

DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD REPUBLIKE HRVATSKE
SLUŽBA ZA METEOROLOŠKA ISTRAŽIVANJA I RAZVOJ
ODJEL ZA KLIMATOLOŠKA ISTRAŽIVANJA I PRIMIJENJENU KLIMATOLOGIJU
ODJEL ZA AGROMETEOROLOGIJU

**Peto nacionalno izvješće Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji
Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC)**

Izabrana poglavlja:

Opažene klimatske promjene u Hrvatskoj

Scenarij klimatskih promjena

**Utjecaj klimatskih varijacija i promjena na biljke i
na opasnost od šumskih požara**



Zagreb, studeni 2009.

Sadržaj

	Str.
1. Opažene klimatske promjene u Hrvatskoj.....	2
1.1. Temperatura zraka.....	2
1.2. Oborina.....	9
1.3. Sušna razdoblja.....	14
2. Scenarij klimatskih promjena.....	19
2.1. Uvod.....	19
2.2. Visinska polja.....	22
2.3. Prizemna polja.....	23
2.4. Zaključci.....	28
3. Utjecaj klimatskih varijacija i promjena na biljke i na opasnost od šumskih požara.....	38
3.1. Utjecaj klimatskih varijacija i promjena na biljke.....	38
3.2. Utjecaj klimatskih promjena na opasnost od šumskih požara.....	43

Autori:

- dr. sc. Čedo Branković (poglavlje 2)
- Ksenija Cindrić, dipl. ing. (poglavlje 1)
- dr.sc. Marjana Gajić-Čapka (poglavlje 1)
- Ivan Güttler, dipl. ing. (poglavlje 2)
- Mirta Patarčić, dipl. ing. (poglavlje 2)
- Lidija Srnec, dipl. ing. (poglavlje 2)
- mr. sc. Višnja Vučetić (poglavlje 3)
- mr.sc. Ksenija Zaninović (poglavlje 1)

1. Opažene klimatske promjene

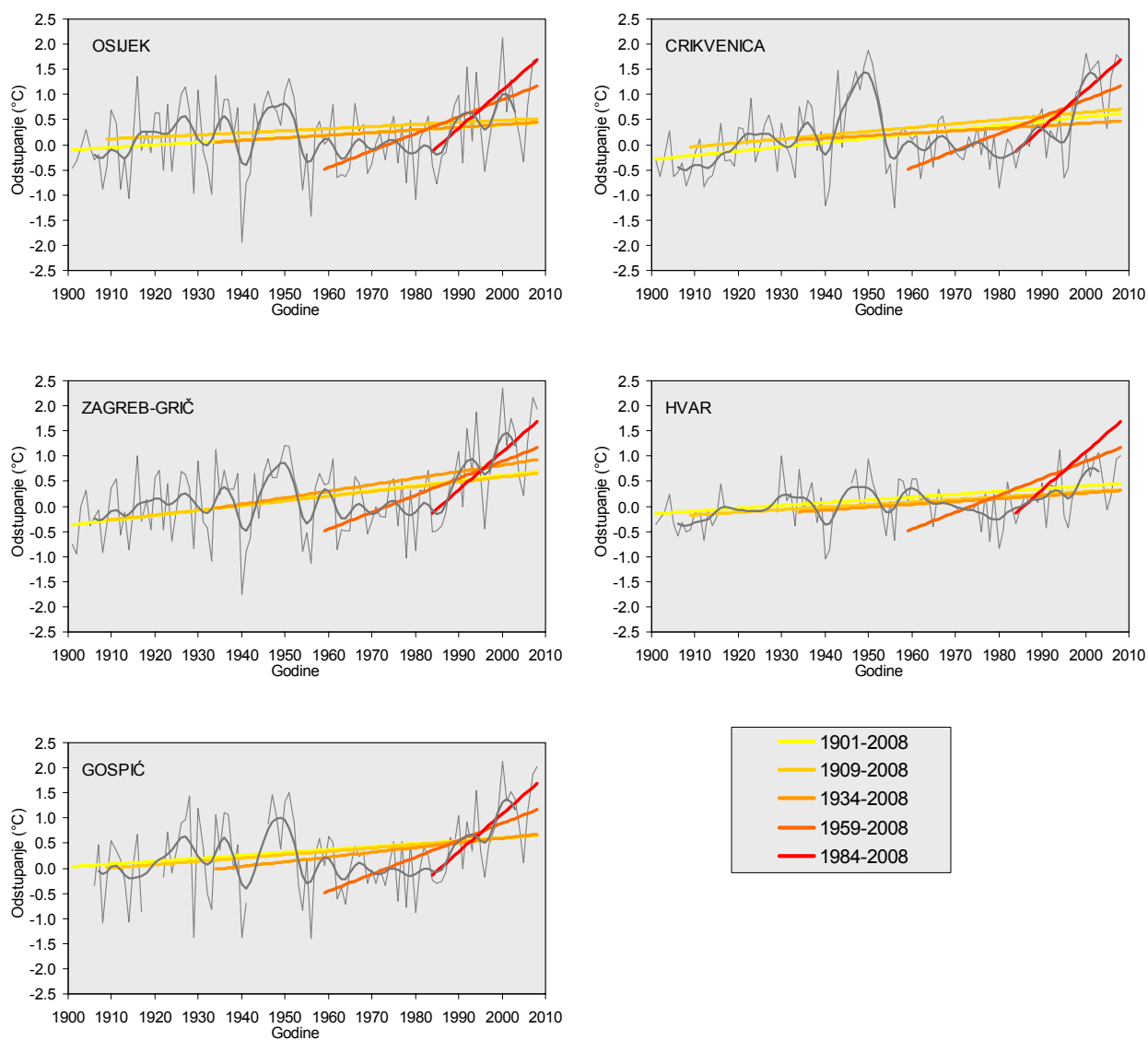
Dijagnosticiranje klimatskih varijacija i promjena temperature zraka i oborine na području Hrvatske od početka 20. stoljeća provedeno je prema podacima dugogodišnjih meteoroloških mjerenja, koja su započela tijekom 19. stoljeća na meteorološkim postajama u različitim klimatskim područjima: Osijek (kontinentalna klima), Zagreb-Grič (kontinentalna klima pod blagim maritimnim utjecajem), Gospić (kontinentalna klima gorske Hrvatske pod jakim maritimnim utjecajem), Crikvenica (maritimna klima istočne obale sjevernog Jadrana) i Hvar (maritimna klima dalmatinskog otočja).

Analizirani su dekadni trendovi tijekom 20. stoljeća kao i oni za razdoblje do 2008., kako bi se uočile razlike, koje se dešavaju zbog promjena u temperaturnim i oborinskim prilikama početkom 21. stoljeća.

1.1. Temperatura zraka

Porast srednje godišnje temperature zraka koji je u 20. stoljeću iznosio između $+0,02^{\circ}\text{C}$ na 10god u Gospiću do $+0,07^{\circ}\text{C}$ na 10god u Zagrebu, nastavljen je i pojačan početkom 21. stoljeća (Tablica 1-1 i 1-2). Tako su se do 2004. dekadni trendovi kretali u rasponu od $0,04^{\circ}\text{C}$ do $0,08^{\circ}\text{C}$, a do 2008. između $0,05^{\circ}\text{C}$ do $0,10^{\circ}\text{C}$. Pozitivan trend, prisutan na području cijele Hrvatske, od početka analiziranog razdoblja postao je osobito izražen u posljednjih 50 i još više u posljednjih 25 godina (Slika 1-1, Tablica 1-1). Trendovi srednje godišnje temperature zraka u 108-godišnjem razdoblju, statistički su značajni na svim postajama osim Osijeka, a u posljednjih 50 odnosno 25 godina na svim promatranim postajama. Najveći doprinos pozitivnom trendu temperature u kontinentalnom dijelu Hrvatske su dali zimski trendovi ($+0,06^{\circ}\text{C}$ u Osijeku, $+0,13^{\circ}\text{C}$ u Zagrebu i Gospiću), a na Jadranu ljetni ($+0,13^{\circ}\text{C}$ u Crikvenici i $+0,07^{\circ}\text{C}$ u Hvaru). Najveći trendovi zabilježeni su u Zagrebu, međutim, treba voditi računa da je barem dijelom taj porast posljedica zagrijavajućeg utjecaja grada.

Posljedica ubrzanog zagrijavanja atmosfere u posljednjem razdoblju uzrokom je da je od deset najtoplijih godina od početka 20. stoljeća, od 2000. godine zabilježeno 7 u Zagrebu, 6 u Gospiću i Crikvenici, 5 u Hvaru i 4 u Osijeku (Tablica 1-3).



Slika 1-1. Vremenski nizovi srednje godišnje temperature zraka, pripadni 11-godišnji binomni klizni srednjaci i trendovi za 108-, 100-, 75-, 50- i 25-godišnje razdoblje. Jedinice su odstupanja (°C) od srednjaka 1961-1990.

Tablica 1-1. Trendovi srednje godišnje temperature zraka za 108-, 100-, 75-, 50- i 25-godišnje razdoblje. Podebljani su trendovi signifikantni na razini 5%.

	Osijek	Zagreb-Grič	Gospić	Crikvenica	Hvar
1901-2008 (108g)	+0.05	+0.10	+0.06	+0.09	+0.06
1909-2008 (100g)	+0.04	+0.09	+0.07	+0.08	+0.05
1934-2008 (75g)	+0.05	+0.13	+0.09	+0.05	+0.06
1959-2008 (50g)	+0.23	+0.34	+0.32	+0.28	+0.12
1984-2008 (25g)	+0.52	+0.75	+0.69	+0.75	+0.35

Tablica 1-2. Dekadni trendovi srednje temperature zraka po godišnjim dobima i za godinu. Podebljani su trendovi signifikantni na razini $\alpha=0.05$.

	Osijek	Zagreb-Grič	Gospić	Crikvenica	Hvar
Trend srednje temperature zraka 1901-2000 (°C / 10 godina)					
ZIMA	+0.04	+0.09	+0.10	+0.06	+0.04
PROLJEĆE	+0.02	+0.07	+0.00	-0.01	+0.02
LJETO	+0.03	+0.05	-0.03	+0.07	+0.03
JESEN	+0.03	+0.05	+0.00	+0.07	+0.05
GODINA	+0.03	+0.07	+0.02	+0.05	+0.04
Trend srednje temperature zraka 1901-2004 (°C / 10 godina)					
ZIMA	+0.04	+0.10	+0.11	+0.07	+0.04
PROLJEĆE	+0.04	+0.09	+0.03	+0.02	+0.04
LJETO	+0.05	+0.08	+0.02	+0.11	+0.06
JESEN	+0.03	+0.06	+0.02	+0.08	+0.06
GODINA	+0.04	+0.08	+0.04	+0.07	+0.05
Trend srednje temperature zraka 1901-2008 (°C / 10 godina)					
ZIMA	+0.06	+0.13	+0.13	+0.08	+0.04
PROLJEĆE	+0.05	+0.11	+0.05	+0.04	+0.05
LJETO	+0.06	+0.09	+0.04	+0.13	+0.07
JESEN	+0.03	+0.07	+0.03	+0.09	+0.05
GODINA	+0.05	+0.10	+0.06	+0.09	+0.06

Tablica 1-3. Deset najtoplijih godina. Podebljano su označene godine iz razdoblja 1991-2008.

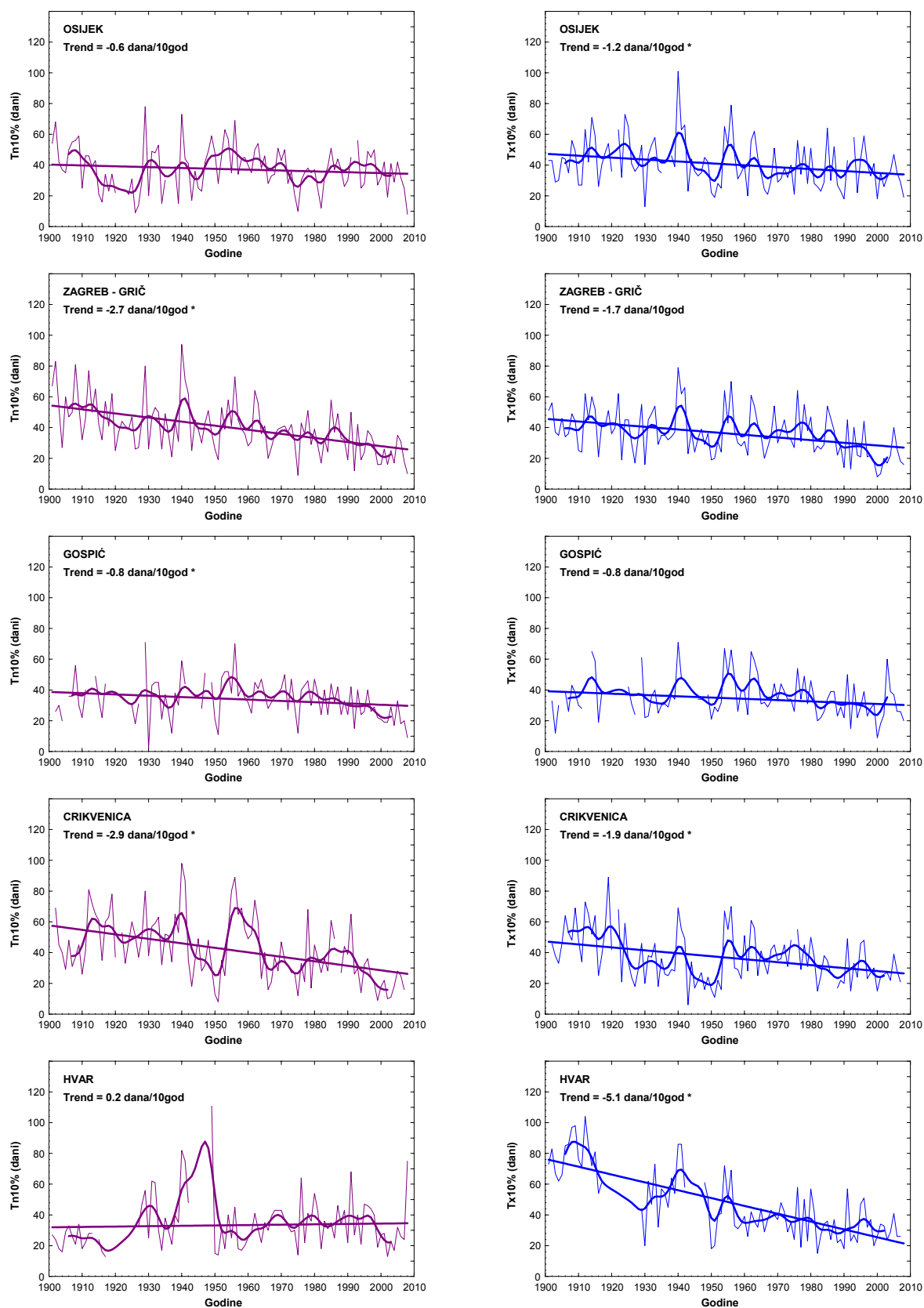
Osijek		Zagreb-Grič		Gospić		Crikvenica		Hvar	
god	°C	god	°C	god	°C	god	°C	god	°C
2000	12.9	2000	13.8	2000	10.5	1950	16.0	1945	19.2
2008	12.5	2007	13.6	2008	10.4	2000	15.9	1994	17.5
2007	12.4	2008	13.4	2007	10.3	2007	15.9	2003	17.4
1992	12.3	1994	13.3	1994	9.9	2008	15.8	2000	17.4
1994	12.2	2002	13.2	2002	9.9	2003	15.8	1930	17.3
1934	12.2	1992	13.0	1951	9.9	1951	15.7	2008	17.3
1916	12.1	2003	12.9	1947	9.9	1949	15.7	2007	17.3
1951	12.1	2006	12.7	1928	9.8	2002	15.7	1950	17.3
2002	12.1	2001	12.7	2003	9.8	1943	15.6	2002	17.3
1927	11.9	1950	12.7	2001	9.7	2001	15.6	1947	17.1

