csökkenés várható 2021-2050-re (F.19. ábra). A távolabbi jövőre nézve (F.20. ábra) a RegCM 30%-ot meghaladó növekedést becsül, mely változás a hazai rácspontok 94%-án szignifikáns a t-próba alapján; az ALADIN pedig csökkenést jelez előre, de ez a változás az ország jelentős részén nem szignifikáns.



31. ábra. Az RX5 index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re és 2071-2100-ra. Referencia időszak: 1961-1990.

5. Összefoglalás

Jelen dolgozatban a csapadékkal, illetve annak hiányával kapcsolatos éghajlati indexeket (RR0.1, RR1, RR5, RR10, RR20, DD, CDD, SDII, RX1, RX5) számítottunk ki az ENSEMBLES klímaszimulációinak felhasználásával. Három, különböző GCM által vezérelt regionális klímamodellt (ALADIN, RegCM, PROMES) elemeztünk a vizsgálataink során, melyek mind a közepesnek tekinthető A1B scenáriót alkalmazták. A vizsgálatokat a Kárpát-medence térségére, illetve Magyarországra végeztük el az 1951-2100 (ALADIN, RegCM), illetve 1951-2050 (PROMES) időszakokra.

Az elemzésekben bemutatott térképek és diagramok alapján az alábbi következtetéseket vonhatjuk le:

- Az elemzések szerint az RR0.1 csökkenni, az RR5 pedig növekedni fog a jövőben a Kárpát-medencében, de ezeknek a változásoknak jelentős része 95%-os szinten nem szignifikáns a t-próba alapján. Várhatóan csökkenni fog a csapadékos napok száma (RR1), a becült változások között több is szignifikáns. Ennek a várható csökkenésnek például a mezőgazdaságra nézve van komoly jelentősége.
- A száraz periódusok hossza (CDD), valamint a száraz napok száma (DD) is nagy valószínűséggel növekedni fog, különösen a nyári hónapokban. Ha a csökkenő csapadéktevékenység mellé a hőmérséklet jelentős emelkedése társul, akkor nem csupán az élelmiszer-ellátás, hanem az élőlények egészsége is veszélybe kerülhet.
- Várhatóan kevesebbszer kell majd csapadéktevékenységre számítanunk a jövőben, de egyszerre nagyobb mennyiség fog lehullani: növekedni fog az extrém csapadékok (RR10, RR20) száma (elsősorban télen), valamint a csapadék intenzitása (SDII) is. Feltehetőleg az egy, illetve öt nap alatt lehullott maximális csapadékmennyiség (RX1, RX5) is jelentősebb lesz.

Tehát a fentieket összegezve, az eredményeink megerősítik azt a korábban, más klímaváltozási szimulációk alapján (pl. Bartholy et al., 2008) becsült éghajlati változásokat, miszerint Magyarország éghajlata a jövőben várhatóan kevesebb csapadékkal fog járni (RR1 csökken, CDD, DD növekszik), ám ugyanakkor megnövekednek a nagy intenzitású, extrém csapadékok: például az SDII vagy az RR10.

Köszönetnyilvánítás

Elsősorban témavezetőmnek, Dr. Pongrácz Ritának fejezem ki köszönetemet, aki a munkánk során folyamatosan segítséget nyújtott, időt szánt rám, lelkiismeretesen irányította és hasznos tanácsokkal fejlesztette a dolgozatot.

Köszönetemet szeretném még kifejezni Pieczka Ildikónak, aki rengeteg időt rám áldozva a technikai kérdésekben volt segítségemre.

A dolgozathoz szükséges kutatásokat az alábbi pályázatok támogatták: az OTKA T-049824 és K-78125 számú pályázatait, az MTA TKI Alkalmazkodás a klímaváltozáshoz című (2006/TKI/246) programja, a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, az NKFP-3A/0082/2004 és az NKFP-6/079/2005 pályázat, az Európai Regionális Fejlesztési Alap által támogatott CCWATERS projekt (SEE/A/022/2.1/X), valamint az Európai Unió és az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával az „Európai Léptékkal a Tudásért, ELTE-TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0003. A felsőoktatás minőségének javítása a kutatás-fejlesztés-innováció-oktatás fejlesztésén keresztül” pályázat.

A felhasznált regionális klímamodell-szimulációkat az ENSEMBLES projekt (505539) keretében állították elő, melyet az EU FP6 integrált program támogatott.

Irodalomjegyzék

- Bartholy J., Pongrácz R., 2005a: Tendencias of extreme climate indices based on daily precipitation in the Carpathian Basin for the 20th century. *Időjárás*, 109. pp. 1-20.
- Bartholy J., Pongrácz R., 2005b: Néhány extrém éghajlati paraméter globális és a Kárpát-medencére számított tendenciája a XX. században. *AGRO-21 Füzetek*, 40. szám. pp. 70-93.
- 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. pp. 83-95.
- Bartholy J., Pongrácz R., Gelybó Gy., Szabó P., 2008: Analysis of expected climate change in the Carpathian Basin using the PRUDENCE results. *Időjárás*, 112. pp. 249-264.
- Christensen, J.H., Carter, T.R., Rummukainen, M., Amanatidis, G., 2007: Evaluating the performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project. *Climatic Change*, 81. pp. 1-6., doi:10.1007/s10584-006-9211-6.
- 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. pp. 7-31.
- Christensen, J.H., Boberg, F., Christensen, O.B., Lucas-Picher, P., 2008: On the need for bias correction of regional climate change projections of temperature and precipitation. *Geophys. Res. Lett.*, 35. L20709, doi:10.1029/2008GL035694.
- Castro, M., Fernández, C., Gaertner, M.A., 1993: Description of a mesoscale atmospheric model. In: Díaz, J.I., Lions, J.L. (Eds.) *Mathematics Climate and Environment*. Rech. Math. Appl. Ser. Mason, pp. 230-253.
- Csima G., Horányi A., 2008: Validation of the ALADIN-Climate regional climate model at the Hungarian Meteorological Service. *Időjárás*, 112. pp. 155-177.
- Déqué, M., Marquet, P., Jones, R. G., 1998: Simulation of climate change over Europe using a global variable resolution general circulation model. *Climate Dynamics*, 14. pp. 173-189.
- Déqué, M., 2007: Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: Model results and statistical correction according to observed values. *Global and Planetary Change*, 57. pp. 16-26.
- Déqué, M., Rowell, D.P., Lüthi, D., Giorgi, F., Christensen, J.H., Rockel, B., Jacob, D., Kjellström, E., de Castro, M., van den Hurk, B., 2007: An intercomparison of regional climate simulations for Europe: assessing uncertainties in model projections. *Climatic Change*, 81. pp. 53-70.
- Dévényi D., Gulyás O., 1988: *Matematikai statisztikai módszerek a meteorológiában*. – Tankönyvkiadó, Budapest. 443p.

- Gibelin AL, Déqué, M., 2003: Anthropogenic climate change over the Mediterranean region simulated by a global variable resolution model. *Climate Dynamics*, 20. pp. 327-339.
- Giorgi, F., Bi, X.Q., 2000: A study of internal variability of a regional climate model. *J. Geophys. Res.* 105(D24), pp. 29503-29521.
- Goodess, C.M., Hanson, C., Hulme, M., Osborn, T.J., 2003: Representing climate and extreme weather events in integrated assessment models: a review of existing methods and options for development. *Integrated Assessment*, 4. pp. 145-171
- Goodess, C., 2005: STARDEX Final Report. Climatic Research Unit, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich NR4 7TJ, United Kingdom, 24p.
- Gordon, C., Cooper, C., Senior, C. A., Banks, H., Gregory, J. M., Johns, T. C., Mitchell, J. F. B., Wood, R. A., 2000: The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics*, 16. pp. 147-168.
- Halenka, T., 2007: CECILIA keeping a close eye on climate change. eStrategies, Science, Technology and Innovation Projects, British Publishers, 12.
- Hanson C.E., Palutikof J. P., Dlugolecki A., Giannakopoulos C., 2006: Bridging the gap between science and the stakeholder: the case of climate change research. *Climate Research*, 31. pp. 121-133.
- Hanson, C.E., Palutikof, J.P., Livermore, M.T.J., Barring, L., Bindi, M., Corte-Real, J., Durao, R., Giannakopoulos, C., Good, P., Holt, T., Kundzewicz, Z., Leckebusch, G.C., Moriondo, M., Radziejewski, M., Santos, J., Schlyter, P., Schwarb, M., Stjernquist, I., Ulbrich, U., 2007: Modelling the impact of climate extremes: an overview of the MICE project. *Climatic Change*, 81. pp. 163-177.
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L., eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. 996p.
- Jacob, D., Kotova, L., Lorenz, P., Moseley, C., Pfeifer, S., 2008: Regional climate modelling activities in relation to the CLAVIER project. *Időjárás*, 112. pp. 141-153.
- Karl, T.R., Nicholls, N., Ghazi, A., 1999: Clivar/GCOS/ WMO Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes Workshop Summary. *Climatic Change*, 42. pp. 3-7.
- van der Linden, P., Mitchell, J.F.B., 2009: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK. 164p.
- Nakicenovic N., Swart R., eds., 2000: *Emissions Scenarios*. A special reports of IPCC Working Group III. Cambridge University Press, UK. 570p.
- Roeckner, E., Bauml, G., Bonaventura, L., Brokopf, R., Esch, L., Giorgetta, M., Hagemann, S., Kirchner, I., Kornblueh, L., 2003: The atmospheric general circulation model ECHAM5, Part 1, MPI Report No. 349. 140p.
- Szépszó G., Horányi A., 2008: Transient simulation of the REMO regional climate model and its evaluation over Hungary. *Időjárás*, 112. pp. 203-231.
- Torma Cs., Bartholy J., Pongrácz R., Barcza Z., Coppola, E., Giorgi, F., 2008: Adaptation of the RegCM3 climate model for the Carpathian Basin. *Időjárás*, 112. pp. 233-247.

Függelék

A függelékben található ábrák jegyzéke:

F.1. ábra. Az RR0.1 index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re, az ALADIN, a RegCM és a PROMES regionális klímamodellek szimulációi alapján.

F.2. ábra. Az RR0.1 index évszakonként várható relatív változása (%) 2071-2100-ra, az ALADIN és a RegCM regionális klímamodellek szimulációi alapján.

F.3. ábra. Az RR1 index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re, az ALADIN, a RegCM és a PROMES regionális klímamodellek szimulációi alapján.

F.4. ábra. Az RR1 index évszakonként várható relatív változása (%) 2071-2100-ra, az ALADIN és a RegCM regionális klímamodellek szimulációi alapján.

F.5. ábra. Az RR5 index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re, az ALADIN, a RegCM és a PROMES regionális klímamodellek szimulációi alapján.

F.6. ábra. Az RR5 index évszakonként várható relatív változása (%) 2071-2100-ra, az ALADIN és a RegCM regionális klímamodellek szimulációi alapján.

F.7. ábra. Az RR10 index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re, az ALADIN, a RegCM és a PROMES regionális klímamodellek szimulációi alapján.

F.8. ábra. Az RR10 index évszakonként várható relatív változása (%) 2071-2100-ra, az ALADIN és a RegCM regionális klímamodellek szimulációi alapján.

F.9. ábra. Az RR20 index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re, az ALADIN, a RegCM és a PROMES regionális klímamodellek szimulációi alapján.

F.10. ábra. Az RR20 index évszakonként várható relatív változása (%) 2071-2100-ra, az ALADIN és a RegCM regionális klímamodellek szimulációi alapján.