Pretpostavlja se da je zatopljenje uočeno u srednjim temperaturama zraka posljedica promjena u učestalosti temperaturnih ekstrema. Analiza promjena broja dana u kojima temperatura zraka prelazi neke određene vrijednosti ne omogućava usporedbu uočenih karakteristika u različitim klimatskim uvjetima. Naime, učestalost hladnih ($t_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$) ili toplih dana ($t_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) značajno se razlikuje između kontinentalne klime (Osijek) i maritimne klime jadranskih otoka (Hvar). Zato je zajednička Radna grupa za utvrđivanje klimatskih promjena Komisije za klimatologiju Svjetske meteorološke organizacije (WMO-CCL) i Istraživačkog programa o klimatskoj varijabilnosti i prediktabilnosti (CLIVAR) predložila niz indeksa meteoroloških parametara. Predloženi indeksi odnose se na dane u kojima temperatura zraka prelazi prag određenom pomoću vjerojatnosti pojavljivanja odnosno u određenom povratnom periodu. Za analizu temperaturnih ekstrema ovdje je korišteno šest indeksa, četiri s pragovima određenim pomoću percentila i dva pomoću fiksni pragova. Tri topla temperaturna indeksa su topli dani i tople noći u kojima maksimalna odnosno minimalna temperatura zraka premašuje granicu 90-og percentila, te topli dani s maksimalnom temperaturom zraka višom od 25°C . Tri hladna temperaturna indeksa su hladni dani i hladne noći s maksimalnim i minimalnim temperaturama zraka nižim od 10-og percentila te hladni dani s minimalnom temperaturom nižom od 0°C .

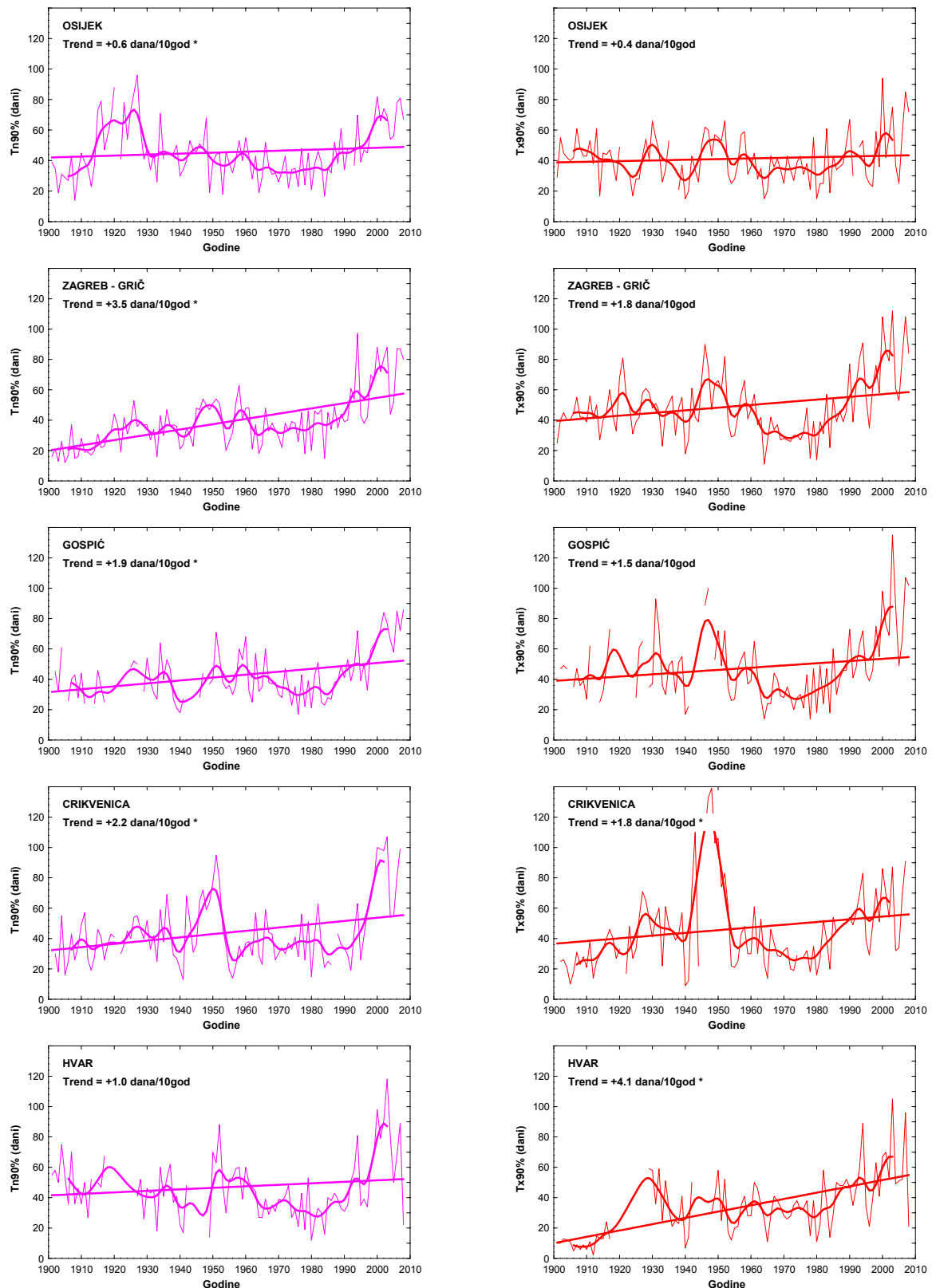
U cijelom analiziranom razdoblju većina toplih temperaturnih indeksa ima pozitivan, a hladnih negativnih trend (izuzetak su tople noći $Tn10\%$ u Hvaru, te topli dani T u Gospiću i hladni dani u Osijeku) (Tablica 1-4). Usporedba s trendovima iz ranijih razdoblja 1901-2000. i 1901-2004. pokazuje da su gotovo svi trendovi do 2008. godine postali intenzivniji, neki i statistički značajni, a promjene u trendu toplih temperaturnih indeksa su veće od promjena u trendu hladnih indeksa. Trendovi su izraženiji na Jadranu nego u unutrašnjosti, osim u Zagrebu, gdje ih vjerojatno bar djelomično treba pripisati utjecaju toplinskog otoka grada.

Tablica 1-4. Trendovi temperaturnih indeksa (H, Tn10%, Tx10%, T, Tn90% i Tx90%) (broj dana) određenih prema referentnom razdoblju 1961-1990. te srednjaci broja hladnih (H) i toplih (T) dana. Podebljani su trendovi signifikantni na razini 5%.

	Osijek	Zagreb Grič	Gospić	Crikvenica	Hvar
Trend 1901-2000 (dani / 10 god)					
H	+1.1	-0.9	+0.1	-0.7	0.0
Tn10%	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	+0.9
Tx10%	-1.1	-1.4	-0.5	-1.9	-5.4
T	-0.2	0.0	-1.2	+1.0	+2.6
Tn90%	-0.5	+2.7	+0.6	+0.7	-0.8
Tx90%	-0.3	+0.5	-0.1	+1.4	+3.3
Trend 1901-2004 (dani / 10 god)					
H	+1.0	-0.9	+0.1	-0.8	-0.1
Tn10%	-0.4	-2.7	-0.6	-2.9	+0.5
Tx10%	-1.2	-1.7	-0.4	-2.0	-5.2
T	0.0	+0.1	-0.6	+0.1	+2.6
Tn90%	+0.1	+3.2	+1.3	+1.7	+0.4
Tx90%	0.0	+1.2	+1.1	+1.6	+3.8
Trend 1901-2008 (dani / 10 god)					
H	+0.9	-0.1	-0.1	-0.8	-0.1
Tn10%	-0.6	-2.7	-0.8	-2.9	+0.2
Tx10%	-1.2	-1.7	-0.8	-1.9	-5.1
T	0.0	+0.3	-0.4	+1.1	+2.6
Tn90%	+0.6	+3.5	+1.9	+2.2	+1.0
Tx90%	+0.4	+1.8	+1.5	+1.8	+4.1
Srednjak broja dana u razdoblju 1961-1990.					
H	88	60	120	18	5
T	90	61	47	84	110



Slika 1-2. Broj dana s minimalnim (Tn10% - lijevo) i maksimalnim (Tx10% - desno) temperaturama zraka nižim od 10-og percentila, te pripadni binomni klizni srednjaci i trendovi (* - signifikantno na razini $\alpha=0.05$). Razdoblje: 1901-2008.



Slika 1-3. Broj dana s minimalnim (Tn90% - lijevo) i maksimalnim (Tx90% - desno) temperaturama zraka višim od 90-og percentila, te pripadni binomni klizni srednjaci i trendovi (* - signifikantno na razini $\alpha=0.05$). Razdoblje: 1901-2008.

1.2. Oborina

Trend godišnjih količina oborine pokazuje njihovo smanjenje tijekom 20. stoljeća na cijelom području Hrvatske, čime se ono pridružuje tendenciji osušenja na Mediteranu (Slika 1-4 i Tablica 1-5). Jače je izraženo na Jadranu (Crikvenica: -1.8% na 10god, statistički signifikantno i Hvar: -1.2% na 10god), nego u unutrašnjosti (brdsko zaleđe – Gospić: -0.8% na 10god, istočna Slavonija, Osijek: -1.3% na 10god, sjeverozapadna Hrvatska, Zagreb-Grič: -0.3% na 10god). To je rezultat sezonskih trendova oborine, koji su regionalno vrlo različiti. Na području sjevernog Jadrana (Crikvenica) uočeno je smanjenje svih sezonskih količina oborine, najviše izraženo ljeti (-2.7% na 10god), a zatim u proljeće (-2.2% na 10god) i zimi (-1.8% na 10god). Na dalmatinskim otocima (Hvar) smanjenje godišnje količine oborine posljedica je smanjenja zimskih (-2.9% na 10god) i proljetnih (-2.0% na 10god) količina oborine. U gorskom zaleđu (Gospić na ličkoj visoravni) također je najizraženije smanjenje zimskih (-2.7% na 10god) i proljetnih (-2.0% na 10god) količina oborine. Smanjenje godišnje količine oborine na području sjeverno od Save rezultat je smanjenja proljetnih (Osijek: -4.1% na 10god i Zagreb-Grič: -1.1% na 10god) i jesenjih (Osijek: -3.0% na 10god i Zagreb-Grič: -1.4% na 10god) količina oborine.

Dekadni trendovi godišnjih i sezonskih količina oborine prema nizovima podataka produljenim do 2008. godine nisu se značajno promijenili (Tablica 1-5). Manje promjene prisutne su kod Osijeka, gdje se zamjećuje slabljenje negativnog proljetnog trenda oborine, ali on ostaje i dalje statistički značajan, zatim slabljenje negativnog jesenjeg trenda oborine i jačanje pozitivnog ljetnog. Kod Hvara je oslabio negativni proljetni trend oborine.

Količina oborine i na godišnjoj i na sezonskoj skali ima veliku međugodišnju varijabilnost. Stoga, ako se traži položaj 10 najsušnijih godina u promatranom 108-godišnjem razdoblju, uočava se da se one ne javljaju grupirane u nekom razdoblju i da se u posljednjih 18 godina, tj. od početka 1990-ih godina na promatranim lokacijama javlja samo jedna do tri najsušnije godine. 2003. godina je među 10 najsušnijih godina na svim lokacijama. Uz nju u Osijeku se javila i 2000. godina, u Gospiću 2007. i 1994., a na Hvaru 1992. (Tablica 1-6).

Varijabilnost godišnjih količina oborine u razdoblju 1901-2008., izražena vremenskim nizovima koeficijenta varijabilnosti izračunatih za 30-godišnja razdoblja s pomakom od jedne godine, pokazuje smanjenje u Zagrebu, Gospiću i Crikvenici (Slika 1-4 desno). Smanjenje je prisutno i u Osijeku do kraja 20. st., ali godine s početka 21. stoljeća donose povećanje varijabilnosti. U Hvaru je u razdoblju od sredine 20. stoljeća, za koje postoje podaci, prisutno povećanje varijabilnosti.

Promjenu karaktera oborinskog režima, koja može imati za posljedicu smanjenje oborine na području Hrvatske, može pokazati i tendencija učestalosti i intenziteta oborinskih ekstrema definiranih pomoću broja dana u kojima količina oborine R_d prelazi prag (suhi dani, vlažni dani i

vrlo vlažni dani), odnosno dio godišnje količine oborine koja padne za vrlo kišnih dana, godišnje maksimalne 5-dnevne i 1-dnevne količine oborine. Suhi dani su definirani kao dani u kojima je $R_d < 1.0$ mm, vlažni dani imaju $R_d \geq 75$ -om percentilu i vrlo vlažni dani $R_d \geq 95$ -om percentilu dnevnih količina, koji su određeni iz uzorka svih oborinskih dana ($R_d \geq 1.0$ mm) u standardnom referentnom razdoblju 1961-1990.

U razdoblju 1901-2008. prisutan je statistički značajan porast godišnjeg broja suhih dana ($R_d < 1.0$ mm) na cijelom području Hrvatske, uglavnom negativni trend vlažnih dana ($R_d \geq R_{75\%}$), značajan u Osijeku i Crikvenici, dok kod broja vrlo vlažnih dana ($R_d \geq R_{95\%}$) nema promjene (Tablica 1-7). Udio količine oborine, koje padnu u vrlo vlažne dane ($R_{95\%T}$), u ukupnoj godišnjoj količini, gotovo se ne mijenja. Apsolutni godišnji 1-dnevni i 5-dnevni maksimumi pokazuju vrlo veliku međugodišnju varijabilnost, samo sa slabim pozitivnim trendom na dalmatinskim otocima, dok je u unutrašnjosti i na Primorju prisutno smanjenje količina oborine kod jakih oborinskih događaja, statistički značajno za 5-dnevne maksimume u Osijeku (-1.0mm/10god) i 1-dnevne u Gospiću (-1.4mm/10god).

Navedeno ukazuje da u području osušenja kakvo je Hrvatska ne postoji signal velikih promjena u ekstremima koji se odnose na velike količine oborine i učestalost vlažnih i vrlo vlažnih dana u većem dijelu Hrvatske, već da doprinos smanjenju godišnjih količina oborine daju promjene u učestalosti kišnih dana manjeg intenziteta i značajno povećana učestalost suhih dana u cijeloj Hrvatskoj.

Tablica 1-5. Dekadni trendovi količine oborine za godišnja doba i godinu. Podebljani su trendovi signifikantni na razini $\alpha=0.05$.