F.11. ábra. Az DD index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re, az ALADIN, a RegCM és a PROMES regionális klímamodellek szimulációi alapján.

F.12. ábra. Az DD index évszakonként várható relatív változása (%) 2071-2100-ra, az ALADIN és a RegCM regionális klímamodellek szimulációi alapján.

F.13. ábra. Az CDD index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re, az ALADIN, a RegCM és a PROMES regionális klímamodellek szimulációi alapján.

F.14. ábra. Az CDD index évszakonként várható relatív változása (%) 2071-2100-ra, az ALADIN és a RegCM regionális klímamodellek szimulációi alapján.

F.15. ábra. Az SDII index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re, az ALADIN, a RegCM és a PROMES regionális klímamodellek szimulációi alapján.

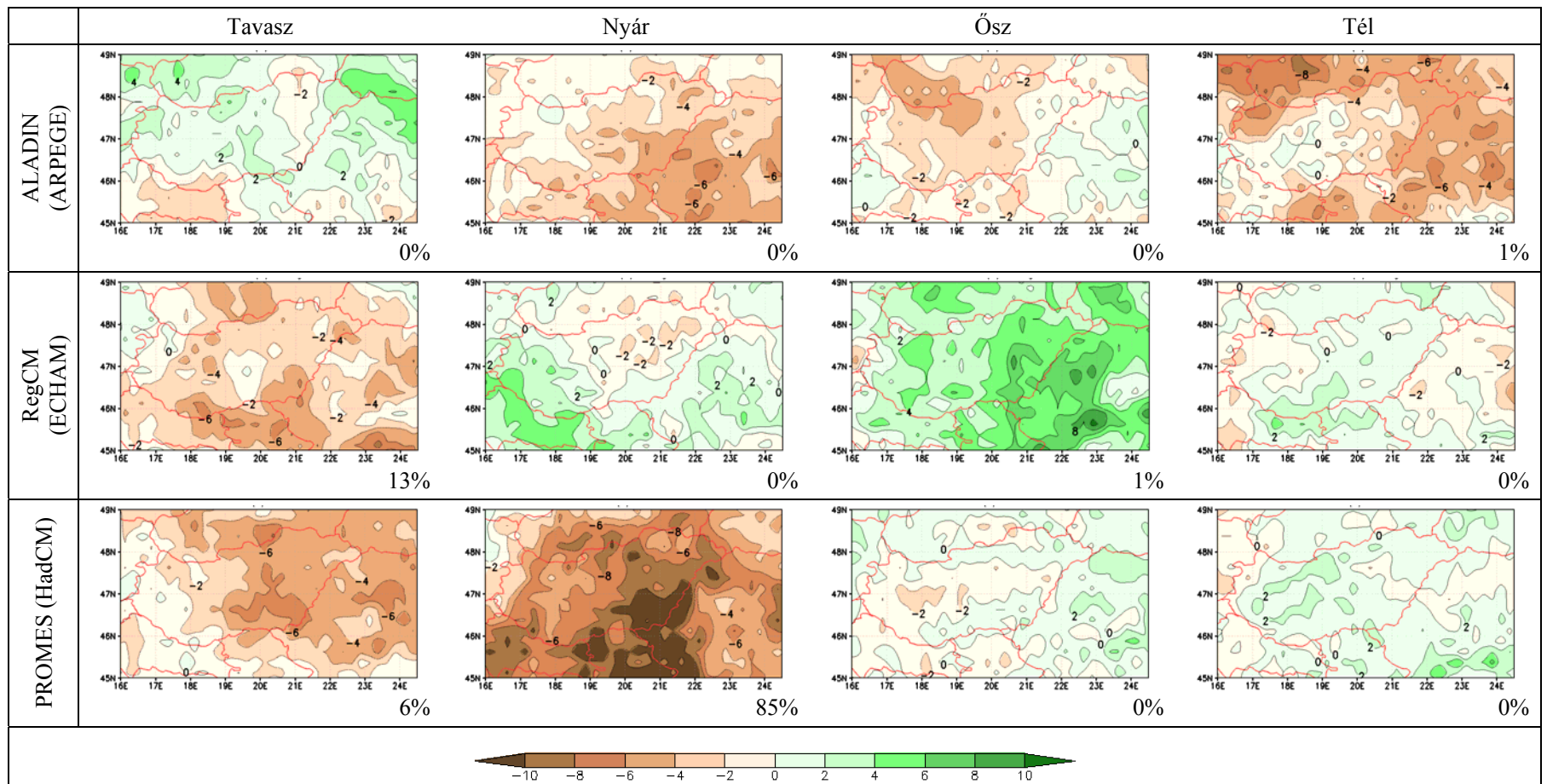
F.16. ábra. Az SDII index évszakonként várható relatív változása (%) 2071-2100-ra, az ALADIN és a RegCM regionális klímamodellek szimulációi alapján.

F.17. ábra. Az RX1 index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re, az ALADIN, a RegCM és a PROMES regionális klímamodellek szimulációi alapján.

F.18. ábra. Az RX1 index évszakonként várható relatív változása (%) 2071-2100-ra, az ALADIN és a RegCM regionális klímamodellek szimulációi alapján.

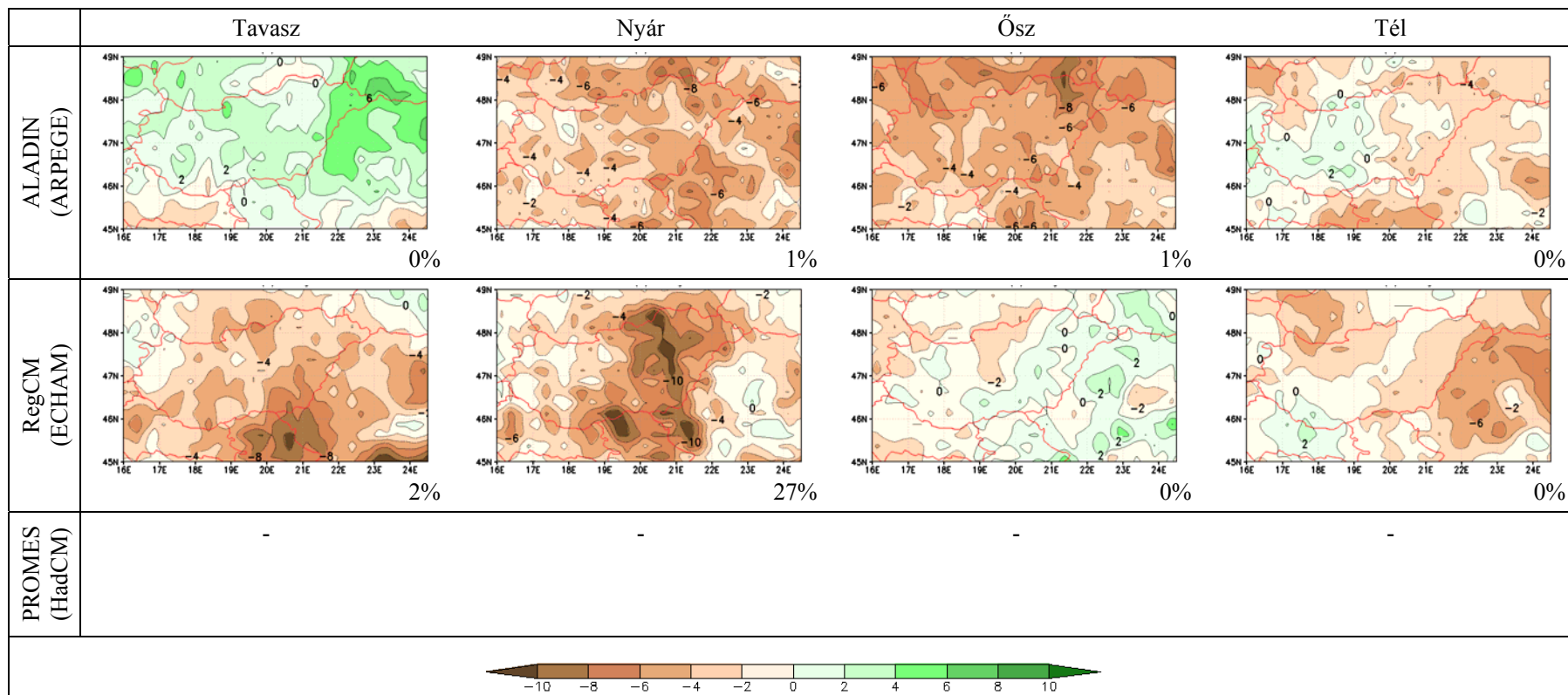
F.19. ábra. Az RX5 index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re, az ALADIN, a RegCM és a PROMES regionális klímamodellek szimulációi alapján.

F.20. ábra. Az RX5 index évszakonként várható relatív változása (%) 2071-2100-ra, az ALADIN és a RegCM regionális klímamodellek szimulációi alapján.



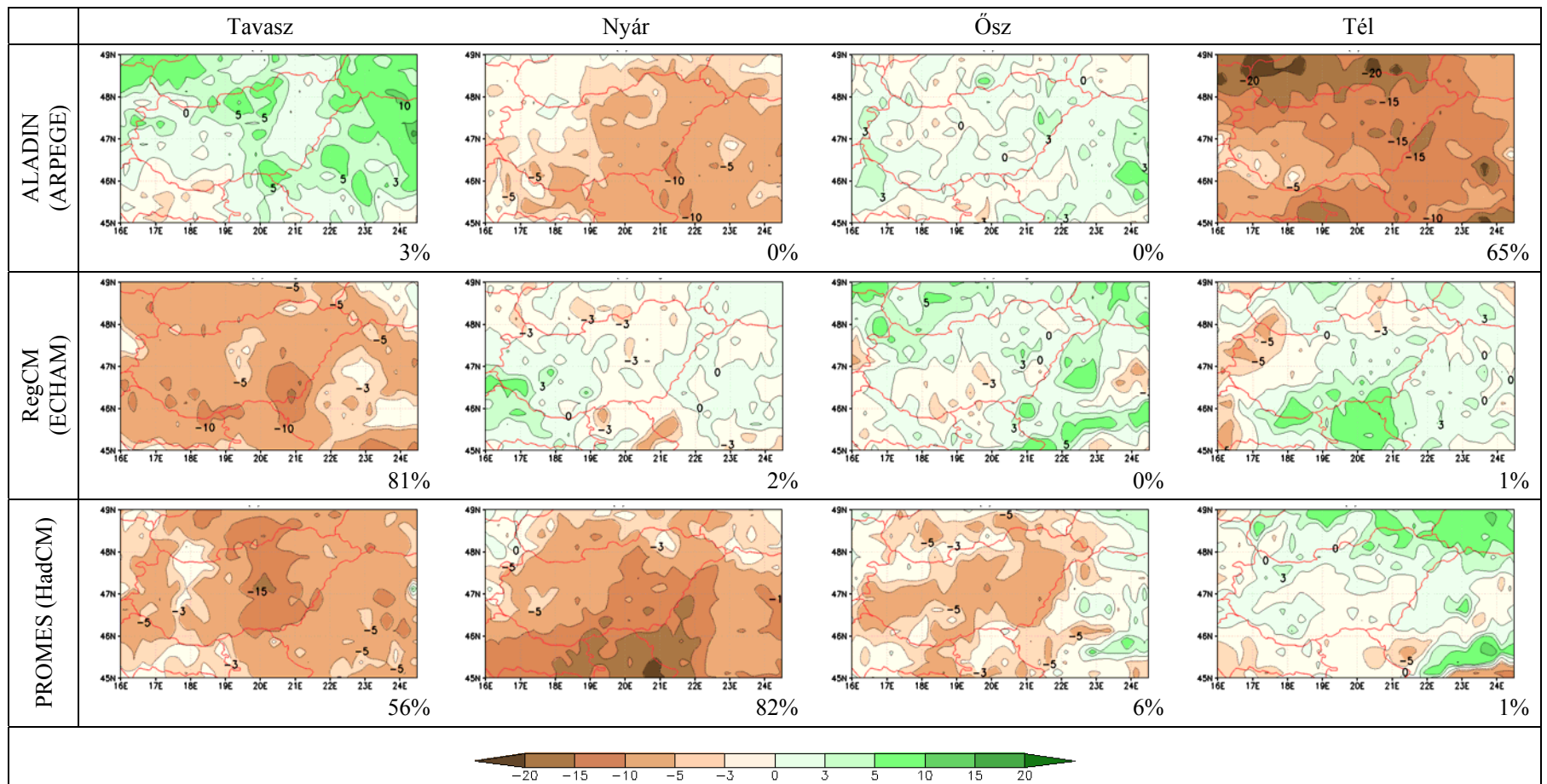
F.1. ábra. Az RR0.1 index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re, az ALADIN, a RegCM és a PROMES regionális klímamodellek szimulációi alapján. Referencia időszak: 1961-1990.

A térképek alatti értékek mutatják, hogy a hazai rácsponatok hány százalékában kaptunk szignifikáns változást.



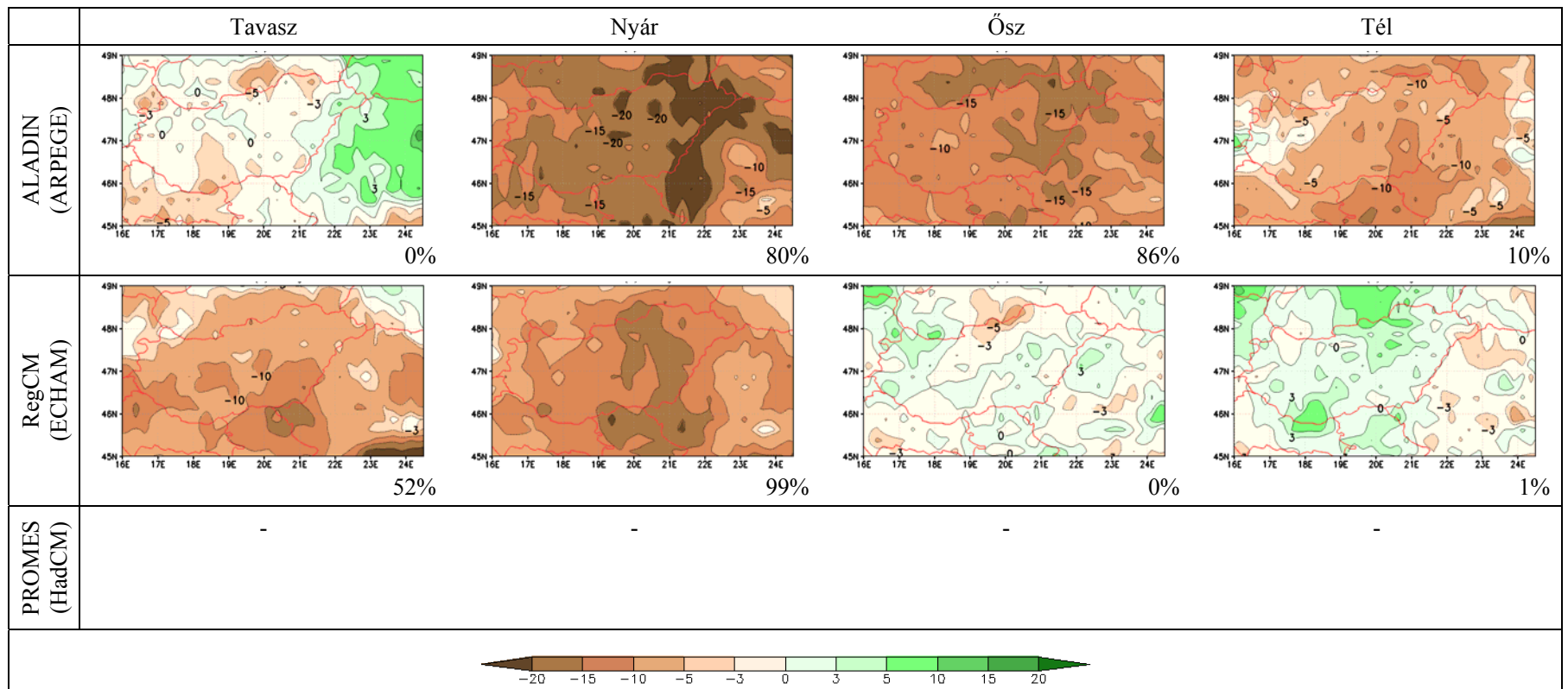
F.2. ábra. Az RR0.1 index évszakonként várható relatív változása (%) 2071-2100-ra, az ALADIN és a RegCM regionális klímamodellek szimulációi alapján.
Referencia időszak: 1961-1990.

A térképek alatti értékek megmutatják, hogy a hazai rácspontok hány százalékában kaptunk szignifikáns változást.



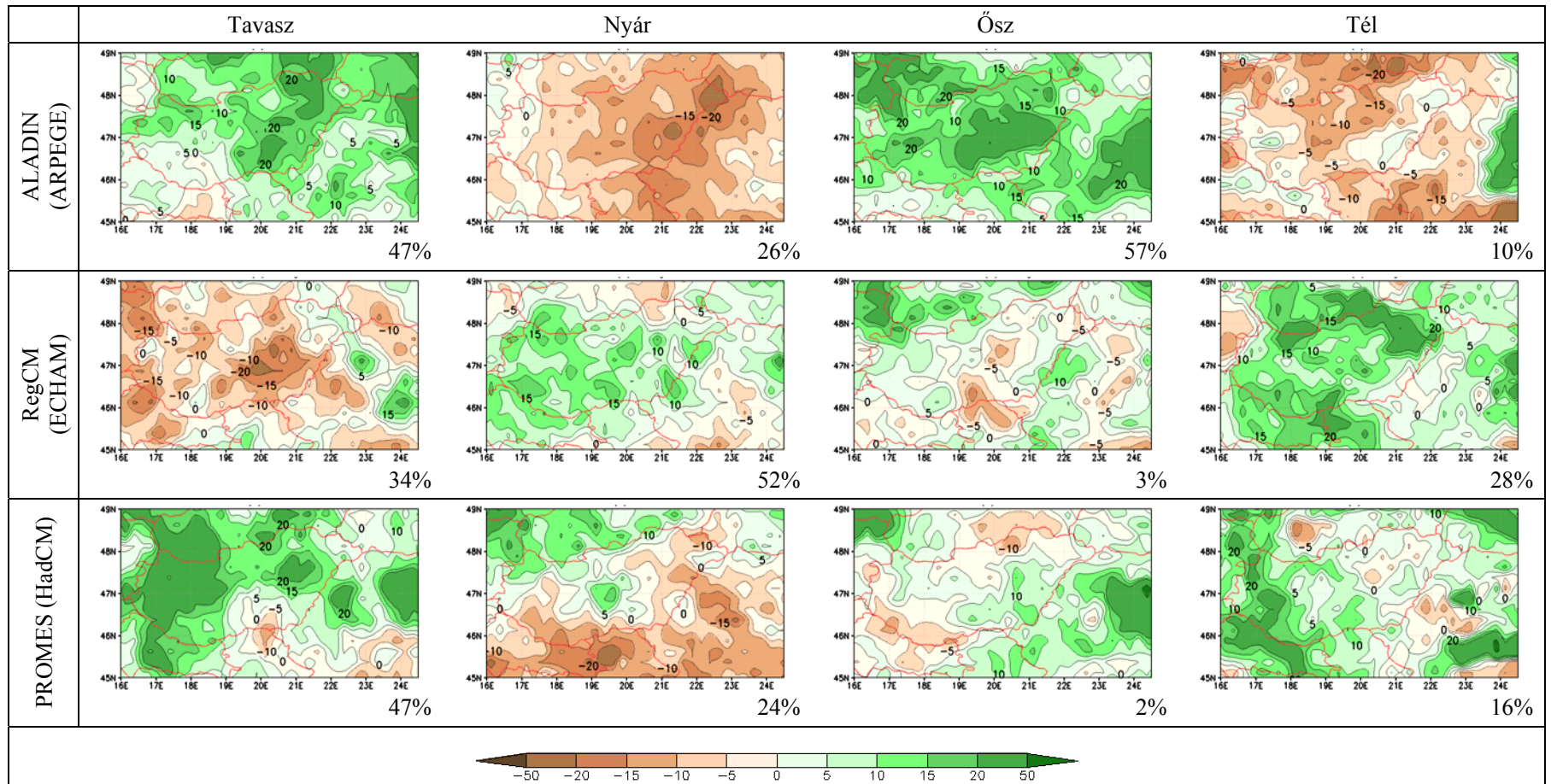
F.3. ábra. Az RR1 index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re, az ALADIN, a RegCM és a PROMES regionális klímamodellek szimulációi alapján. Referencia időszak: 1961-1990.

A térképek alatti értékek mutatják, hogy a hazai rácsponatok hány százalékában kaptunk szignifikáns változást.



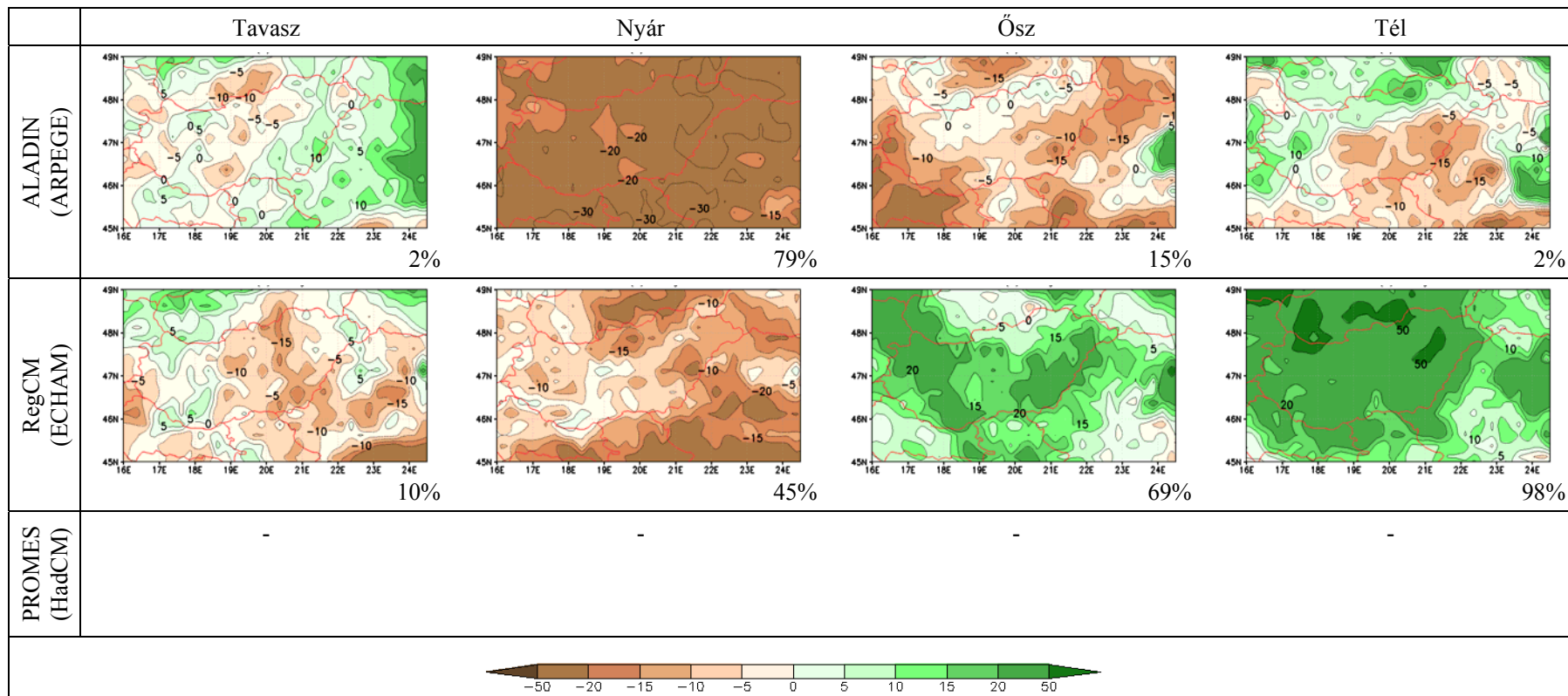
F.4. ábra. Az RR1 index évszakonként várható relatív változása (%) 2071-2100-ra, az ALADIN és a RegCM regionális klímamodellek szimulációi alapján.
Referencia időszak: 1961-1990.