	Osijek	Zagreb-Grič	Gospić #	Crikvenica	Hvar
Trend količine oborine 1901-2000 (% / 10 god)					
ZIMA	+0.6	-0.3	-2.7	-1.8	-2.9
PROLJEĆE	-4.1	-1.1	-2.0	-2.2	-2.0
LJETO	+0.7	+1.2	+0.9	-2.7	+2.8
JESEN	-3.0	-1.4	+0.1	-0.9	-0.4
GODINA	-1.3	-0.3	-0.8	-1.8	-1.2
Trend količine oborine 1901-2004 (% / 10 god)					
ZIMA	+0.2	-0.4	-2.6	-1.9	-2.4
PROLJEĆE	-3.6	-0.9	-2.0	-2.1	-2.0
LJETO	+0.8	+0.9	-0.1	-3.4	+2.9
JESEN	-1.8	-1.0	+0.6	-0.7	-1.0
GODINA	-1.0	-0.3	-0.8	-1.8	-1.3
Trend količine oborine 1901-2008 (% / 10 god)					
ZIMA	-0.0	-0.4	-2.9	-1.6	-2.9
PROLJEĆE	-3.2	-0.9	-1.8	-1.9	-1.3
LJETO	+1.3	+1.1	+0.1	-2.9	+2.9
JESEN	-2.0	-1.3	-0.2	-1.1	-0.5
GODINA	-0.8	-0.3	-1.0	-1.7	-1.0

od 1924.

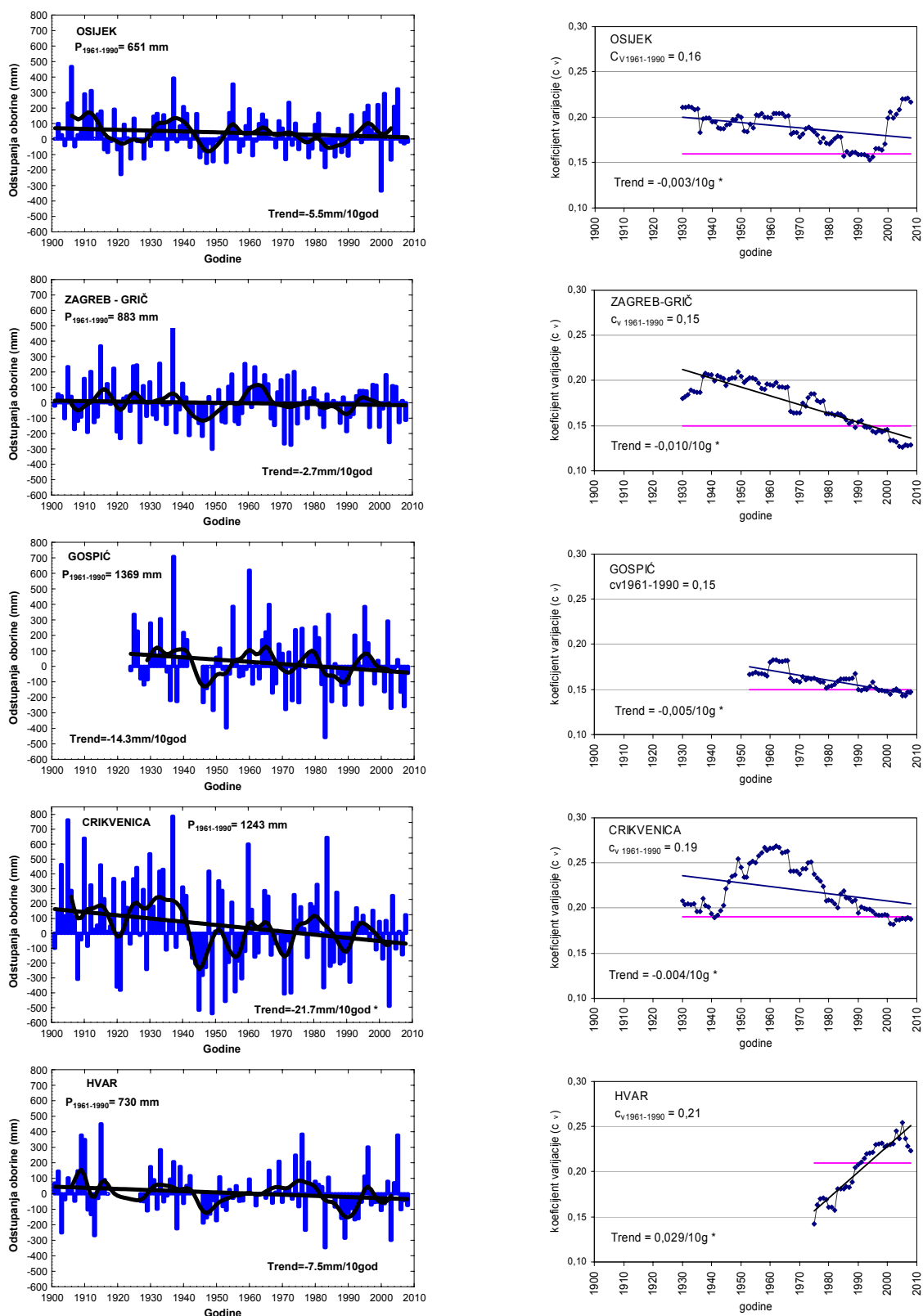
Tablica 1-6. Deset najsušnijih godina. Podebljano su označene godine iz razdoblja 1991-2008.

Osijek		Zagreb-Grič		Gospić #		Crikvenica		Hvar	
god	mm	god	mm	god	mm	god	mm	god	mm
2000	316	1949	581	1983	910	1949	704	1983	384
1921	422	1973	607	1953	973	1945	726	2003	431
1983	467	1971	616	1949	1085	2003	752	1989	444
1947	494	1927	624	1971	1091	1953	786	1913	461
1953	500	2003	624	2003	1099	1971	835	1903	479
1949	505	1921	651	2007	1109	1973	842	1977	496
2003	517	1946	665	1989	1119	1956	850	1938	505
1971	519	1942	671	1994	1121	1921	861	1946	542
1928	522	1938	688	1975	1135	1983	877	1950	557
1924	523	1911	691	1946	1136	1920	882	1992	563

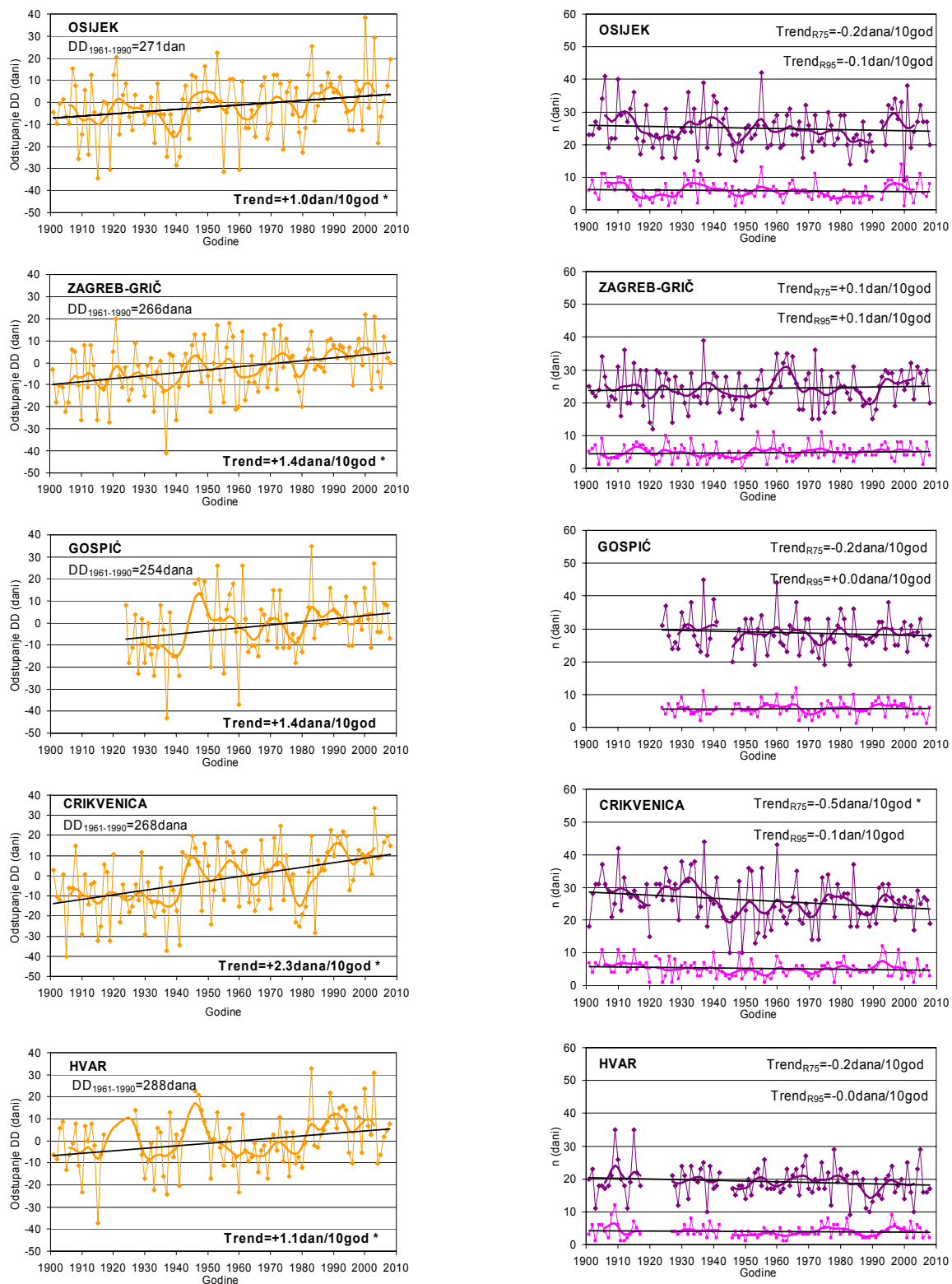
od 1924.

Tablica 1-7. Dekadni trendovi indeksa oborinskih ekstrema (DD – suhi dani, R75% - vlažni dani, R95% - vrlo vlažni dani, R95%T – udio godišnje količine oborine od količina u vrlo vlažnim danima, Rx1d – godišnja maksimalna 1-dnevna količina oborine, Rx5d – godišnja maksimalna 5-dnevna količina oborine). Podebljani su trendovi signifikantni na razini $\alpha=0.05$.

	Osijek	Zagreb-Grič	Gospić #	Crikvenica	Hvar
Trend 1901-2000 (na 10 god)					
DD (dani)	+0.9	+1.5	+1.6	+2.1	+1.1
R75% (dani)	-0.3	+0.0	-0.2	-0.5	-0.3
R95% (dani)	-0.1	+0.1	+0.1	-0.1	-0.0
R95%T (%)	-0.3	+0.4	+0.5	+0.1	+0.3
Rx1d (mm)	-0.4	+0.0	-1.3	+1.4	+0.5
Rx5d (mm)	-2.2	-0.4	-0.3	-2.7	-0.7
Trend 1901-2008 (na 10 god)					
DD (dani)	+1.0	+1.4	+1.4	+2.3	+1.1
R75% (dani)	-0.2	+0.1	-0.2	-0.5	-0.2
R95% (dani)	-0.1	+0.1	+0.0	-0.1	-0.0
R95%T (%)	-0.2	+0.3	+0.1	-0.0	+0.3
Rx1d (mm)	+0.2	-0.2	-1.4	+0.8	+0.9
Rx5d (mm)	-1.0	-0.6	+0.3	-2.4	+0.6
# od 1924.					



Slika 1-4. Vremenski nizovi odstupanja godišnjih količina oborine od srednjaka 1961-1990 (mm), pripadni 11-godišnji binomni klizni srednjaci i trendovi (lijevo), te koeficijenti varijacije godišnjih količina oborine za 30-godišnja razdoblja s korakom od jedne godine i trendovi (desno). (* - trend signifikantan na razini $\alpha=0.05$). Razdoblje: 1901-2008. (Gospić: 1924-2008).



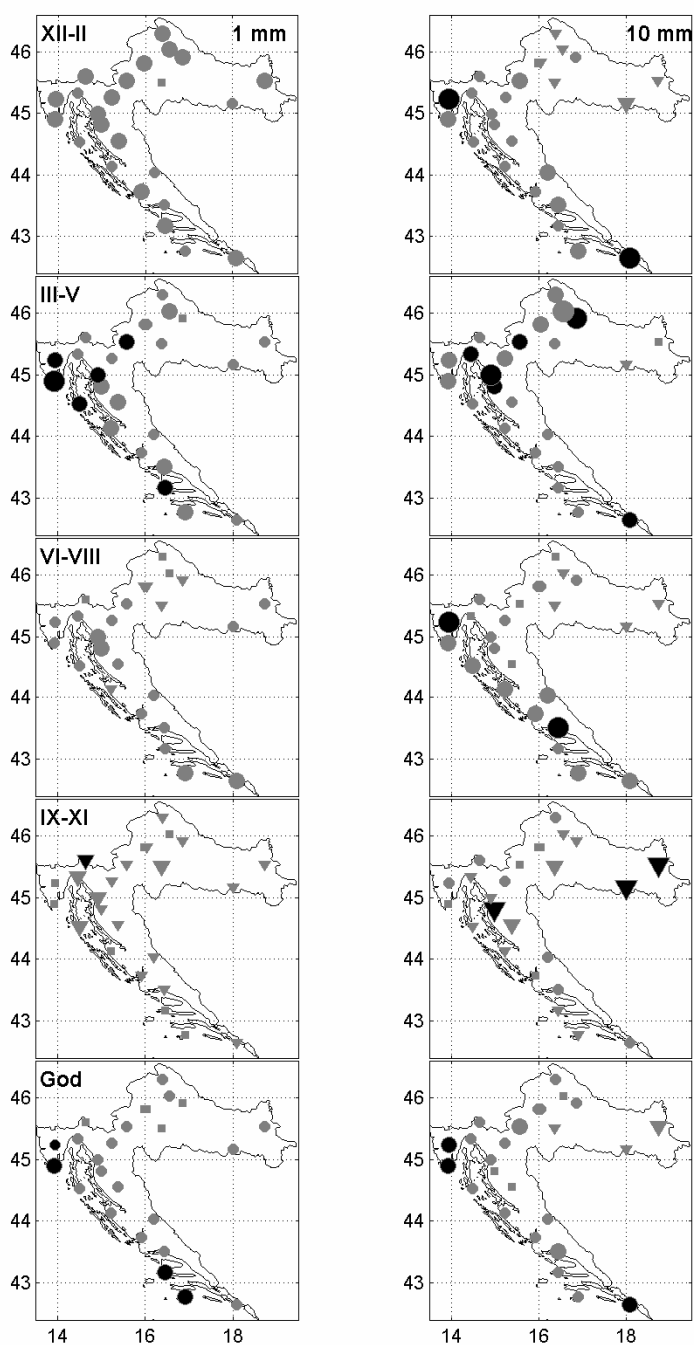
Slika 1-5. Vremenski nizovi odstupanje broja suhih dana od srednjaka 1961-1990. (lijevo) te godišnji brojevi umjerenno vlažnih dana ($R_d > R_{75\%}$ - desno gore) i vrlo vlažnih dana ($R_d > R_{95\%}$ - desno dolje) i pripadni 11-godišnji binomni klizni srednjaci i trendovi (* - signifikantni na razini $\alpha=0.05$). Razdoblje: 1901-2008. (Gospić: 1924-2008).

1.3. Sušna razdoblja

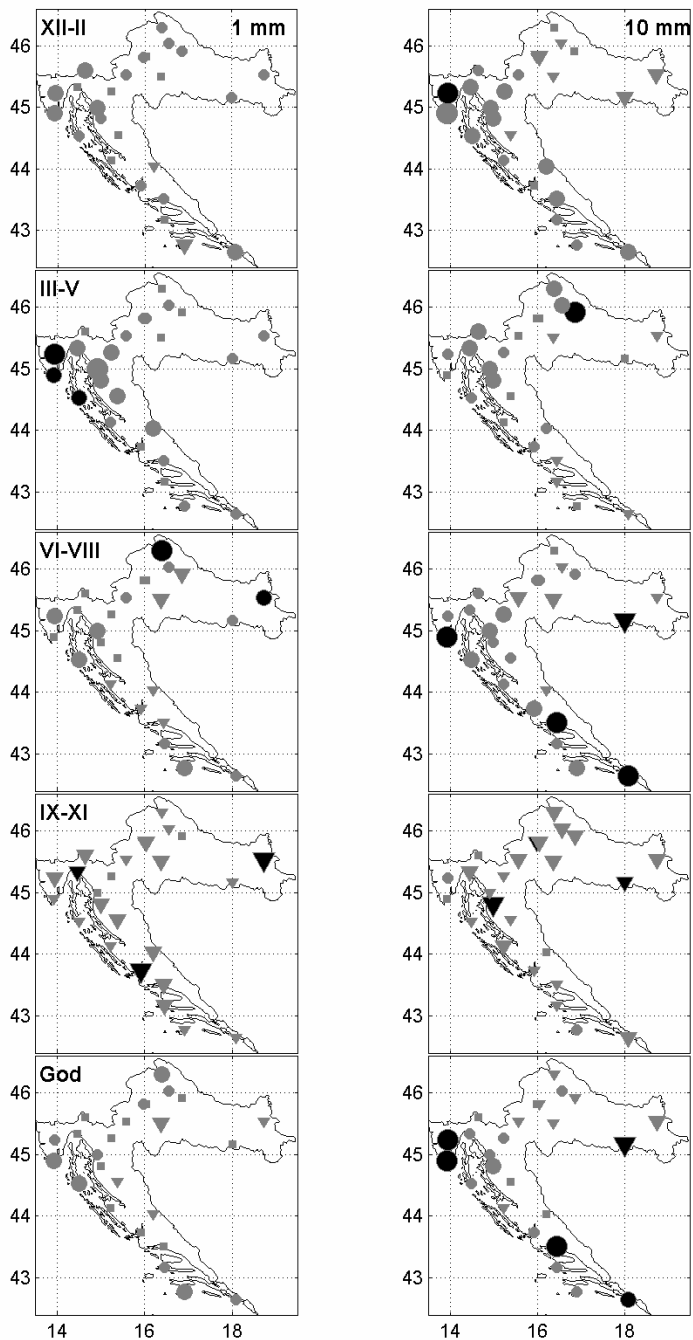
Utvrđen značajan trend porasta broja suhих dana na području Hrvatske, postavlja pitanje učestalosti uzastopno suhих dana. Varijacije sušnih slijedova su utvrđene analizom podataka iz razdoblja 1961-2000. na 25 meteoroloških postaja koje ravnomjerno pokrivaju glavne klimatske zone u Hrvatskoj (kontinentalna, gorska i maritimna). Sušno razdoblje je definirano kao uzastopni slijed dana s dnevnom količinom oborine (R_d) manjom od određenog praga. Analizirana su srednja i maksimalna trajanja sušnih razdoblja po sezonama i za godinu za prag oborine 1 mm i 10 mm. Trend je izražen kao odstupanje po dekadi u odnosu na dugogodišnji srednjak.

Rezultati analize trenda ukazuju na prevladavajući porast srednje godišnje duljine sušnih razdoblja s $R_d < 1 \text{ mm}$ koji je statistički značajan u Istri (5 do 6%/10god) te na južnim otocima (Hvar i Lastovo 5%/10god) (Slika 1-6). Porast sušnih razdoblja na godišnjoj razini rezultat je prevladavajućeg porasta u svim sezonama osim jeseni kada je uočen negativan trend. Najznačajnije promjene zabilježene su u proljeće osobito na Sjevernom Jadranu (8 do 11%/10god). Analiza maksimalnih duljina sušnih razdoblja s $R_d < 1 \text{ mm}$ na godišnjoj razini ne ukazuje na značajan pozitivan ili negativan trend u Hrvatskoj (Slika 1-6). U proljeće prevladava pozitivan trend koji je statistički značajan na Sjevernom Jadranu (9 do 11%/10god) dok je u jesen prevladavajući negativan trend značajan u Rijeci, Šibeniku i Osijeku (9 do 12%/10god).

Analiza godišnjih srednjih duljina sušnih razdoblja za dnevni prag oborine 10 mm ukazuje na prevladavajući pozitivan trend na području Hrvatske, a koji je značajan na području Istre te na području Dubrovnika (6 do 8%/10god) (Slika 1-6). Samo je u nizinskoj Hrvatskoj uočen negativan, ali statistički neznačajan, trend. Statistička značajnost trenda na godišnjoj skali je uglavnom pod utjecajem zimskog i ljetnog značajnog porasta srednjih sušnih razdoblja. Ipak, statistički najznačajniji, pretežito pozitivan trend, uočen je u proljeće dok se u jesen trajanja srednjih sušnih razdoblja s $R_d < 10 \text{ mm}$ smanjuju, naročito na području Slavonije (10 do 11%/10god). Trajanja maksimalnih duljina sušnih razdoblja se na godišnjoj skali povećavaju duž obale (10 do 11 %/10god) dok se u unutrašnjosti smanjuju (8 %/10god) (Slika 1-7). Takvoj godišnjoj slici trenda maksimalnih sušnih razdoblja najviše doprinose ljetne varijacije. Prevladavajući porast sušnih razdoblja na Jadranu te slabo izražen trend u kontinentalnom području doprinose tomu da Hrvatska ostaje u prijelaznom području između opće tendencije porasta oborine u sjevernoj Europi te smanjenja na Mediteranu.



Slika 1-6. Rezultati trenda srednjih sušnih razdoblja za prag oborine 1 mm (lijevi stupac) i 10 mm (desni stupac), za sezone (gornja četiri retka) i godinu (donji redak). Kružići označavaju pozitivan, trokuti negativan trend, a podebljani simboli označavaju statistički signifikantan trend. Veličina simbola je proporcionalna apsolutnom iznosu trenda u odnosu na srednjak: 1-5%/10god, 5-10%/10god te veći od 10%. Kvadratići označavaju trend između +/- 1%/10god.



Slika 1-7. Rezultati trenda za maksimalne duljine sušnih razdoblja za prag oborine 1 mm (lijevi stupac) i 10 mm (desni stupac), za sezone (gornja četiri retka) i godinu (donji redak). Kružići označavaju pozitivan, trokuti negativan trend, a podebljani simboli označavaju statistički signifikantan trend. Veličina simbola je proporcionalna apsolutnom iznosu trenda u odnosu na srednjak: 1-5%/10god, 5-10%/10god te veći od 10%. Kvadratići označavaju trend između +/- 1%/10god.

LITERATURA:

- Anagnostopoulou C, Maheras P, Karacostas T, Vafiadis M (2003) Spatial and temporal analysis of dry spells in Greece. *Theor Appl Climatol* 74: 77-91
- Cindrić, K. (2006): The statistical analysis of wet and dry spells in Croatia by binary DARMA (1,1) model. *Hrv. meteor čas.*, 41, 43-51
- Cindrić K. (2006) The statistical analysis of wet and dry days by binary DARMA (1,1) model in Split, Croatia. BALWOIS – Conference on Water observation and Information System for Decision Support, 23-26.5.2006., Ohrid, Macedonia, Ministry of Education and Science of Republic of Macedonia: A-239.
- Cindrić, K., Pasarić, Z., Gajić-Čapka, M. (2009) Spatial and temporal analysis of dry spells in Croatia. *Theor Appl Climatol* (predano)
- Gajić-Čapka M (2006) Trends in indices of precipitation extremes in Croatia, 1901-2004 Sixth European Conference on Applied Climatology (ECAC), Ljubljana, Slovenia, 4-8 September 2006, Abstracts, A-00471
- Gilbert RO (1987) *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. John Wiley & Sons, Inc., New York
- Juras J, Jurčec V (1976) The statistical analysis of dry and wet spells by the application of Markov chain probability model (in Croatian). *Papers, RHMZ Hrvatske*, 13: 59-98
- 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
- Lana X, Martinez M D, and Burgueno A, Serra C, Martin-Vide and Gomez L (2008) Spatial and temporal patterns of dry spell lengths in the Iberian Peninsula for the second half of the twentieth century. *Theor Appl Climatol* 91: 99-116
- Meehl, GA, Stocker TF, Collins WD, Friedlingstein P, Gaye AT, Gregory JM, Kitoh A, Knutti R, Murphy JM, Noda A, Raper SCB, Watterson IG, Weaver AJ, Zhao Z-C (2007) Global Climate Projections. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Peterson, T. et al, 2001: Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs, WCDMP - No. 47
- Sen PK (1968) Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *J Am Stat Assoc* 63: 1379-1389
- Serra C, Burgueno A, Martinez MD and Lana X (2006) Trends in dry spells across Catalonia (NE Spain) during the second half of the 20th century. *Theor Appl Climatol*, 85: 165-183
- Schmidli J, Frei C (2005) Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century. *Int J Climatol* 25: 753-771
- WMO, 2004: Report of the CCI/CLIVAR expert team on climate change detection, monitoring and indices (ETCCDMI), WCDMP - No. 54.

Zaninović, K., 2006: Trends in indices of temperature extremes in Croatia, 1901-2004, Sixth European Conference on Applied Climatology (ECAC), Ljubljana, Slovenia, 4-8 September 2006, CD, Abstracts, A-00470

Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M. et al, 2008: Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961-1990., 1971-2000. Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 200 str.

2. Scenarij klimatskih promjena

2.1. Uvod

2.1.1 Općenito

Informacija o globalnoj klimatskoj promjeni srednjaka nekog klimatološkog parametra, primjerice temperature, nije dostatna za procjenu klimatske promjene na regionalnoj ili lokalnoj razini. Intenzitet lokalne klimatske promjene se, zbog specifične geografske širine, topografskih obilježja, raspodjele kopna i mora, itd., može razlikovati od promjene globalnog srednjaka. Međutim, lokalnu promjenu klime valja promatrati kao posljedicu globalne promjene koja je modulirana lokalnim utjecajima. U ovom izvješću prikazani su rezultati dinamičke prilagodbe (*downscaling*) regionalnim klimatskim modelom za dva 30-godišnja razdoblja koja opisuju klimu 20. stoljeća i buduću klimu iz 21. stoljeća prema A2 scenariju IPCC-ja (Intergovernmental Panel on Climate Change).

Metodom dinamičke prilagodbe se izlazni rezultati globalnog klimatskog modela prilagođavaju manjem području uz pomoć regionalnog klimatskog modela. Dakle, rezultati klimatskih promjena se s relativno grube rezolucije (recimo 200-300 km) prilagođavaju finijoj prostornoj rezoluciji (20-50 km). Ovdje se, međutim, ne radi o matematičkoj ekstrapolaciji s grube na finu mrežu - regionalni modeli definiraju "svoje" hidro- i termo-dinamičke procese na manjim skalama koji se prilagođavaju prisilnom djelovanju rubnih uvjeta izvedenim iz globalnog modela. Na taj način postiže se dinamička konzistentnost u modeliranoj atmosferi. Dinamičkom prilagodbom bolje su predstavljene prostorne varijacije klimatskih parametara na manjim skalama, osobito ekstremni događaji čiji je intenzitet u globalnim modelima obično umanjen zato što najmanja prostorna podjela (*grid box*) od nekoliko stotina kilometara može obuhvatiti cijelu razmatranu regiju. Alternativni pristup dinamičkoj prilagodbi su statističke metode prilagodbe, ali one izostavljaju dinamičku vezu globalne i regionalne skale.

U postupku dinamičke prilagodbe valja imati na umu da regionalni klimatski modeli, iako definirani za manje područje i finiju rezoluciju ne mogu popraviti eventualne loše rezultate globalnih modela. Dakako, vrijedi i obrat – dinamička prilagodba lošim regionalnim klimatskim modelom ne može biti bolja od simulacije globalnim modelom bez obzira na poboljšanje rezolucije. Drugim riječima, kvaliteta rezultata dinamičke prilagodbe ovisi kako o kvaliteti regionalnog modela koji se koristi u dinamičkoj prilagodbi tako i o kvaliteti rezultata globalnog modela.

Važno je napomenuti kako ne treba očekivati da će rezultati regionalnog klimatskog modela vjerno opisati podatke mjerenja i motrenja na regionalnoj (lokalnoj) skali. Dakako, poželjno je da razlika između rezultata modela i mjerenja bude što manja, ali, obzirom da svaki

model daje samo aproksimaciju stvarnog stanja atmosfere, on neizbježno sadrži pogreške u opisu tog stanja. Prema tome, dobar model je onaj u kojem su (sistematske) greške relativno male. Nakon usporedbe rezultata modela s mjerenjima, kojom utvrđujemo klimatološko "stanje" atmosfere 20. stoljeća onako kako ga prikazuje model, analizirane su razlike između buduće klime modela i klime 20. stoljeća. Ovakve razlike prvenstveno ukazuju na kvalitativnu procjenu promjene klime. Zbog niza neizvjesnosti i nesigurnosti, kvantitativne procjene promjene klime valja prihvatiti obazrivo, ali one su ipak nužne kako bi se mogle poduzeti konkretne mjere u prilagodbi i ublažavanju efekata promjene klime. Primjerice, jedna od ključnih neizvjesnosti u klimatskim promjenama je sama definicija pojedinih budućih scenarija kako ih je dao IPCC (vidjeti poglavlje 2.1.4). Ova neizvjesnost nije posljedica nerazumijevanja klimatskog sustava, nego činjenice da se aktivnosti čovječanstva i njihov mogući utjecaj na buduću klimu moraju promatrati kroz vrlo kompleksne i donekle nepredvidive interakcije.

2.1.2 Globalni model, regionalni model i dinamička prilagodba

Dinamička prilagodba primijenjena je na rezultate globalnog modela EH5OM, koji je uključen u Četvrto izvješće (AR4) IPCC-ja. EH5OM je združeni atmosfersko-oceanski model razvijen u Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg, Njemačka. Detalji EH5OM modela dani su u Roeckner i sur. (2003). Simulacija klime 20. stoljeća EH5OM modelom provedena je za tri različite realizacije koje se međusobno razlikuju u definiciji početnih uvjeta. Na ovaj način je u simulacije klime uključena osjetljivost klimatskog modela na početne uvjete, a koja je posljedica nelinearnosti klimatskog sustava. Za buduću klimu prema A2 scenariju također su dostupne tri realizacije, dakle, svaka realizacije buduće klime nastavak je realizacije sadašnje klime.