A térképek alatti értékek megmutatják, hogy a hazai rácsponatok hány százalékában kaptunk szignifikáns változást.



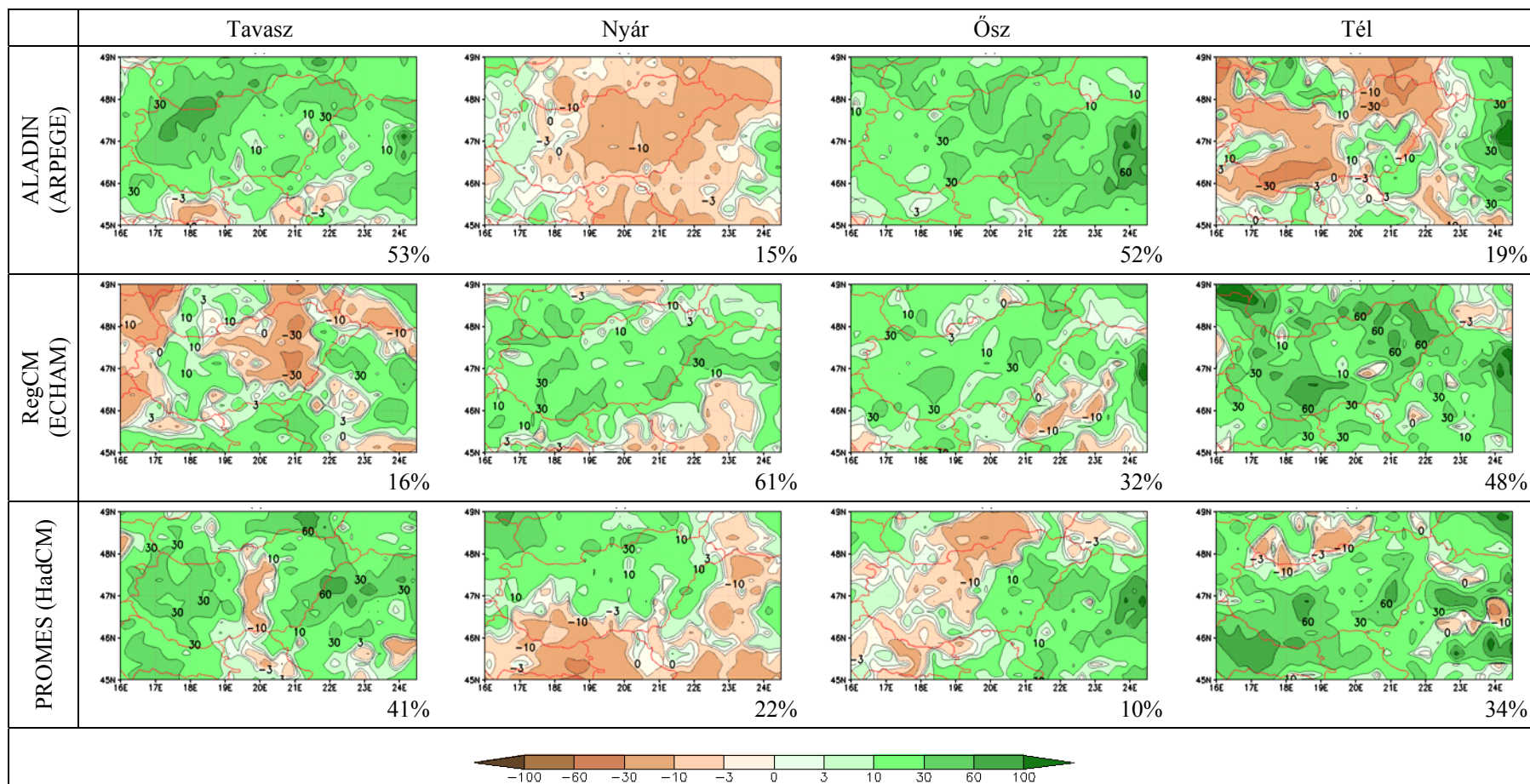
F.5. ábra. Az RR5 index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re, az ALADIN, a RegCM és a PROMES regionális klímamodellek szimulációi alapján. Referencia időszak: 1961-1990.

A térképek alatti értékek megmutatják, hogy a hazai rácspontok hány százalékában kaptunk szignifikáns változást.



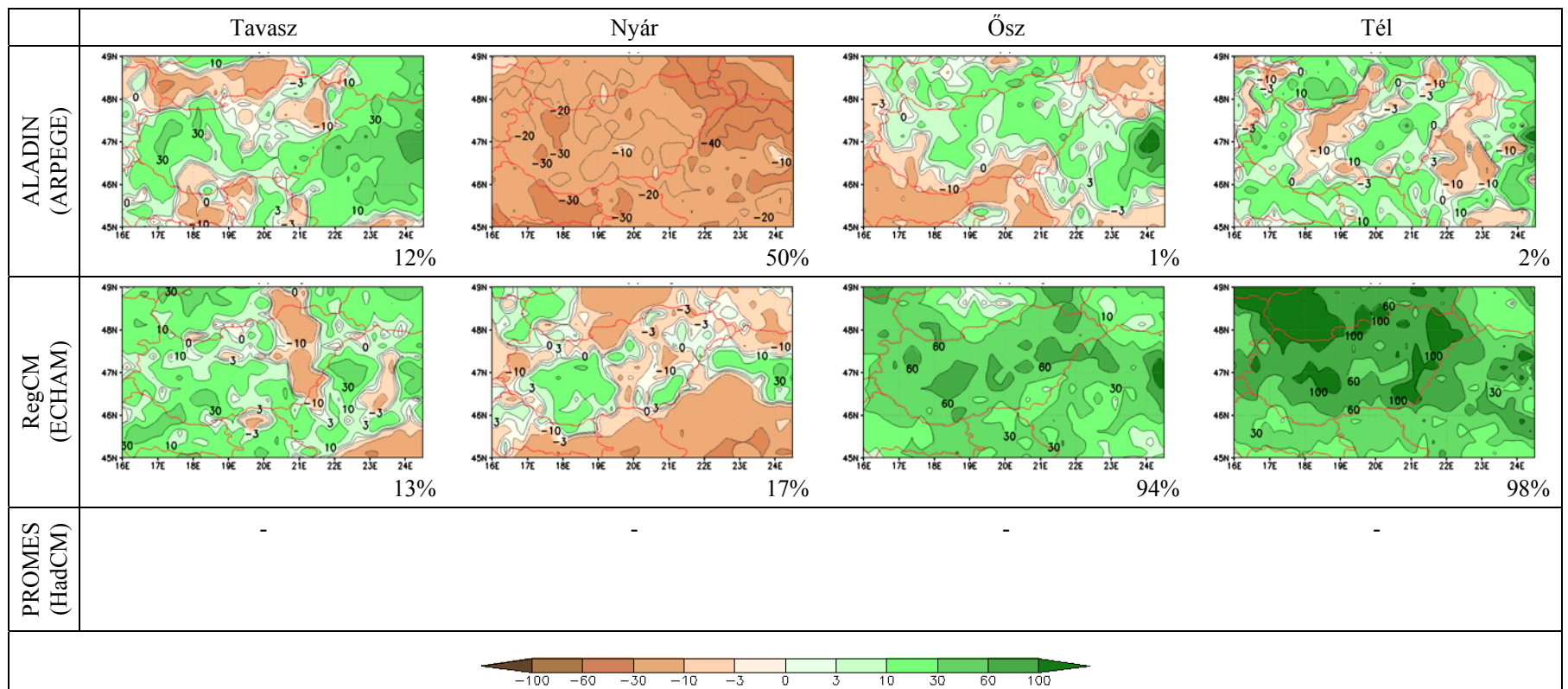
F.6. ábra. Az RR5 index évszakonként várható relatív változása (%) 2071-2100-ra, az ALADIN és a RegCM regionális klímamodellek szimulációi alapján.
Referencia időszak: 1961-1990.

A térképek alatti értékek megmutatják, hogy a hazai rácspontok hány százalékában kaptunk szignifikáns változást.



F.7. ábra. Az RR10 index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re, az ALADIN, a RegCM és a PROMES regionális klímamodellek szimulációi alapján. Referencia időszak: 1961-1990.