IPCC scenariji (vidjeti Nakićenović i sur. 2000) definiraju opće pretpostavke koje bi klimatski modeli trebali uvažiti za neko buduće razdoblje, naravno, nakon što su one prilagođene prikazu u modelu. IPCC A2 scenarij daje do 2100. godine procjenu porasta globalne populacije na 15 milijardi, umjeren ekonomski rast, vrlo visoku potrošnju primarne energije, varijabilnu potrošnju ugljikovodika (plin, nafta, ugljen), te umjerenom do znatno korištenje obradivog zemljišta. Ovakve projekcije zatim su prilagođene modelu kao koncentracije plinova staklenika i ozona. A2 scenarij se još naziva i scenarijem jakog prisilnog djelovanja jer predviđa najnepovoljnije prilike koje bi mogle zadesiti okoliš - dakle mogli bismo reći da se radi o gornjoj granici antropogenog utjecaja na atmosferu i klimu u ovome stoljeću.

Za ovo izvješće korišteni su podaci dinamičke prilagodbe dobiveni regionalnim klimatskim modelom, Regional Climate Model treće generacije (RegCM3). RegCM su razvili Dickinson i sur. (1989) i Giorgi (1990). Detaljan opis ove verzije modela dan je u Pal i sur. (2007). Na raspolaganju su različite postavke za korištenje modela, a u našim eksperimentima

primijenjena je Grell-ova schema za konvekciju (Grell 1993) s Fritsch-Chappel zatvaranjem (Fritsch i Chappel, 1980). Horizontalna rezolucija je 35 km u području sa 126 X 88 računskih točaka centriranom na 46°N, 7.5°E tako da pokriva središnju i južnu Europu i veći dio Sredozemlja. Po vertikali model ima 23 nivoa, a najviši nivo je na 100 hPa. Frekvencija rubnih graničnih uvjeta preuzetih iz EH5OM modela jest svakih 6 sati. Dinamička prilagodba RegCM modelom učinjena je za sve tri realizacije EH5OM globalnog modela za klimu 20. stoljeća i za buduću klimu prema IPCC scenariju A2.

2.1.3 Izbor razdoblja i sezona

U analizi klimatskih promjena korišteni su sezonski srednjaci za sve klimatološke sezone, dok su za visinska polja pokazani rezultati samo za zimu i ljeto. Zimski sezonski srednjak izračunat je za razdoblje prosinac-siječanj-veljača (DJF), proljetni za ožujak-travanj-svibanj (MAM), itd. Uspoređene su srednje vrijednosti 30-godišnjeg razdoblja buduće klime (2041-2070) sa srednjacima 30-godišnjeg razdoblja klime 20. stoljeća (1961-1990). Za svaki klimatološki parametar i sezonu izračunata je statistička signifikantnost promjene vrijednosti srednjaka između buduće klime i klime 20. stoljeća. Ona se osniva na testu nul-hipoteze da se srednje vrijednosti "populacijâ" buduće i sadašnje klime ne razlikuju. Uobičajeno je da se nul-hipoteza prihvaća ili odbacuje na 95%-noj razini povjerenja. Pored srednjaka, izračunata je i međugodišnja varijabilnost parametara unutar svakog 30-godišnjeg razdoblja. Promjena varijabilnosti, izražena je kao razlika standardnih devijacija buduće klime i klime 20. stoljeća, koje su izračunate iz sve tri realizacije modela. Iz promjene srednjaka i varijabilnosti, može se indirektno procijeniti promjena ekstremnih vrijednosti promatranog parametra.

2.1.4 Nesigurnost (neizvjesnost) u klimatskom modeliranju

Važan aspekt u analizi klimatskih promjena jest ocjena o neizvjesnosti ili nesigurnosti u procjeni buduće promjene klime, osobito na regionalnoj skali, jer ona može utjecati na planiranje prilagodbe klimatskim promjenama. Nesigurnost u procjeni buduće klime može se pripisati ovim faktorima: prvo, nesigurnost zbog svojstvene (unutarnje) varijabilnosti klimatskog sustava; drugo, nesigurnost u definiranju budućih klimatskih scenarija; i treće, nesigurnost modela, odnosno u modeliranju klime i klimatskih promjena zbog aproksimativnog prikaza nekih atmosferskih i oceanskih procesa. Relativna važnost svakog od navedenih faktora varira o tome koliko daleko sežemo u budućnost, te o prostornim i vremenskim skalama osrednjavanja (Hawkins i Sutton 2009). Primjerice na regionalnoj razini, za multi-dekadske vremenske skale dominantan izvor nesigurnosti jesu nesigurnost u modeliranju i nesigurnost scenarija. Za manje vremenske skale glavni uzrok nesigurnosti su model i svojstvena varijabilnost klimatskog sustava. U ovom izvješću nije dana eksplicitna procjena nesigurnosti klimatskih integracija

regionalnim modelom. Međutim, neki rezultati uspoređeni su s rezultatima globalnog modela, te se na taj način može donekle ocijeniti u kojoj mjeri nesigurnost procjene klimatskih promjena proizlazi iz različitih pristupa modeliranju.

2.2. Visinska polja

Klimatske promjene u cirkulaciji velikih razmjera, analizirane iz globalnog klimatskog modela EH5OM prikazane su i diskutirane u, primjerice, Branković i sur. (2009). Ovdje ćemo ukratko ponoviti neke od općih značajki globalnih promjena, jer se diskusija klimatskih promjena za šire područje Hrvatske ne može promatrati odvojeno od globalnih promjena. Usporedba s rezultatima EH5OM klimatskog modela je primjerena, jer upravo su ti rezultati korišteni za definiranje početnih i rubnih uvjeta u dinamičkoj prilagodbi RegCM modelom.

Globalno zagrijavanje u EH5OM modelu relativno je uniformno u višoj troposferi i povezano je s jačanjem zapadnog visinskog vjetra u jezgri mlazne struje. Najveći porast prizemne temperature u Europi je zimi u sjeveroistočnom dijelu (preko 3 °C), dok je u ljeti iznad južne Europe i Sredozemlja veći od 3.5 °C. Amplituda zagrijavanja veća je od sistematske greške modela, a rasap unutar tri realizacije modela je puno manji od amplitude klimatske promjene – sve ovo podupire značaj procjene buduće promjene temperature. Međutim, ovakav zaključak ne vrijedi za oborinu što ukazuje na veću neizvjesnost u procjeni buduće hidrološke bilance.

I u regionalnom modelu RegCM u budućoj klimi, sredinom 21. stoljeća, doći će, sukladno globalnim promjenama, do porasta temperature zraka, odnosno zagrijavanja kroz cijelu dubinu troposfere (Sl. 2-1). U južnoj Europi i Sredozemlju zagrijavanje je veće ljeti nego zimi, a najveću međusezonsku razliku nalazimo u području jugozapadne Europe. U ljeti se na izobarnoj plohi 850 hPa (T850, na oko 1.5 km visine) jasno razabiru Sredozemlje i južna Europa (osobito Iberijski poluotok) s izraženijim zagrijavanjem nego u ostalim područjima iz integracijske domene (Sl. 2-1d). U zimi je porast manje-više sličan kroz čitavu troposferu, a u ljeti je zagrijavanje nešto veće u nižim nego u višim slojevima. Promjene, odnosno razlike, između buduće i klime 20. stoljeća na Sl. 2-1 statistički su signifikantne čak i za 99%-nu razinu povjerenja u praktički čitavoj domeni integracije.

Sukladno porastu temperature, kroz čitavu troposferu doći će i do porasta geopotencijala. Meridionalni gradijenti u polju razlika temperature na 200 hPa (Sl. 2-1 a,b) ukazuju da će u obje sezone u budućoj klimi doći do jačanja visinskog vjetra iznad Europe. Pojačani visinski vjetar u zimi zahvatit će praktički cijelu Europu, a najviše njezin zapadni dio s Atlantikom (nije pokazano). I ove su promjene statistički signifikantne u gotovo čitavoj domeni integracije. Slične prilike, ali s manjom amplitudom porasta vjetra, nalazimo i u nižim slojevima

troposfere. Pinto i sur. (2007) povezuju ovakvo pojačano strujanje u Atlantskoj putanji oluja u zimskom razdoblju s povećanom ciklonalnom aktivnošću u budućoj klimi. Ljeti je jačanje visinskog vjetra izraženije u sjevernom dijelu domene, a iznad naših krajeva ojačat će sjeverna komponenta vjetra, premda će i dalje prevladavati vjetar zapadnog smjera.

2.3. Prizemna polja

2.3.1 Temperatura na 2 m (T2m)

U svim sezonama doći će do povećanja temperature na 2 m (Sl. 2-2), koje je statistički signifikantno čak i za 99%-nu razinu povjerenja. Međutim, zagrijavanje europskog kontinenta nije istovjetno tijekom godine. Primjerice, u zimi i u proljeće zagrijavanje je veće u sjeveroistočnom dijelu Europe nego na Sredozemlju (Sl. 2-2 a,b). Ovakav oblik diferencijalnog polja T2m odražava se i na Hrvatsku, gdje je zimsko povećanje temperature nešto veće u sjevernim (do otprilike 1.8 °C), a manje u južnim dijelovima zemlje (oko 1.5 °C; Sl. 2-2a). Procjena zagrijavanja u budućoj klimi prikazana na Sl. 2-2a manja je u prosjeku za oko 0.5-1.0 stupanj od procjene dobivene globalnim modelom EH5OM (Branković i sur. 2009). U proljeće je porast temperature relativno uniforman kroz čitavu Hrvatsku (Sl. 2-2b), te je s iznosom od oko 1.5 °C vrlo sličan zimskom zagrijavanju.

U ljeto i u jesen zagrijavanje je izraženije u južnoj Europi i duž obalnog dijela Sredozemlja (Sl. 2-2 c,d), te znatno nadmašuje zagrijavanje iz hladnijeg dijela godine. Primjerice, nad Iberijskim poluotokom amplituda ljeti prelazi čak 4 °C, dok je u našim krajevima zagrijavanje između 2 °C u sjevernom pa sve do skoro 3 °C u južnom dijelu Hrvatske. U jesen će porast T2m biti između 1.5 °C u većem dijelu unutrašnjosti Hrvatske i malo iznad 2 °C u primorskom pojasu, te u Istri i unutrašnjosti Dalmacije. Zagrijavanje ljeti je u našim krajevima (Sl. 2-2c), slično zimskom razdoblju, manje za otprilike 1 °C nego u EH5OM globalnom modelu. Razlike između globalnog i regionalnog modela u budućem zagrijavanju T2m mogu biti posljedica više faktora, odnosno kombinacije različitih faktora. Vjerojatno najveći uzrok razlika među modelima su različito definirane parametrizacije koje opisuju nerazlučive fizikalne procese. No isto tako razlike se mogu pripisati i detaljnijem (boljem) razlučivanju orografije u regionalnom modelu.

Prikazano zagrijavanje izračunato je kao srednja vrijednost ansambla, dakle iz tri realizacije RegCM-om, tako da ima dostatnu težinu. Za razliku od srednjaka ansambla, promjena međugodišnje varijabilnosti temperature pri tlu, izražena standardnom devijacijom, ukazuje na samo manji porast varijabilnosti temperature u budućoj klimi (nije pokazano). Standardna devijacija T2m maksimalno iznosi nešto više od 0.3 °C ljeti u istočnoj i južnoj Hrvatskoj - dakle, manja je za red veličine od srednjih vrijednosti sa Sl. 2-2. U jesen i zimu

promjena varijabilnosti još je manja, dok je u proljeće praktički nema. Ovakav rezultat ukazuje da će u budućoj klimi međugodišnja varijacija ekstremne temperature (obično kvantificirana kao zbroj srednjaka i međugodišnje varijacije) uglavnom ovisiti o promjeni/povećanju srednje temperature, a znatno će manje ovisiti o varijaciji temperature iz godine u godinu. Do sličnog zaključka došao je i Räisänen (2002) analizirajući rezultate na globalnoj razini iz 19 globalnih modela.

Povećana koncentracija plinova staklenika prema A2 scenariju prouzročit će dakle sredinom ovog stoljeća relativno jače zagrijavanje prizemne atmosfere ljeti, što može imati negativan utjecaj na ljudske aktivnosti i zdravlje (vidjeti na pr. Srnec i Zaninović 2008). No globalno zagrijavanje ne mora imati štetne posljedice ako se poduzmu adekvatne mjere prilagodbe. Viša prosječna temperatura u proljeće može prouzročiti raniji početak vegetacijskog razdoblja, dok bi viša temperatura u jesen mogla značiti, primjerice, dulju turističku sezonu na Jadranu. Međutim, isto tako pozitivne posljedice u jednoj sezoni mogu biti "neutralizirane" negativnim posljedicama u drugoj sezoni (primjerice, eventualno smanjenje potrošnje energije za zagrijavanje zimi nadoknađuje se porastom energije za rashlađivanje ljeti).

2.3.2 Prizemni tlak i vjetar

Porast geopotencijala u zimskoj sezoni iznad južne Europe odražava se i u porastu srednjeg prizemnog tlaka u budućoj klimi (nije prikazano). Za južnu Hrvatsku porast tlaka je statistički signifikantan, ali ne i za ostale predjele. Ova tendencija k povišenom tlaku zimi može za posljedicu imati povećanje učestalosti anticiklonalnih tipova vremena. S povećanjem tlaka u sezonskom srednjaku doći će i do povećanja međugodišnje varijabilnosti. U ljeti će naši krajevi biti u području relativno neznatne promjene srednjeg tlaka – tlak će biti nešto veći u sjevernim predjelima, a malo niži u južnoj Hrvatskoj. Međutim, bez obzira na malu amplitudu promjene, sniženje tlaka u južnoj Hrvatskoj je statistički signifikantno. Dakle, srednji i južni Jadran bit će izloženi povećanom ciklonalnom djelovanju ljeti, što će uzrokovati učestalije nestabilne tipove vremena.

U 2.2. poglavlju ustvrđeno je kako će u budućoj klimi, povezano s jačanjem strujanja u Atlantskoj putanji oluja, doći do jačanja, osobito zimi, zapadnih visinskih vjetrova u slobodnoj atmosferi iznad sjeverozapadne Europe. Slično vrijedi i za vjetar na 10 m visine (prizemni vjetar), gdje se u zimi zamjećuje jačanje vjetra sjeverno od Alpa te slabljenje na južnim obroncima (Sl. 2-3a). Iznad naših krajeva diferencijalni će vjetar (razlika između srednjeg vjetra u budućoj klimi i srednjeg vjetra u klimi 20. stoljeća) u prosjeku zadržati sličnu jačinu kao u 20. stoljeću, ali će malo zakrenuti u smjeru sjeveroistoka, odnosno dobit će nešto ojačanu jugozapadnu komponentu. Takav diferencijalni prizemni vjetar donijet će nad naše krajeve nešto

povećanu vlagu iz zapadnog Sredozemlja i Jadrana (nije pokazano), što će se odraziti na manje povećanje zimske oborine u primorskim i gorskim krajevima (vidjeti Sl. 2-4a).

U proljeće i jesen prizemni će vjetar ostati nepromijenjen u budućoj klimi, dok će u ljeto ojačati sjeveroistočna komponenta (Sl. 2-3b). Obzirom na tako ojačani smjer iz unutrašnjosti Balkanskog poluotoka, gdje je ljeti u prizemnom sloju manja vlažnost nego nad Jadranom, ova promjena budućeg prizemnog vjetra povezana je sa smanjenjem oborine, osobito u obalnom području Hrvatske (usporediti sa Sl. 2-4c).

2.3.3 Oborina

Na regionalnoj i lokalnoj skali oborina može imati veliku prostornu varijabilnost čak i u klimatološkom srednjaku. To prvenstveno ovisi o fizičkim osobinama podloge - nadmorskoj visini i razvedenosti reljefa. Ova svojstva bolje su prikazana u regionalnim nego u globalnim modelima, pa je za očekivati da će i prikaz oborine biti bolji. No, pored prikaza oborine, bolje razlučena orografija adekvatnije utječe i na same fizikalne procese – primjerice, u aktiviranju ljetne konvekcije.

(i) Ukupna oborina

Promjena ukupne oborine u budućoj klimi u odnosu na klimu 20. stoljeća prikazana je na Sl. 2-4 za sve četiri sezone. Struktura promjene – povećanje buduće ukupne oborine u sjevernoj, a smanjenje u južnoj Europi – slična je u svim sezonama i vezana je uz putanju olujnih poremećaja s Atlantika na europski kontinent. Granica promjene (povećanja oborine) pomaknuta je prema sjeveru u ljetnoj sezoni jer se putanje oluja tada nalaze sjevernije. Giorgi i Coppola (2007) uočili su ovakvu “tranziciju” klimatske promjene u polju oborine tijekom godine analizirajući rezultate iz 22 globalna klimatska modela. Očito, naši rezultati regionalne prilagodbe imaju dosta sličnosti s globalnim modelima.

Za Hrvatsku se na Sl. 2-4 razabire smanjenje ukupne oborine u tri sezone (proljeće, ljeto i jesen), prvenstveno u priobalnoj, južnoj i gorskoj Hrvatskoj. Ovo smanjenje uglavnom je manje od 0.5 mm dan^{-1} (ili 45 mm u sezoni), osim u jesen u južnim dijelovima kad je nešto veće od 0.5 mm dan^{-1} . Jedino će u zimi (Sl. 2-4a) doći do manjeg porasta oborine, prvenstveno u primorskom i u uskom gorskom dijelu Hrvatske, a moguć je i mali porast u sjevernom i istočnom dijelu.

Promjena ukupne količine oborine, osobito u zimu i proljeće (Sl. 2-4 a,b), koncentrirana je u relativno uskom pojasu duž Jadrana, dok nad većim dijelom Jadranskog mora nema promjene ukupne oborine ili je ona mala. Imajući u vidu vrlo kompleksnu orografiju naše obale Jadrana (strmo izdizanje visokih planina), ovakva struktura promjene u polju oborine (uska i

duguljasta) ukazuje na potrebu dinamičke prilagodbe RegCM modelom s još većom horizontalnom rezolucijom od sadašnjih 35 km.

Ljeti je *relativno* smanjenje ukupne oborine uz istočnu obalu Jadrana i njezinu unutrašnjost veće nego u proljeće i jesen jer je tada ukupna oborina najmanja. Za veći dio naše Jadranske obale i njezinu unutrašnjost relativno smanjenje ukupne oborine ljeti je ponegdje i preko 20%, a u jesen i proljeće deficit je manji od 15%. To je indirektno potvrđeno na Sl. 2-5 gdje osjenčana područja t-testa pokazuju značajnost promjene ukupne količine oborine za 95%-nu razinu povjerenja. Ljeti je smanjenje količine ukupne oborine duž čitave istočne obale Jadrana i u neposrednoj unutrašnjosti statistički značajno (Sl. 2-5c), dok je u proljeće (Sl. 2-5b) i jesen (Sl. 2-5d) smanjenje oborine u budućoj klimi značajno samo u južnom dijelu istočne obale Jadrana. Zanimljivo je primijetiti da povećanje oborine zimi nije značajno. Mogli bismo dakle zaključiti da će u budućoj klimi u većem dijelu godine u zapadnoj i južnoj Hrvatskoj doći do deficita oborine, dok povećanje u zimi nije sasvim pouzdano. U sjevernim dijelovima zemlje neće doći do veće promjene ukupne količine oborine u budućoj klimi. Promjena međugodišnje varijacije oborine, opisana tzv. koeficijentom varijacije, ukazuje na povećanje varijabilnosti u budućoj klimi. Ona je uglavnom izraženija u području Sredozemlja (najviše ljeti, a najmanje zimi), te je vrlo slaba sjeverno od 45 °N (nije prikazano).

Usporedba klimatskih promjena u ukupnoj oborini sa Sl. 2-4 s rezultatima globalnog modela daje sljedeće: oblik polja anomalija na Sl. 2-4 općenito se podudara s onima iz globalnog modela (usporediti s Giorgi i Coppola, 2007, te Branković i sur. 2009), međutim na Sl. 2-4 očiti su detalji na finijoj skali koji se ne zamjećuju u globalnom modelu. U zimi je amplituda pozitivne anomalije (povećanje ukupne oborine) u primorskoj Hrvatskoj nešto veća u RegCM-u (Sl. 2-4a) nego u globalnom modelu, gdje je rezultat uglavnom neutralan. Ljeti je pak u RegCM-u smanjenje ukupne količine oborine nešto izraženije u primorskoj Hrvatskoj i njezinu zaleđu, dok je u globalnom modelu izraženije u sjevernoj Hrvatskoj. Dakle, rezultate modelâ treba interpretirati obazrivo jer mogu pokazati i oprečne efekte, osobito u analizi na manjim skalama (vidjeti komentar u točki 2.1.4).

(ii) Snijeg

Za očekivati je da će uz globalno zatopljenje, odnosno osjetan porast temperature zimi (Sl. 2-2a), doći i do promjene u pokrivenosti (rasprostranjenosti) i visini snježnog pokrivača u Europi. Najveće smanjenje u budućoj klimi, više od 30 mm (ali manje od 50 mm) ekvivalentne vode, nalazimo u području Alpa (Sl. 2-6a). I u drugim planinskim predjelima srednje i južne Europe (Karpati, planine Balkana, Pirineji) doći će do redukcije snježnog pokrivača, ali također i u nizinama Njemačke, Poljske i Rusije. U našim krajevima smanjenje je od 1 mm u sjevernoj Hrvatskoj do nešto više od 2 mm u gorskim predjelima. Premda se, primjerice u usporedbi s

Alpama, ova redukcija snježnog pokrivača u nas čini zanemarivom, u relativnim razmjerima ona je itekako značajna. Osim u sjeverozapadnoj Hrvatskoj i Istri, smanjenje snježnog pokrivača sredinom ovog stoljeća je statistički signifikantno (Sl. 2-6b). Apsolutnim smanjenjem snježnog pokrivača općenito će doći i do smanjenja međugodišnje varijabilnosti (nije prikazano); jedino u krajevima s relativno manjom redukcijom snijega, primjerice Panonska nizina, varijabilnost će se malo povećati.

Iz rezultata RegCM modela izračunat je broj dana sa snježnim pokrivačem za klimu 20. stoljeća i uspoređen s podacima postaja u Hrvatskoj (Sl. 2-6c). Rezultati modela podcjenjuju podatke motrenja jer model nije u mogućnosti razlučiti horizontalne i vertikalne skale klimatoloških postaja. Primjerice, izolinija koja pokazuje 15 dana sa snijegom pozicionirana je tako da na sjeveru graniči s Gorskim Kotarom, dok već podaci Siska i Slavenskog Broda daju 21 i 20 dana sa snijegom. Na jugu je ta izolinija pomaknuta previše u unutrašnjost zbog neadekvatnog prikaza vrlo oštrog gradijenta u broju dana sa snijegom između primorske i gorske Hrvatske. Tu se osobito ističe Zavižan na sjevernom Velebitu s 39 dana sa snijegom. Međutim, ovdje je relevantnija relativna promjena broja dana sa snijegom u budućoj klimi u odnosu na klimu 20. stoljeća (Sl. 2-6d). Broj dana sa snijegom u budućoj klimi osjetno je smanjen, a u mnogim predjelima i prepolovljen u odnosu na 20. stoljeće. Bez obzira na grešku u prikazu sadašnje klime, ovo smanjenje je itekako važan indikator onoga što treba očekivati sredinom ovog stoljeća.

2.3.4 Neke signifikantne ili ekstremne pojave

Kao za dane sa snijegom (Sl. 2-6 c,d), razmotrit ćemo sličnu statistiku za neke klimatološke parametre koji opisuju signifikantne ili ekstremne vrijednosti prizemne atmosfere (temperatura i oborina). Za klimatološke postaje mnogi ekstremi obrađeni su i prikazani u Zaninović i sur. (2008). Sl. 2-7a prikazuje usporedbu podataka postaja i regionalnog modela za vruće dane ljeti, kad je maksimalna temperatura veća ili jednaka 30 °C. Premda model općenito podcjenjuje broj vrućih dana, ipak su rezultati modela za mnoga područja prihvatljivi. Broj vrućih dana u modelu povećava se od brdsko-planinskih krajeva zapadnog Balkana sjeverno prema Panonskoj nizini, te prema Jadranskom priobalju. Najveće neslaganje nalazimo za postaju Knin gdje je broj izmjerenih vrućih dana (37) najveći u Hrvatskoj i daleko nadmašuje vrijednost u modelu (4). Orografija modela, koja je na lokaciji Knina znatno viša nego u stvarnosti, utječe na smanjenje temperature općenito, pa tako i na čestinu vrućih dana. Također, i vegetacijski pokrov može imati važan utjecaj na temperaturu. Naime, u modelu je u svakoj najmanjoj horizontalnoj podjeli (*grid box*) predstavljen samo jedan (obično prevladavajući) tip vegetacije, dok u stvarnosti na području od 35 x 35 km možemo naći razne tipove vegetacije. Općenito, manjkavosti i

aproksimacije u modelu daju svoj doprinos razlikama između mjerenih (opaženih) vrijednosti i simulirane klime.

Razlika između buduće klime i klime 20. stoljeća ukazuje na porast broja vrućih dana; u mnogim će krajevima sredinom ovog stoljeća doći do udvostručenja broja vrućih dana. Primjerice, povećanje će biti od 6 dana u gorskim predjelima do gotovo drastičnih 20 dana na Jadranu (Sl. 2-7b). Ovo povećanje broja vrućih dana moglo bi imati veliki utjecaj na socio-ekonomske prilike u širem području južne Europe i Sredozemlja.

Prosječan broj zimskih dana s oborinom većom od 10 mm prikazan je na Sl. 2-7c. Za veći dio Hrvatske, osobito sjeverni dio, model relativno uspješno simulira ovu vrstu statistike, čak i neke detalje kao što je primjerice smanjenje oborine u Zadru i Splitu u odnosu na okolna područja. U gorskoj Hrvatskoj (Parg, Ogulin) oborina u modelu je podcijenjena, dok je u unutrašnjosti Dalmacije (Knin) i u južnoj Hrvatskoj (Dubrovnik) precijenjena. Za potonje, ovo je najvjerojatnije posljedica više orografije južne Hrvatske u modelu od stvarne. I ovdje se može reći, slično kao i za ukupnu oborinu, da je na iznimno orografski kompleksnom području primorske Hrvatske vrlo teško reproducirati modelom detaljnu prostornu varijaciju promatranog broja dana.

U budućoj klimi doći će u zimi u većem dijelu priobalne Hrvatske i njezinom zaleđu do porasta prosječnog broja dana s oborinom većom od 10 mm – od 0.5 do 1 dan (Sl. 2-7d). Ovakva promjena konzistentna je s rezultatima na Sl. 2-4a, koja pokazuje kako će u priobalnom dijelu Hrvatske u zimi doći do porasta ukupne oborine. Prema Sl. 2-7d jedino će na južno-dalmatinskim otocima broj dana s oborinom većom od 10 mm ostati neizmijenjen ili nešto smanjen u odnosu na klimu 20. stoljeća.

U ljetnim mjesecima model općenito podcijenjuje broj dana s oborinom većom od 10 mm (nije prikazano), vjerojatno zbog pluskovite naravi ljetne oborine čiju je količinu relativno teško reproducirati. Međutim, konzistentno sa Sl. 2-4c, u budućoj klimi se broj dana s ovako signifikantnom oborinom u priobalnom dijelu i zaleđu smanjuje (za više od 1.2 dana), dok će u kontinentalnoj Hrvatskoj biti u manjem porastu.

2.4. Zaključci

Rezultati integracija regionalnog klimatskog modela RegCM analizirani su za sve sezone iz dva 30-godišnja razdoblja: 1961-1990, koje predstavlja sadašnju klimu, te 2041-2070, koje predstavlja projekciju buduće klime prema A2 scenariju IPCC-ja. Usporedbom klimatoloških srednjaka iz oba razdoblja moguće je zaključiti o eventualnim promjenama klime u integracijskoj domeni regionalnog modela. Promjene klimatoloških srednjaka testirane su objektivnom statističkom metodom. Također su uspoređene i međugodišnje varijacije nekih meteoroloških

parametara unutar danih razdoblja iz kojih se može zaključiti o promjeni varijabilnosti buduće klime u odnosu na sadašnju.

U svim sezonama RegCM predviđa povećanje temperature u čitavoj domeni integracije, te kroz čitavu dubinu atmosfere modela. U hladnijem dijelu godine zagrijavanje će biti nešto veće u sjevernoj (kontinentalnoj) Hrvatskoj, dok će u toplijem razdoblju zagrijavanje biti veće u primorskom dijelu Hrvatske. Zagrijavanje u RegCM integracijama u skladu je s zagrijavanjem u globalnom modelu EH5OM čiji su podaci korišteni za forsiranje RegCM-a kroz početne i rubne uvjete; međutim, amplituda zagrijavanja općenito je nešto manje u RegCM-u nego u EH5OM modelu.