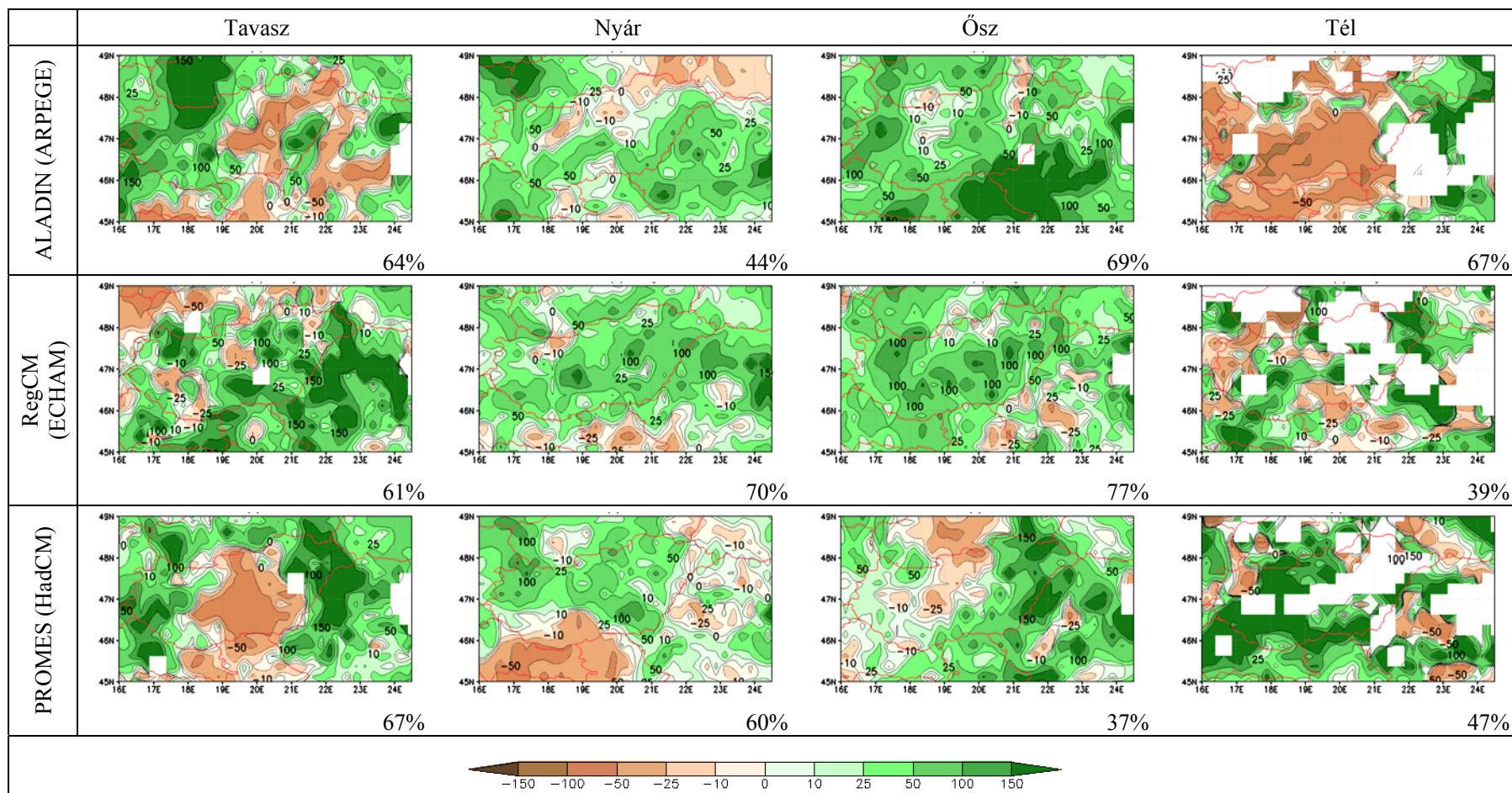
A térképek alatti értékek megmutatják, hogy a hazai rácsponatok hány százalékában kaptunk szignifikáns változást.



F.8. ábra. Az RR10 index évszakonként várható relatív változása (%) 2071-2100-ra, az ALADIN és a RegCM regionális klímamodellek szimulációi alapján.

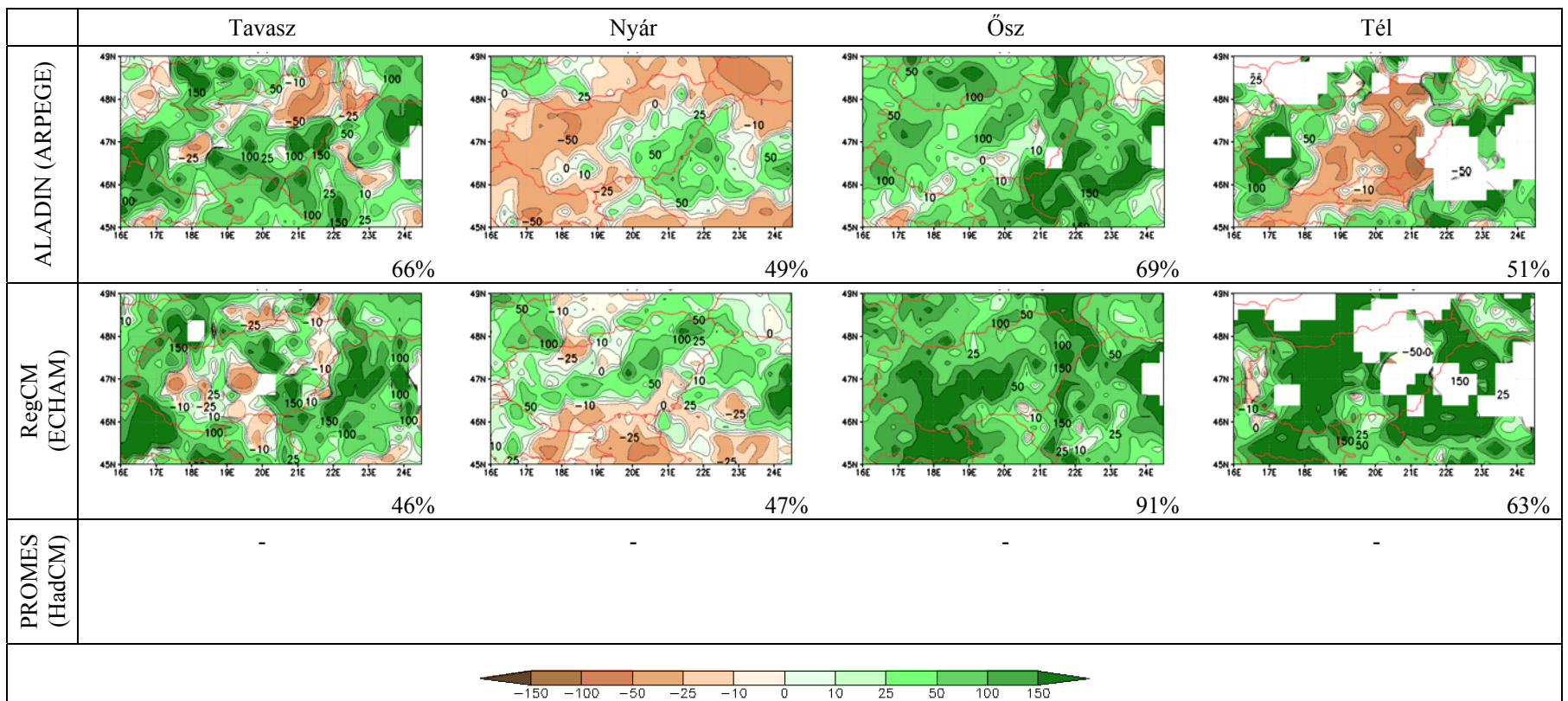
Referencia időszak: 1961-1990.

A térképek alatti értékek megmutatják, hogy a hazai rácspontok hány százalékában kaptunk szignifikáns változást.



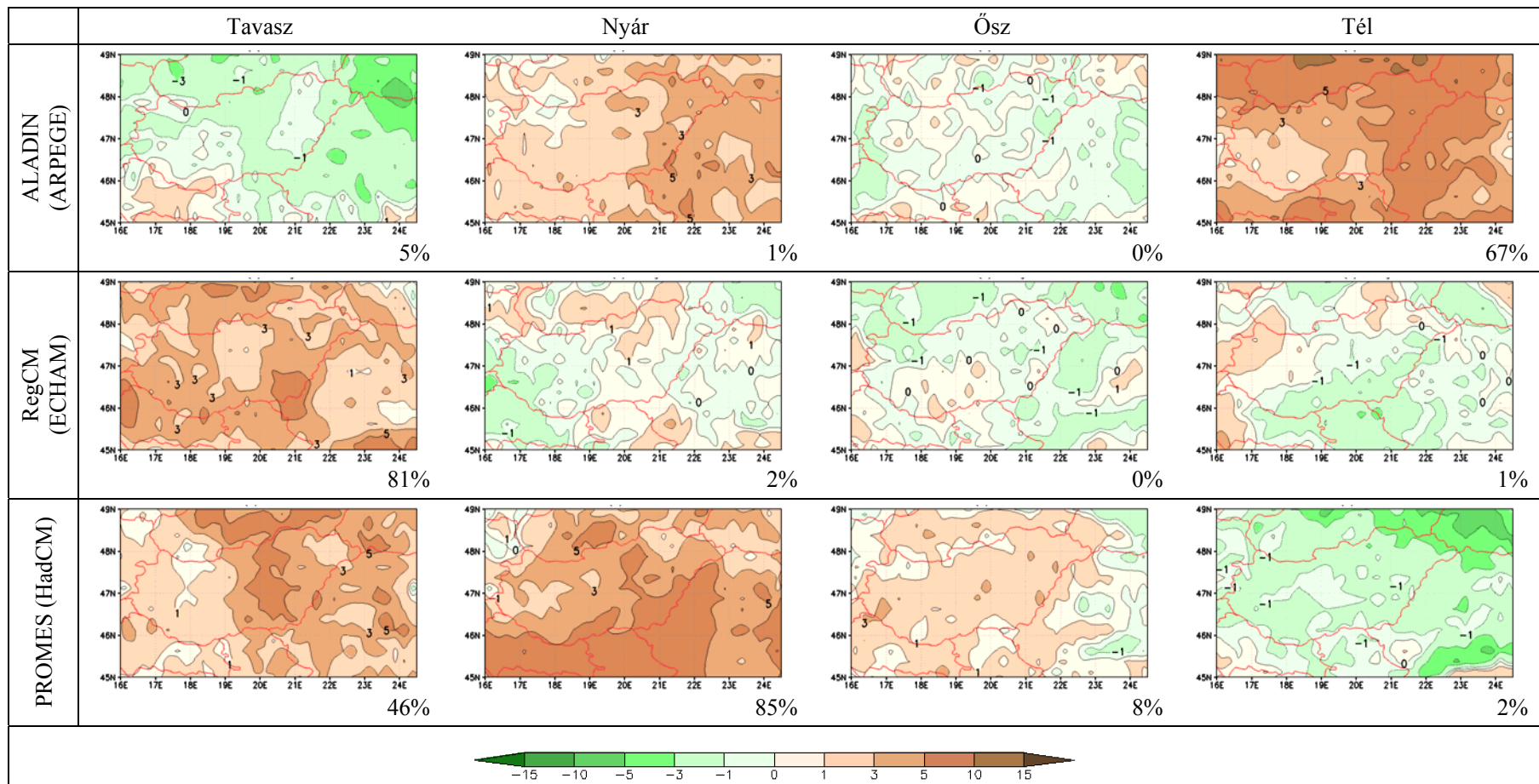
F.9. ábra. Az RR20 index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re, az ALADIN, a RegCM és a PROMES regionális klímamodellek szimulációi alapján. Referencia időszak: 1961-1990.

A térképek alatti értékek mutatják, hogy a hazai rácsponatok hány százalékában kaptunk szignifikáns változást.



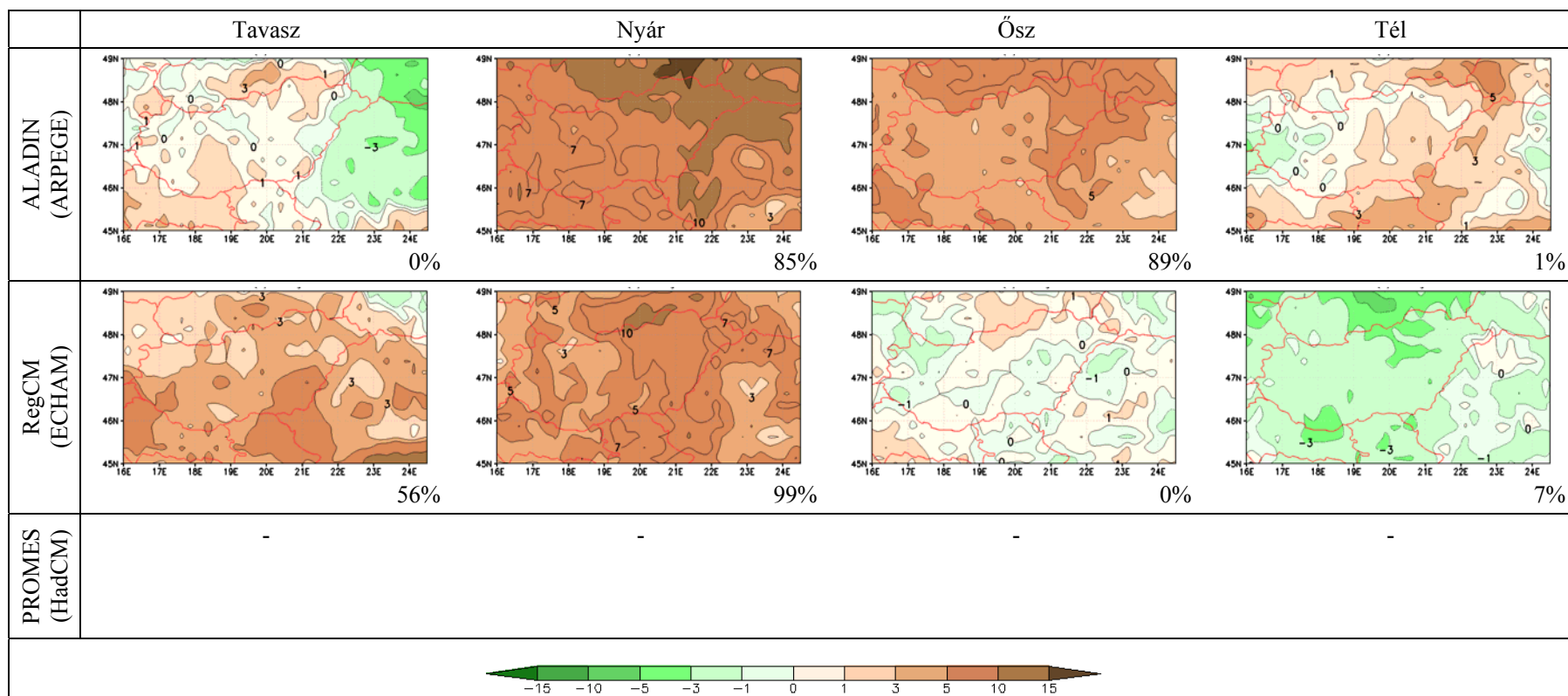
F.10. ábra. Az RR20 index évszakonként várható relatív változása (%) 2071-2100-ra, az ALADIN és a RegCM regionális klímamodellek szimulációi alapján. Referencia időszak: 1961-1990.

A térképek alatti értékek megmutatják, hogy a hazai rácspontok hány százalékában kaptunk szignifikáns változást.



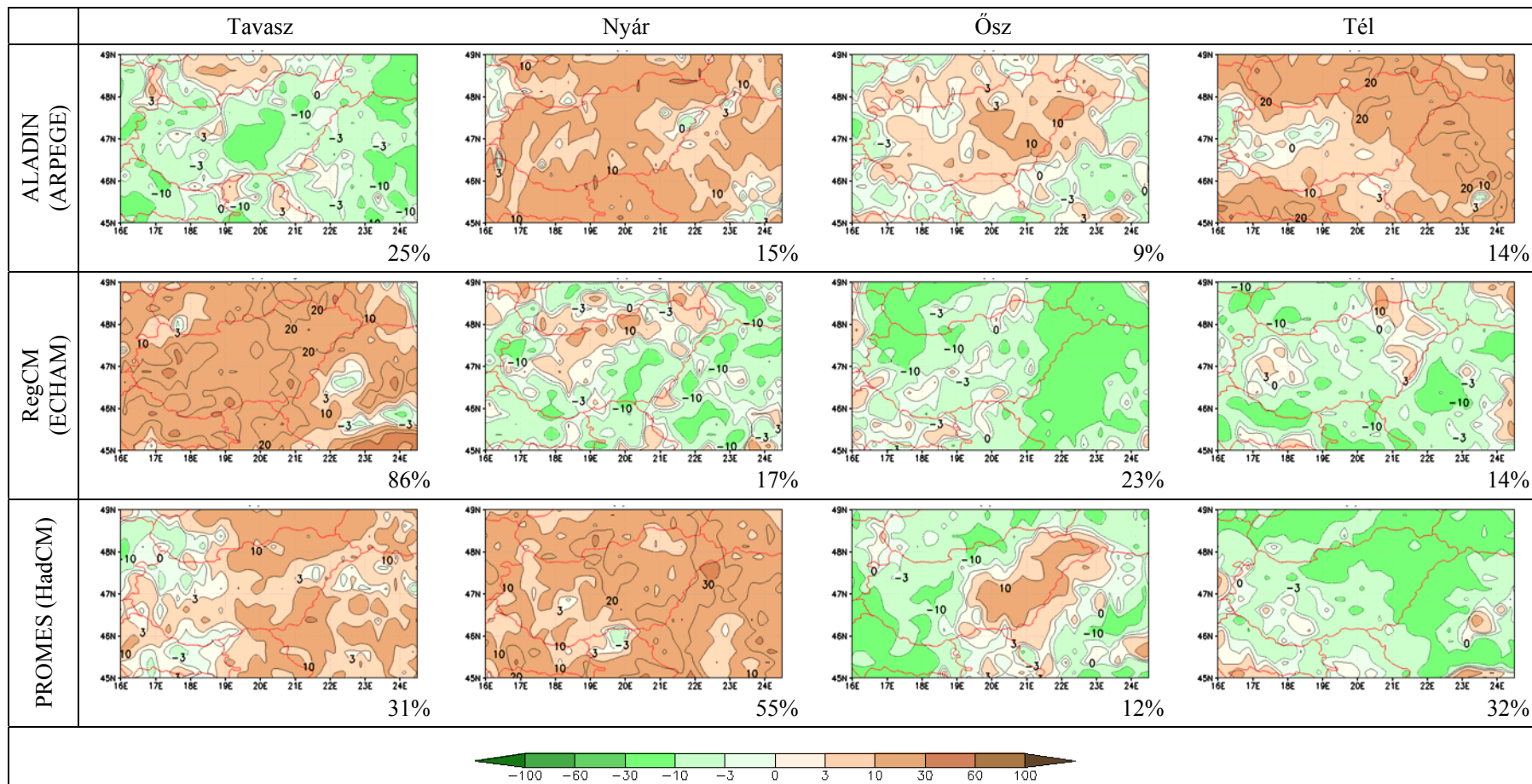
F.11. ábra. Az DD index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re, az ALADIN, a RegCM és a PROMES regionális klímamodellek szimulációi alapján. Referencia időszak: 1961-1990.

A térképek alatti értékek megmutatják, hogy a hazai rácspontok hány százalékában kaptunk szignifikáns változást.



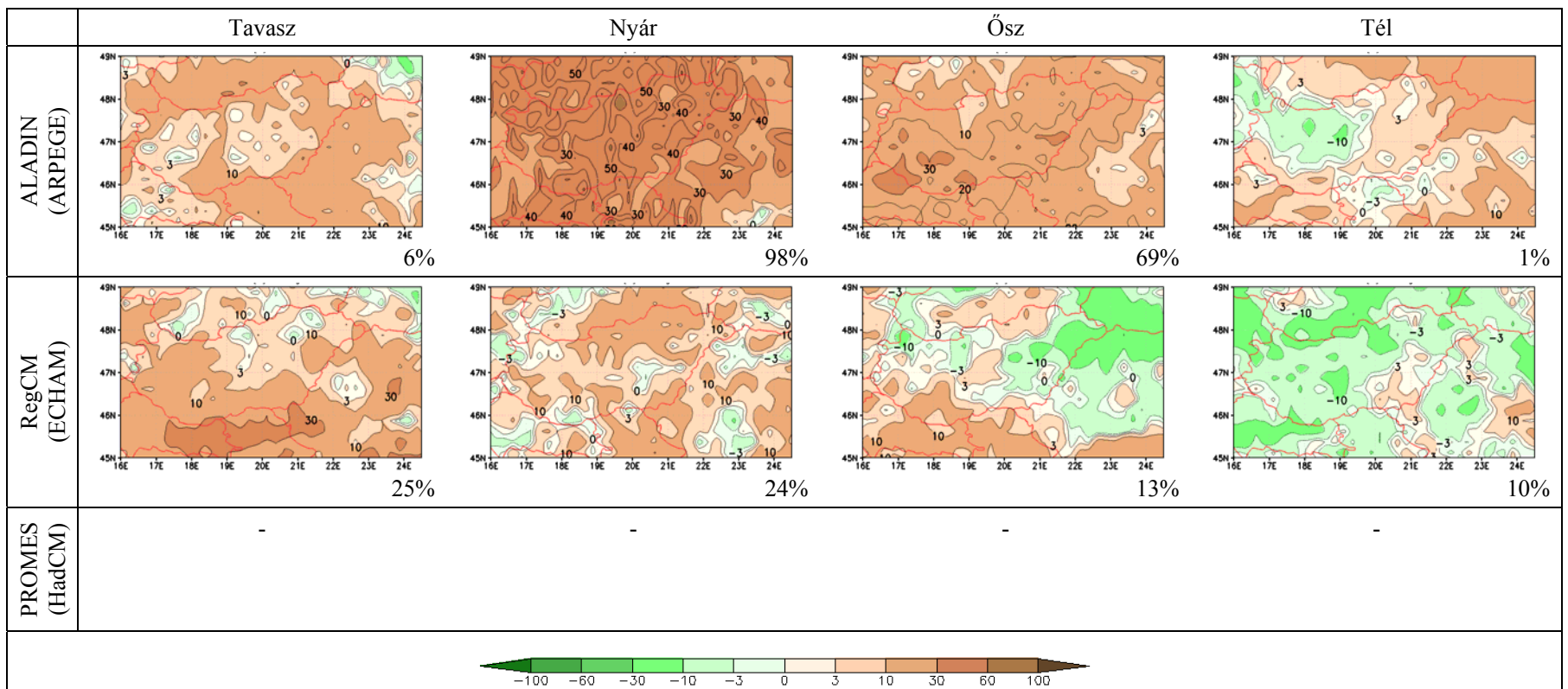
F.12. ábra. Az DD index évszakonként várható relatív változása (%) 2071-2100-ra, az ALADIN és a RegCM regionális klímamodellek szimulációi alapján.
Referencia időszak: 1961-1990.

A térképek alatti értékek megmutatják, hogy a hazai rácspontok hány százalékában kaptunk szignifikáns változást.



F.13. ábra. Az CDD index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re, az ALADIN, a RegCM és a PROMES regionális klímamodellek szimulációi alapján. Referencia időszak: 1961-1990.