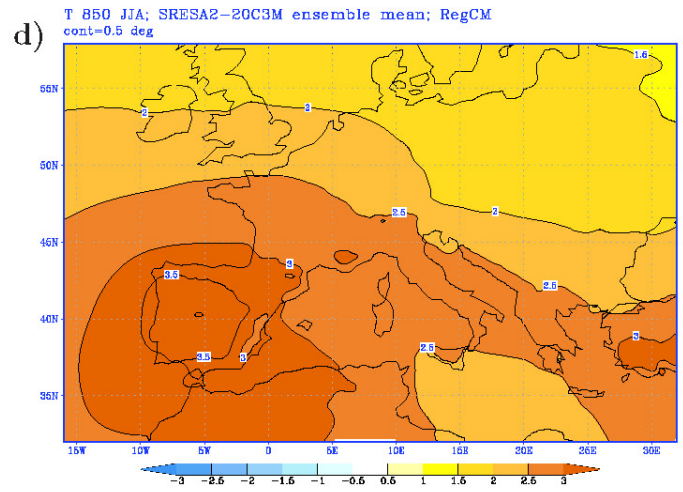
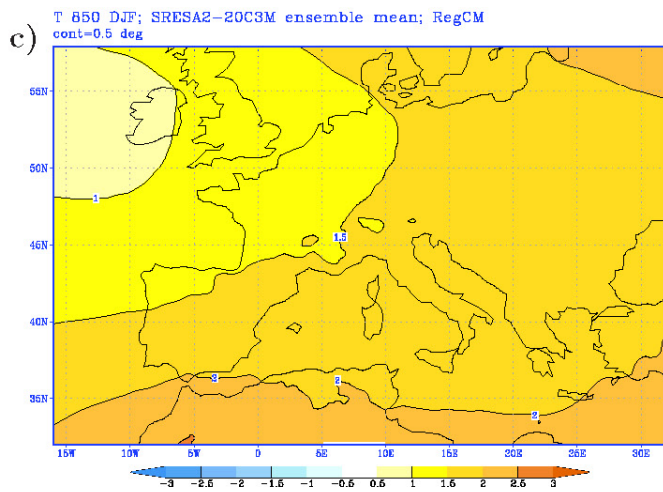
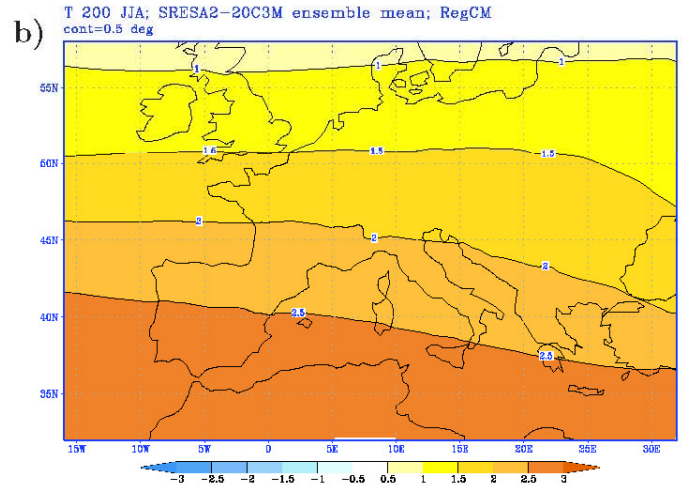
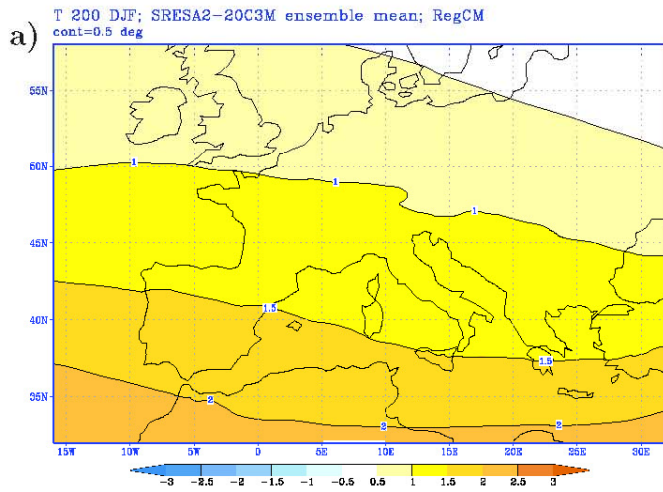
Smanjenje ukupne količine oborine očekuje se u većem dijelu godine, prvenstveno u primorskom dijelu Hrvatske i neposrednom zaleđu. Premda ne i najizraženije, ovo smanjenje oborine je u relativnom smislu najveće ljeti zbog izraženog klimatološkog minimuma u godišnjem hodu ukupne količine oborine u ovom dijelu Hrvatske. U zimi bi došlo do manjeg povećanja oborine, ponovno u uskom primorskom pojasu, ali to povećanje nije statistički signifikantno. U sjevernoj Hrvatskoj ne očekuje se značajnija promjena oborine u budućoj klimi.

Analiza modeliranog broja dana za neke signifikantne i ekstremne pojave (broj dana sa snijegom, vrućih dana i dana s oborinom većom od 10 mm) za klimu 20. stoljeća uglavnom se dobro slaže s podacima motrenja i mjerenja, premda ne i u svim detaljima - najveće razlike uzrokovane su neadekvatnom reprezentacijom orografije, bez obzira što regionalni model ima relativno dobru horizontalnu rezoluciju. Buduće promjene ukazuju na smanjenje prosječnog broja dana sa snijegom, na povećanje broja vrućih dana, te na manje povećanje broja dana sa signifikantnom oborinom u zimi. Ova statistika dobro se podudara s rezultatima promjene srednjaka prizemne temperature i ukupne oborine.

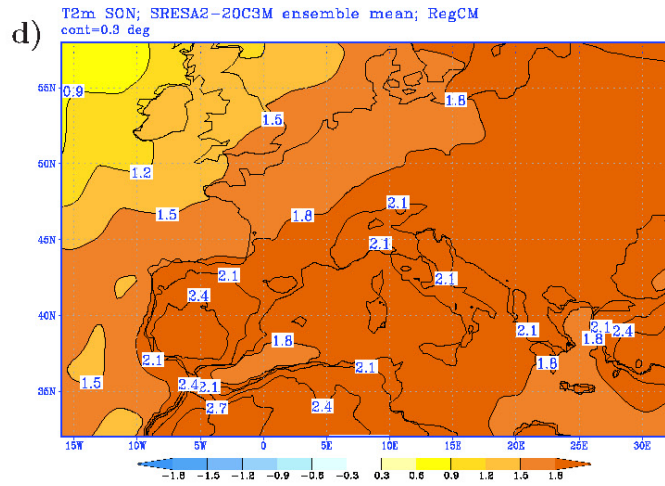
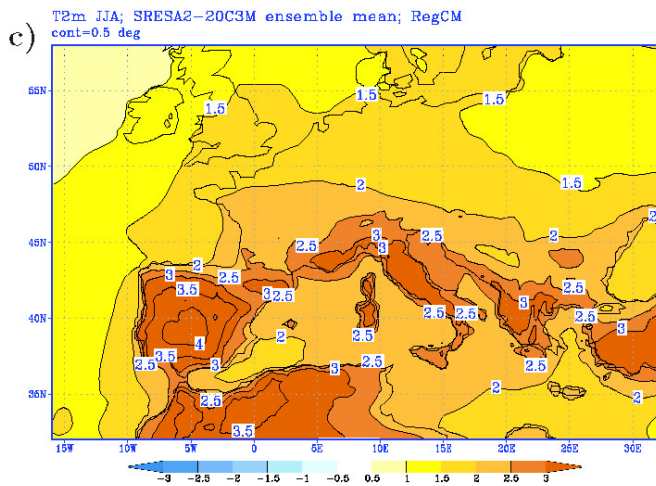
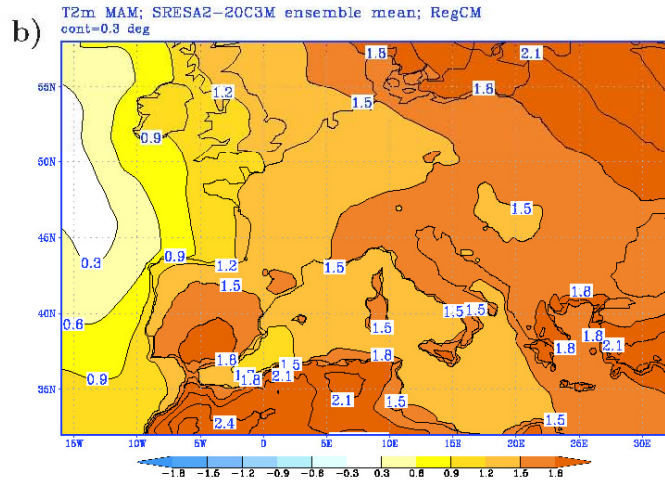
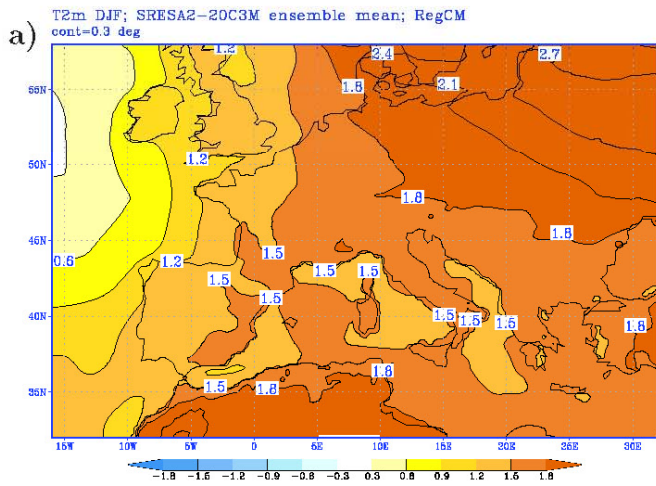
LITERATURA:

- Branković Č., Srnc L., Patarčić M. (2009): An assessment of global and regional climate change based on the EH5OM climate model ensemble. *Climatic Change* (u tisku, DOI 10.1007/s10584-009-9731-y).
- Dickinson, R.E., Errico R.M., Giorgi F. i Bates G.T. (1989): A regional climate model for the western United States. *Climatic Change*, 15, 383-422.
- Fritsch, J.M. i Chappel C.F. (1980): Numerical prediction of convectively driven mesoscale pressure systems. Part I: Convective parameterization. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 37, 1722-1733.
- 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., Coppola E. (2007): European climate-change oscillation. *Geophysical Research Letters*, 34: L21703, doi: 10.1029/2007GL031223.
- Grell, G.A. (1993): Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. *Monthly Weather Review*, 121, 764-787.
- Hawkins, E., Sutton R. (2009): The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90, 1095-1107.
- Nakićenović N. i 27 suradnika (2000): *Special report on emission scenarios*. A special report of Working Group III of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, pp 599.

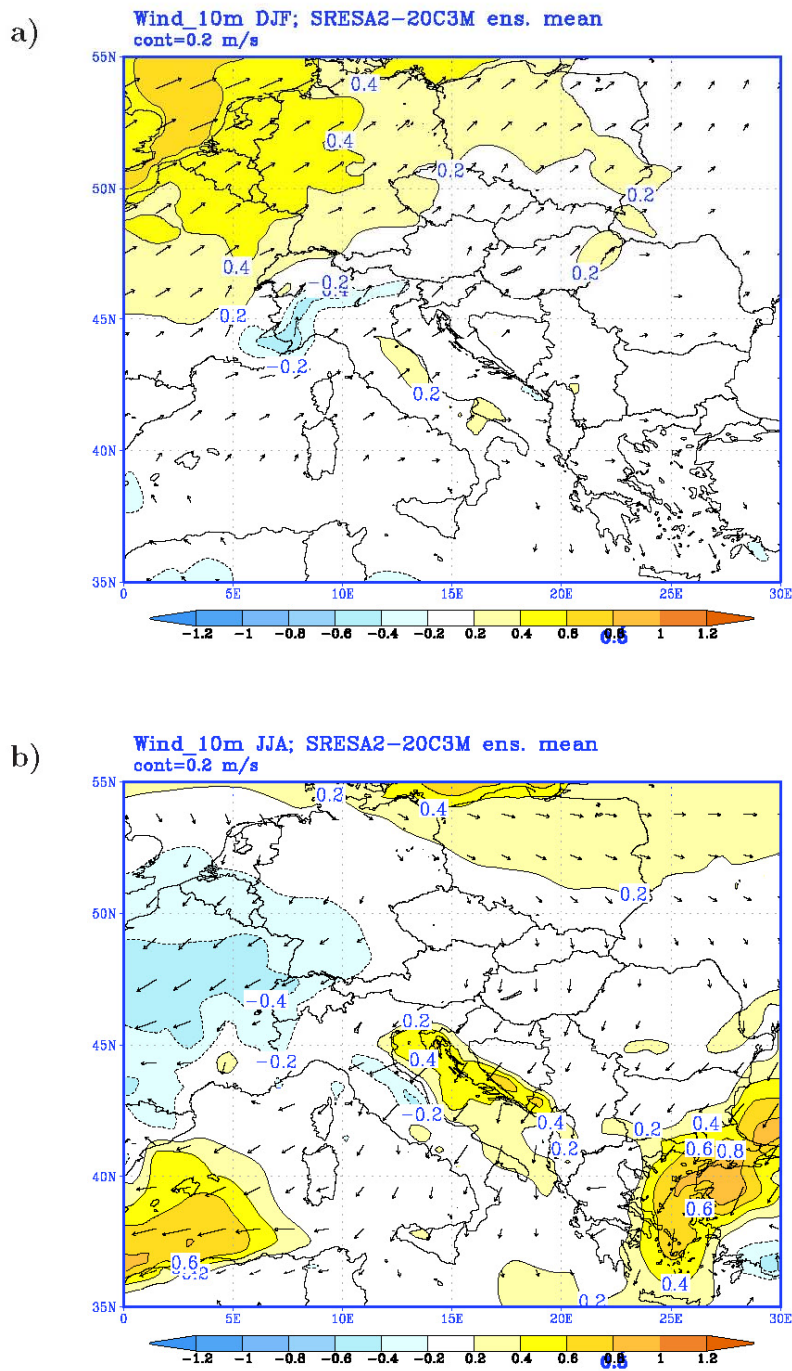
- Pal, J. i 19 suradnika (2007): Regional climate modeling for the developing world. The ICTP RegCM3 and RegCNET. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88, 1395-1409.
- Pinto J.G., Ulbrich U., Leckebusch G.C., Spanghel T., Reyers M., Zacharias S. (2007): Changes in storm track and cyclone activity in three SRES ensemble experiments with the ECHAM5/MPI-OM1 GCM. *Climate Dynamics* 29: 195-210
- Roeckner E. i 13 suradnika (2003): The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part I: Model description. Max-Planck Institute for Meteorology Rep. 349, Hamburg, 127 pp.
- Räisänen J. (2002): CO₂-induced changes in interannual temperature and precipitation variability in 19 CMIP2 experiments. *Journal of Climate*, 15: 2395-2411
- Srnec L., Zaninović K. (2008): The summer bioclimatic conditions at the Adriatic coast in 21st century. *18th International Congress on Biometeorology*. 22-26 September, 2008. Tokyo, Japan.
- Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M. et al, 2008: Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961-1990., 1971-2000. Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 200 str.