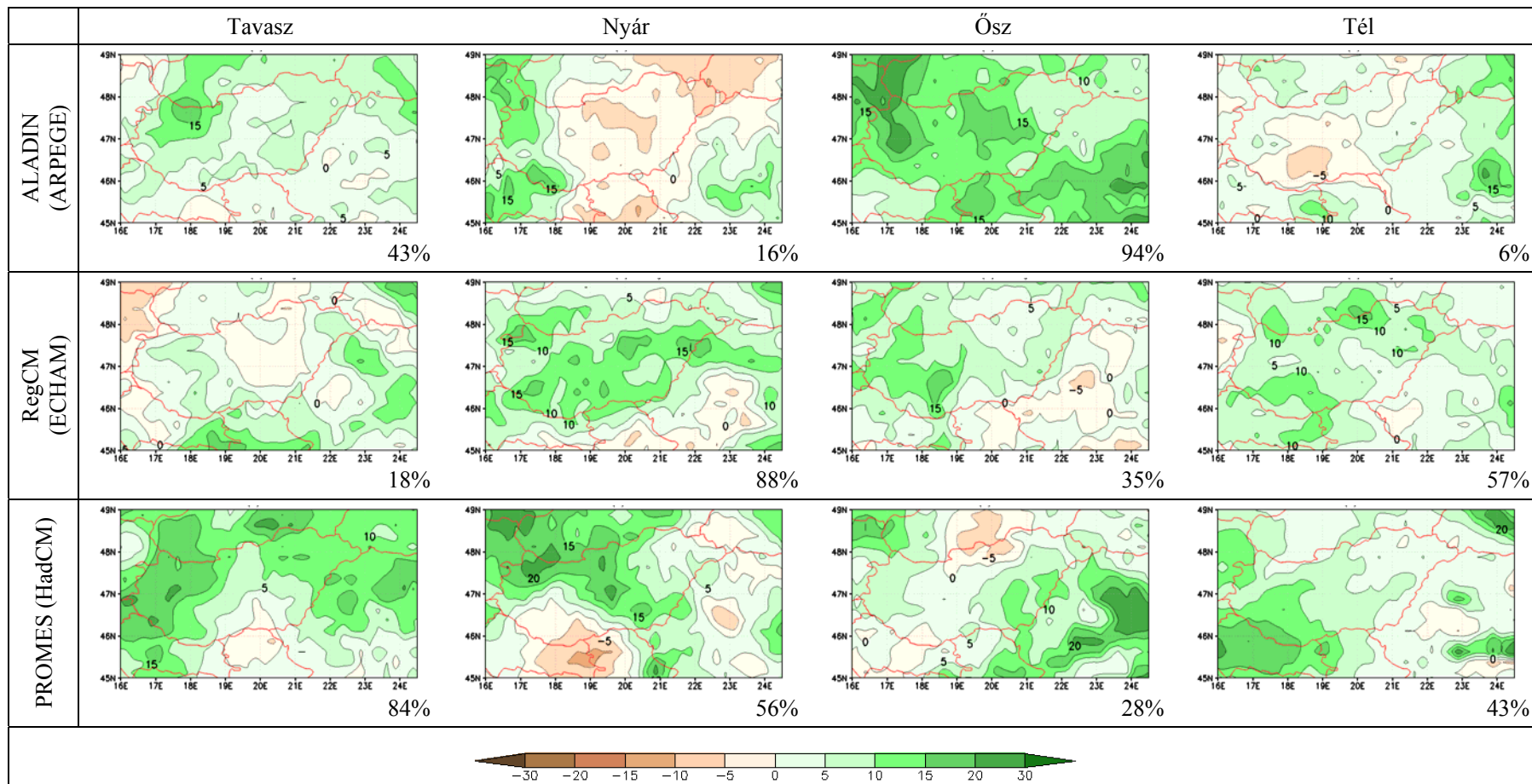
A térképek alatti értékek megmutatják, hogy a hazai rácspontok hány százalékában kaptunk szignifikáns változást.



F.14. ábra. Az CDD index évszakonként várható relatív változása (%) 2071-2100-ra, az ALADIN és a RegCM regionális klímamodellek szimulációi alapján.

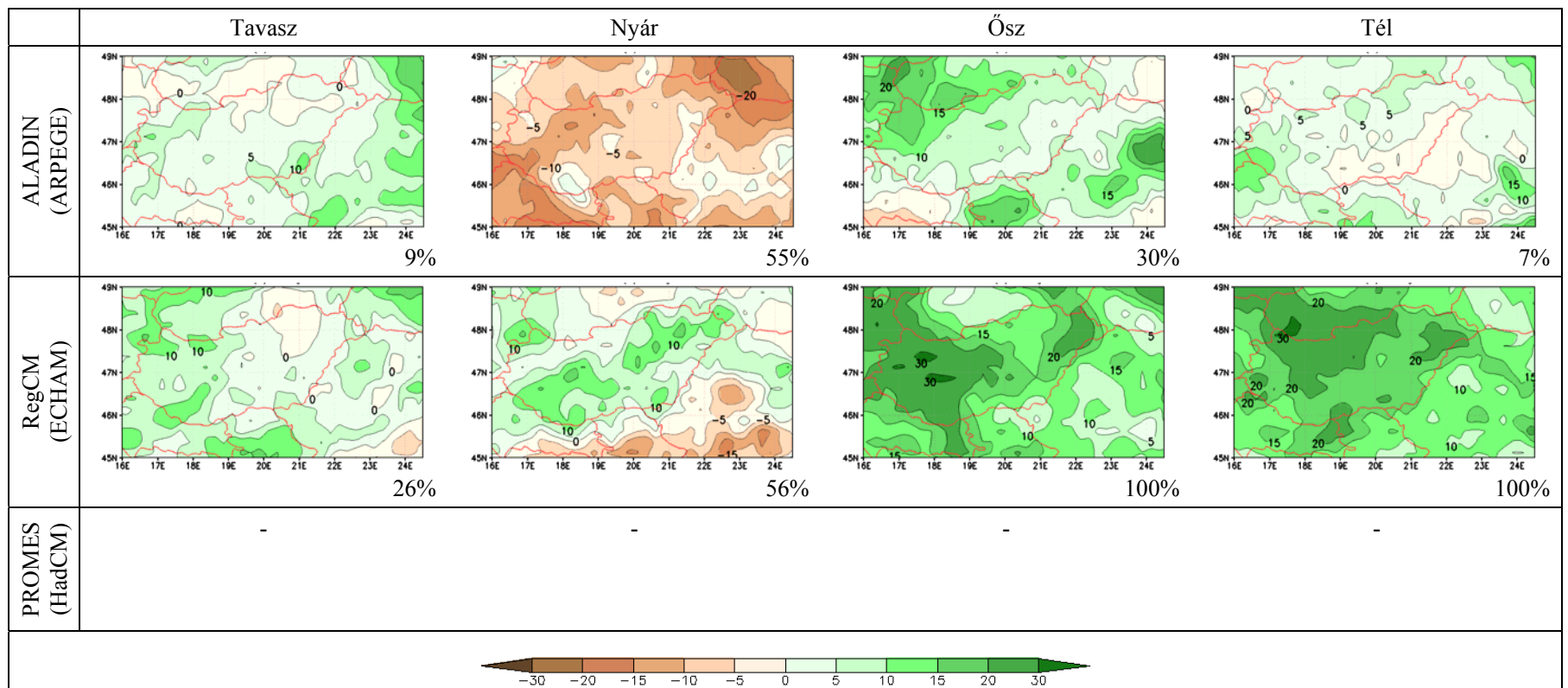
Referencia időszak: 1961-1990.

A térképek alatti értékek megmutatják, hogy a hazai rácspontok hány százalékában kaptunk szignifikáns változást.



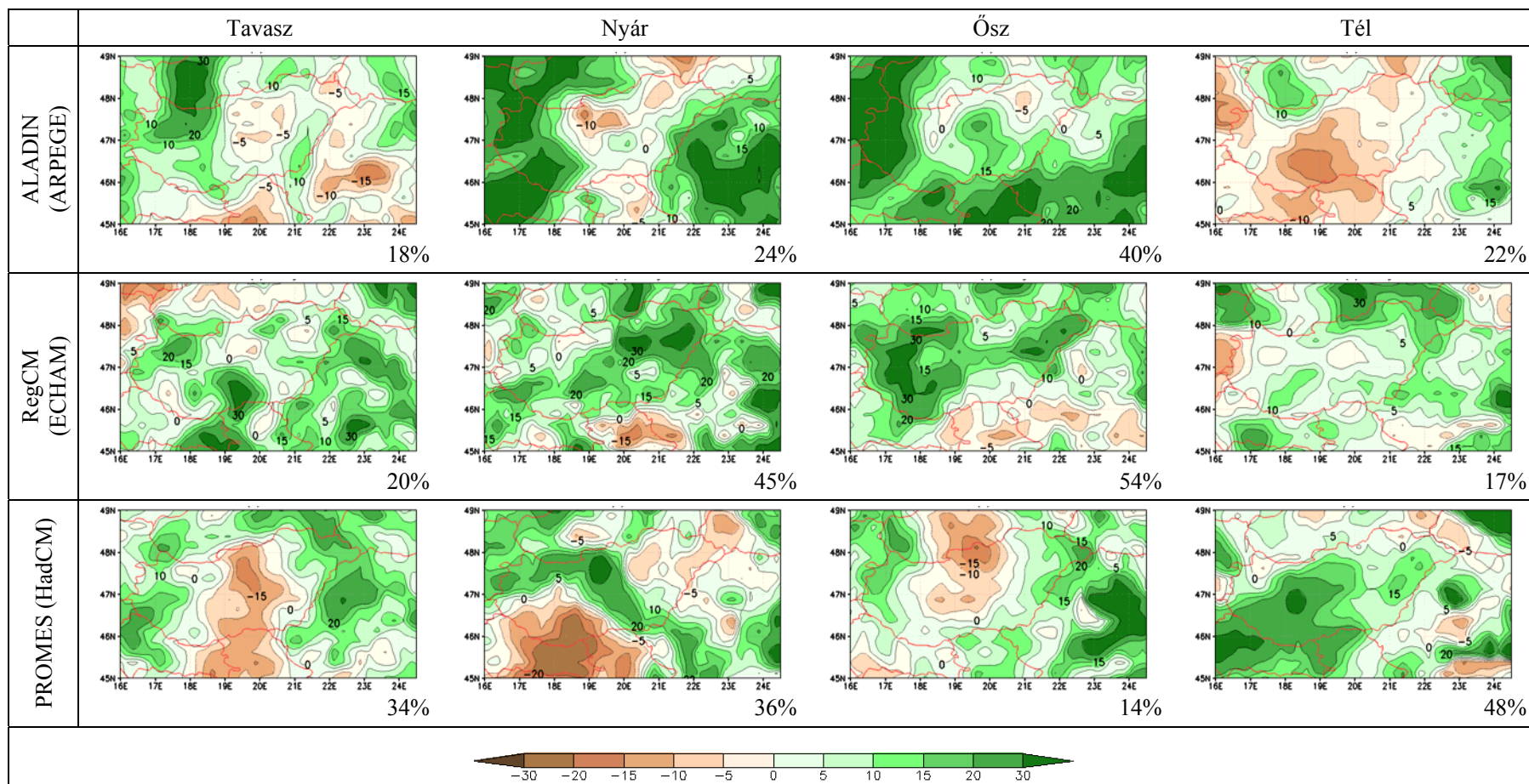
F.15. ábra. Az SDII index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re, az ALADIN, a RegCM és a PROMES regionális klímamodellek szimulációi alapján. Referencia időszak: 1961-1990.

A térképek alatti értékek megmutatják, hogy a hazai rácspontok hány százalékában kaptunk szignifikáns változást.



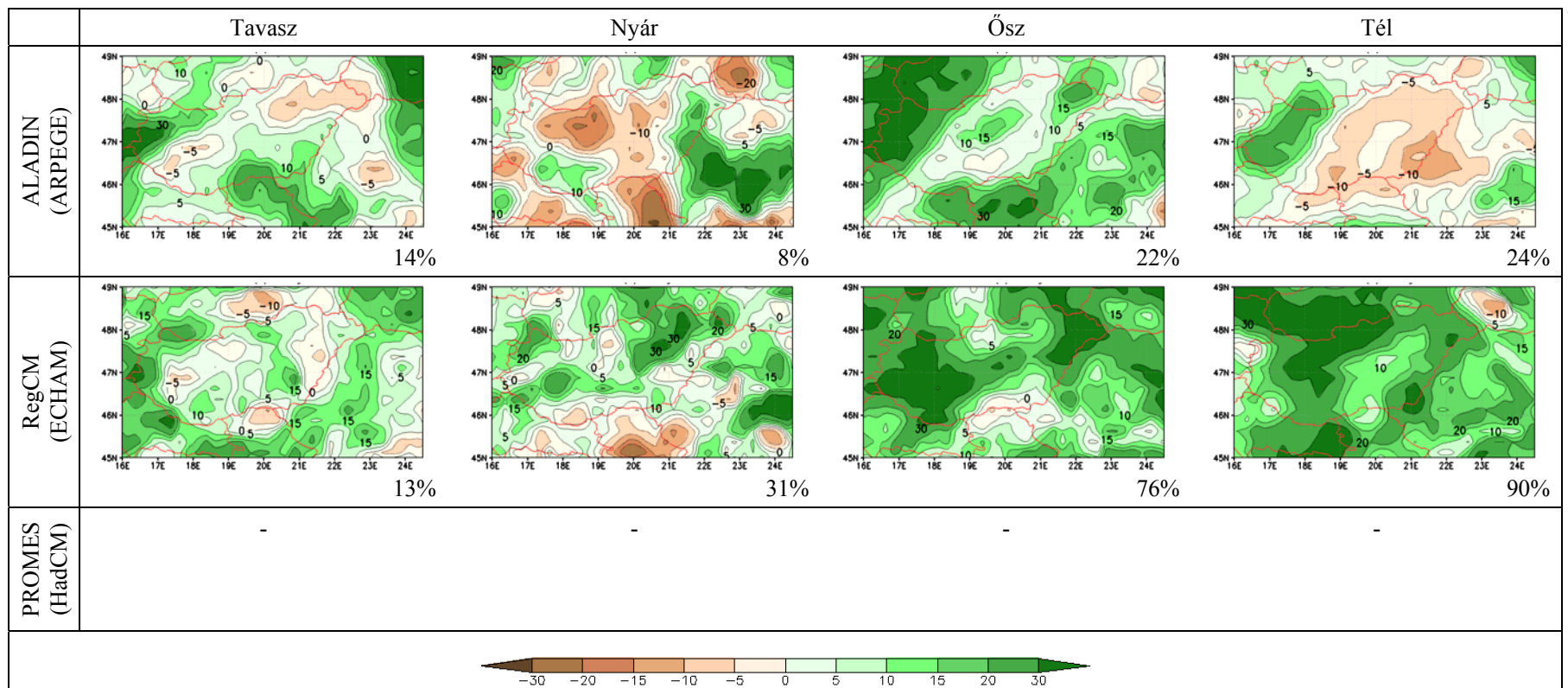
F.16. ábra. Az SDII index évszakonként várható relatív változása (%) 2071-2100-ra, az ALADIN és a RegCM regionális klímamodellek szimulációi alapján.
Referencia időszak: 1961-1990.

A térképek alatti értékek megmutatják, hogy a hazai rácspontok hány százalékában kaptunk szignifikáns változást.



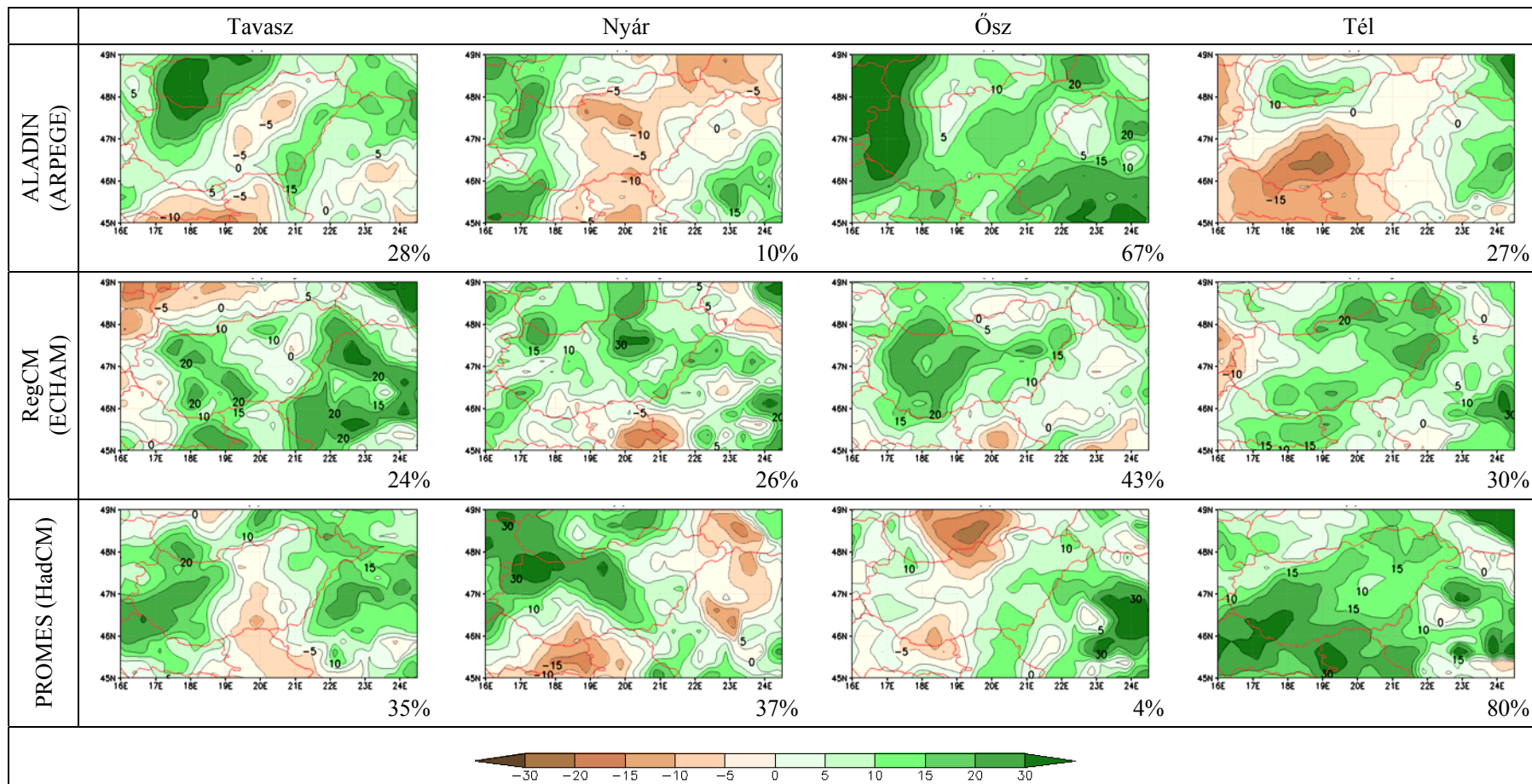
F.17. ábra. Az RX1 index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re, az ALADIN, a RegCM és a PROMES regionális klímamodellek szimulációi alapján. Referencia időszak: 1961-1990.

A térképek alatti értékek megmutatják, hogy a hazai rácsponatok hány százalékában kaptunk szignifikáns változást.



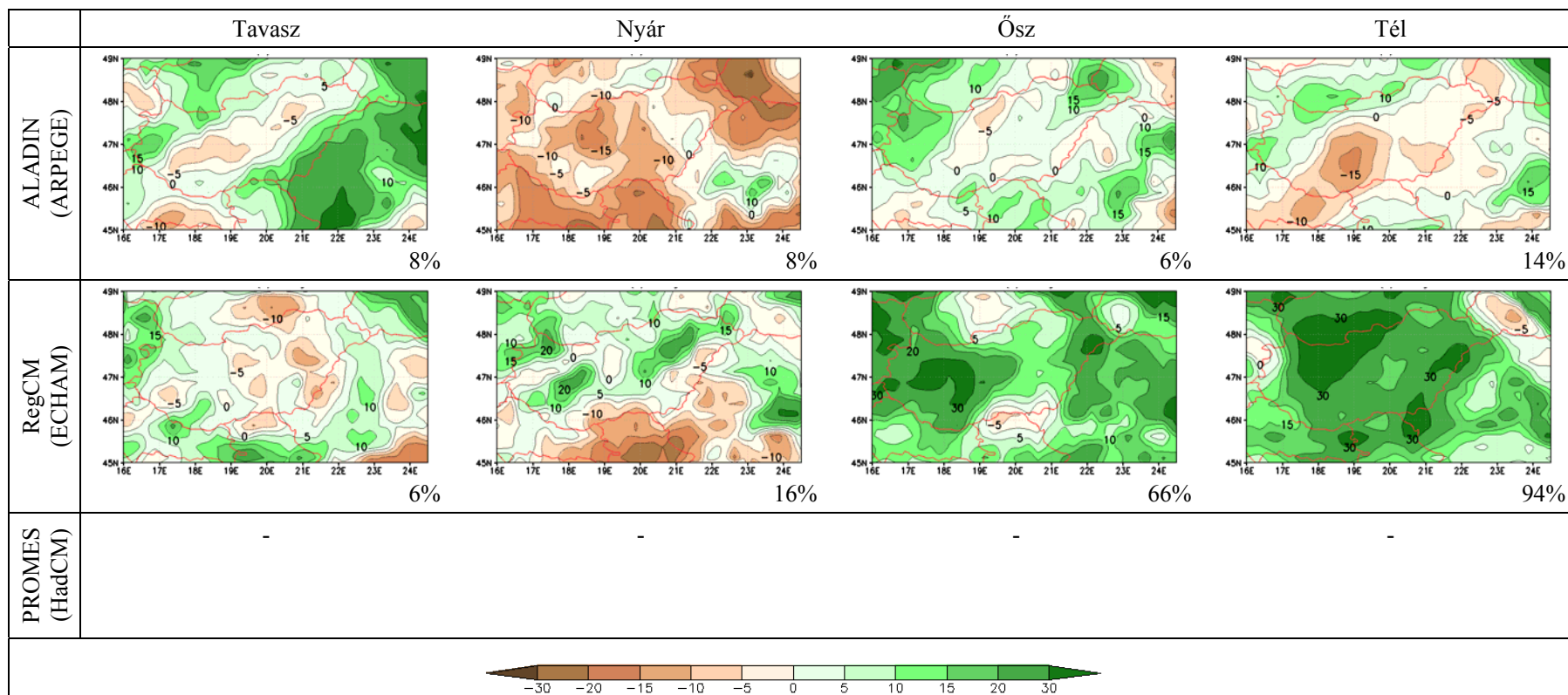
F.18. ábra. Az RX1 index évszakonként várható relatív változása (%) 2071-2100-ra, az ALADIN és a RegCM regionális klímamodellek szimulációi alapján.
Referencia időszak: 1961-1990.

A térképek alatti értékek megmutatják, hogy a hazai rácspontok hány százalékában kaptunk szignifikáns változást.



F.19. ábra. Az RX5 index évszakonként várható relatív változása (%) 2021-2050-re, az ALADIN, a RegCM és a PROMES regionális klímamodellek szimulációi alapján. Referencia időszak: 1961-1990.

A térképek alatti értékek megmutatják, hogy a hazai rácspontok hány százalékában kaptunk szignifikáns változást.



F.20. ábra. Az RX5 index évszakonként várható relatív változása (%) 2071-2100-ra, az ALADIN és a RegCM regionális klímamodellek szimulációi alapján.
Referencia időszak: 1961-1990.

A térképek alatti értékek megmutatják, hogy a hazai rácspontok hány százalékában kaptunk szignifikáns változást.