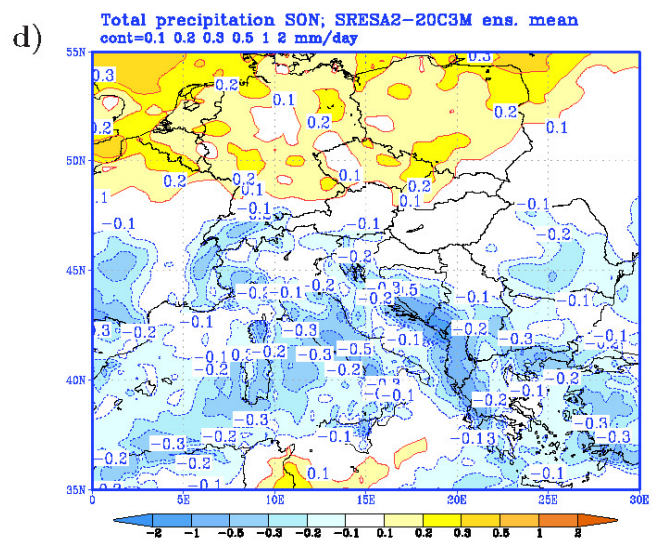
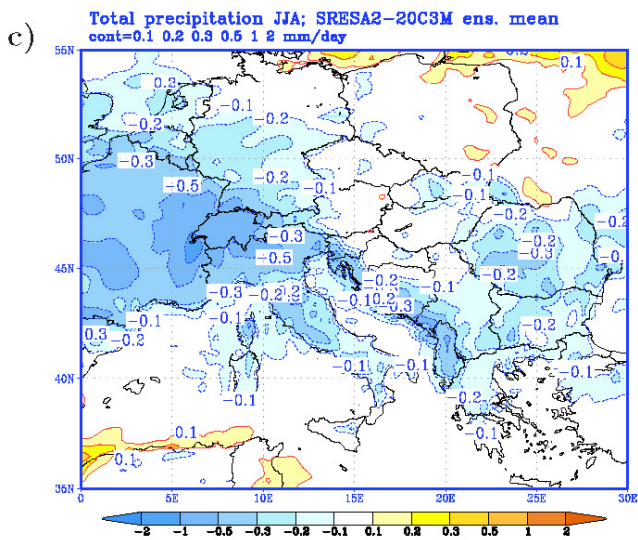
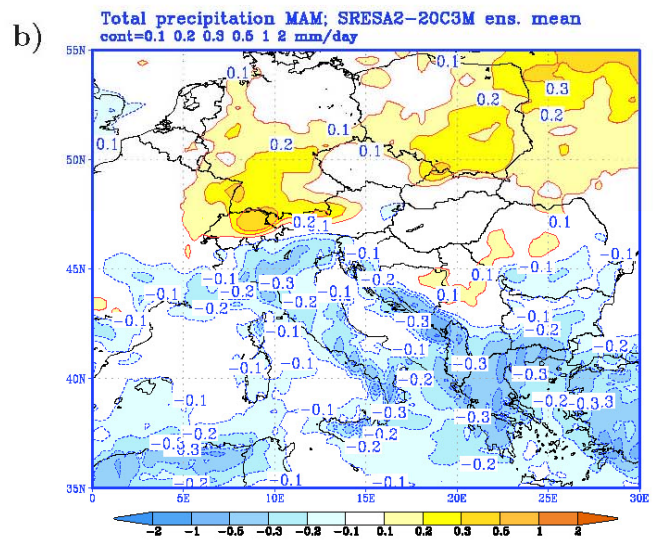
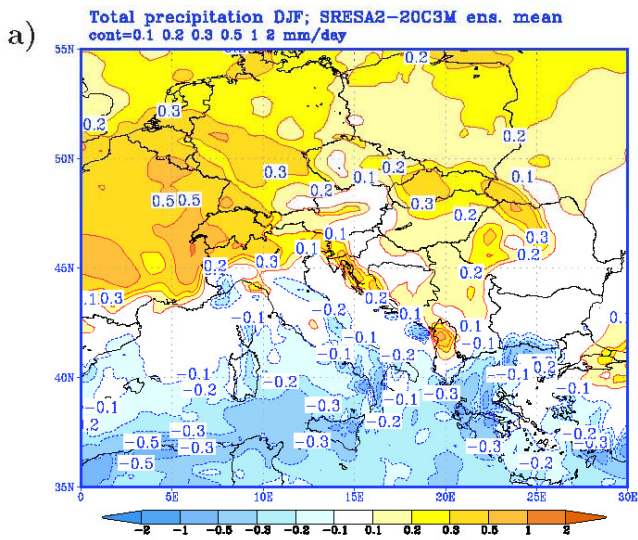
Sl. 1 Visinska temperatura, buduća klima minus klima 20. stoljeća: a) zima 200 hPa, b) ljeto 200 hPa, c) zima 850 hPa, d) ljeto 850 hPa. Izolinije svakih 0.5 stupnjeva.



SI. 2 Temperatura na 2 m, buduća klima minus klima 20. stoljeća: a) zima, b) proljeće, c) ljeto, d) jesen. Izolinije svakih 0.3 stupnja u a), b), i d), te svakih 0.5 stupnjeva u c).

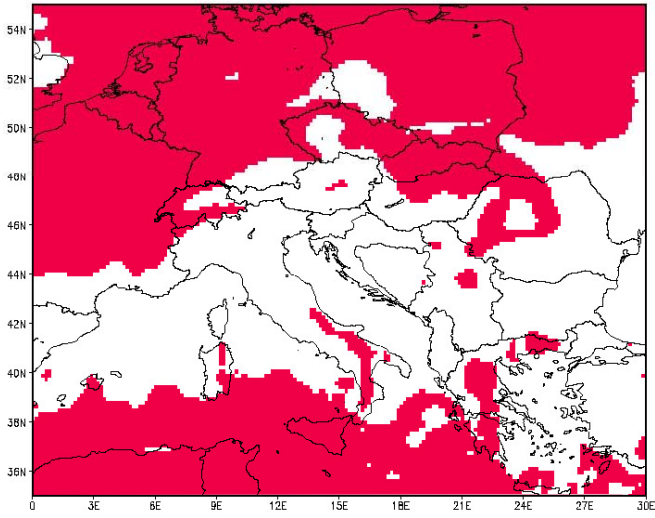


Sl. 3 Vjetar na 10 m, buduća klima minus klima 20. stoljeća: a) zima, b) ljeto. Izolinije svakih 0.2 m/s.

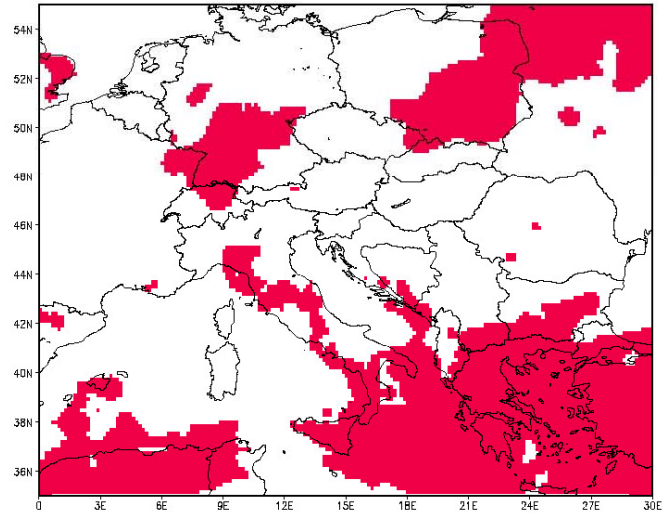


Sl. 4 Ukupna oborina, buduća klima minus klima 20. stoljeća: a) zima, b) proljeće, c) ljetno, d) jesen. Izolinije 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1, 2 mm/dan; pozitivne vrijednosti pune linije, negativne vrijednosti crtkane linije.

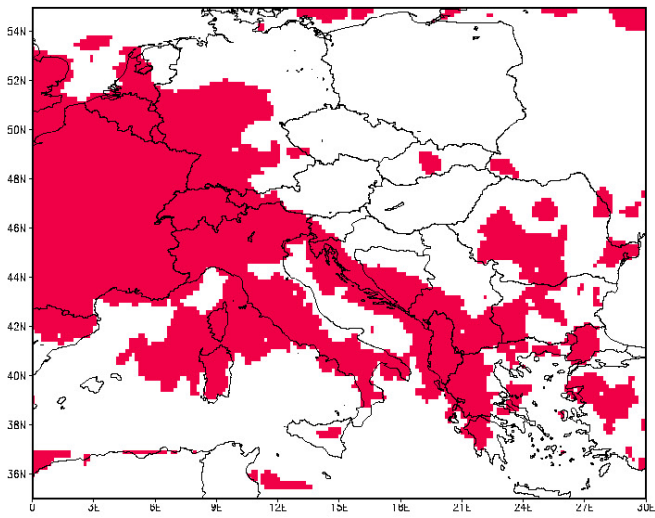
a) Total precipitation; DJF; t95 t-statistics SRESA2 vs. 20C3M climate



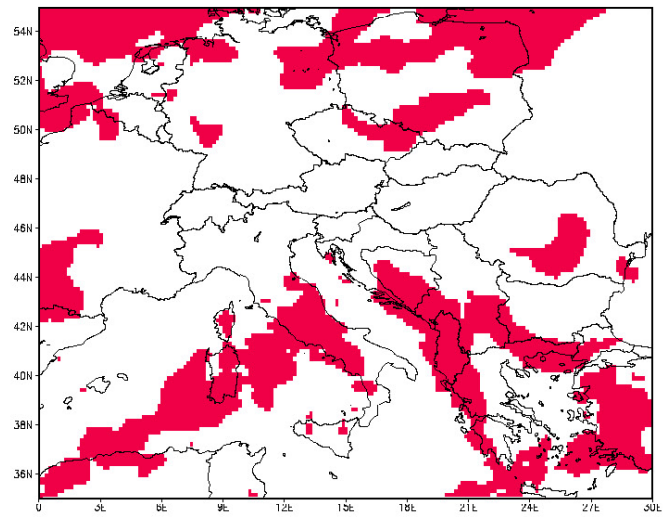
b) Total precipitation; MAM; t95 t-statistics SRESA2 vs. 20C3M climate



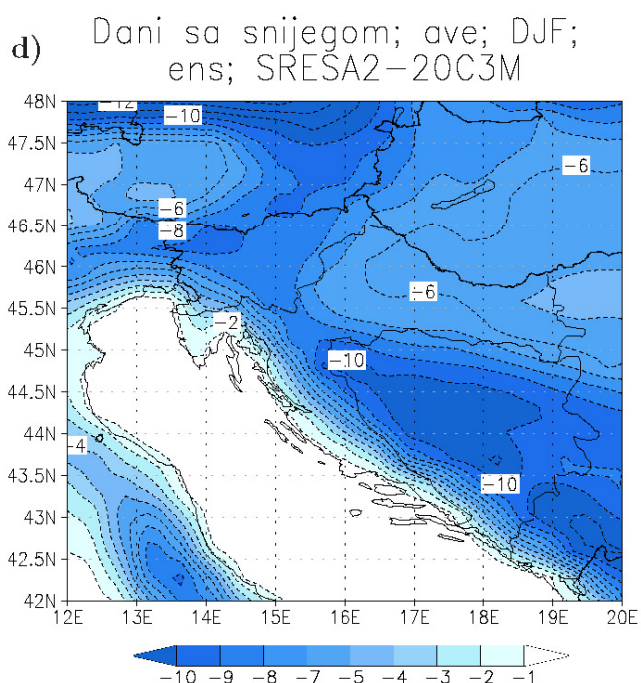
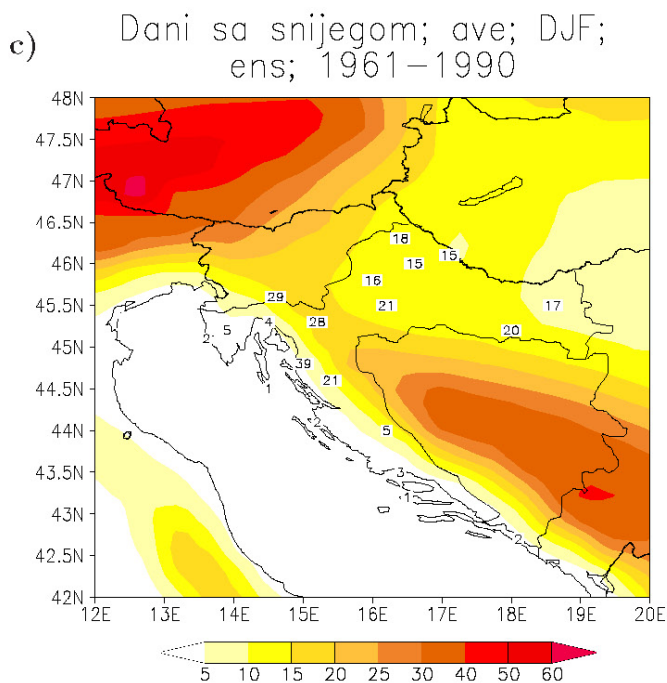
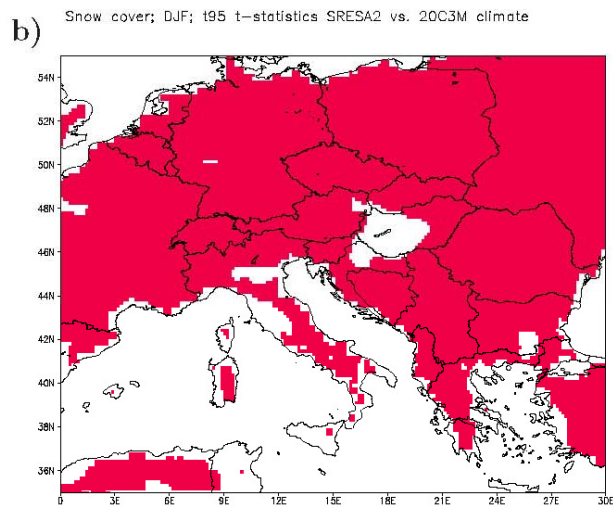
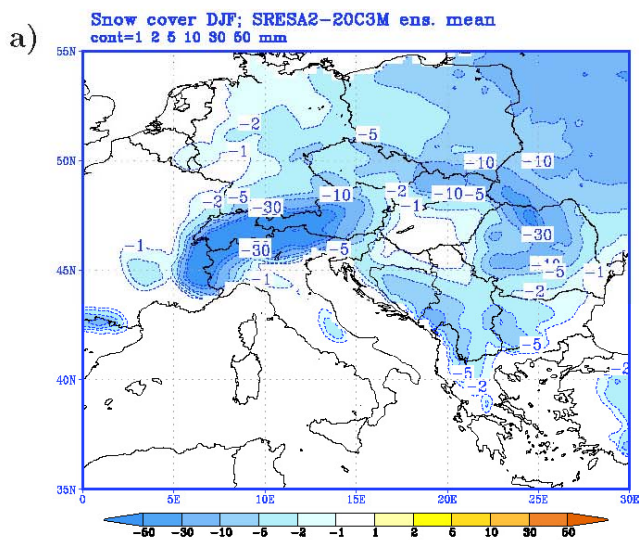
c) Total precipitation; JJA; t95 t-statistics SRESA2 vs. 20C3M climate



d) Total precipitation; SON; t95 t-statistics SRESA2 vs. 20C3M climate



Sl. 5 t-test signifikantnosti razlika u ukupnoj oborini, buduća klima minus klima 20. stoljeća za 95%-nu razinu povjerenja: a) zima, b) proljeće, c) ljeto, d) jesen.



Sl. 6 Snijeg u zimi, buduća klima minus klima 20. stoljeća: a) razlika srednjaka, b) t-test signifikantnosti razlike srednjaka za 95%-nu razinu povjerenja. Srednji broj dana sa snijegom u zimi c) model i klimatološke postaje za razdoblje 1961-1990, d) promjena broja dana buduća klima minus klima 20. stoljeća. Izolinije u a) 1, 2, 5, 10, 30, 50 mm ekvivalentne vode. Izolinije u c) 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 dana, u d) 1 dan.

3. Utjecaj klimatskih varijacija i promjena na biljke i na opasnost od šumskih požara

3.1. Utjecaj klimatskih varijacija i promjena na biljke

Kroz Zemljinu povijest bilo je razdoblja kada je klima bila toplija, ali i vlažnija, te je tada biljni svijet doživio najveću rasprostranjenost i bujnost. U budućnosti klimatske promjene mogle bi izazvati promjene biljnih vrsta te se na nekim područjima predviđaju pustinje, a na drugim, staništa bujne vegetacije, koja to danas nisu. Takve promjene već su zamijećene širenjem borealnih šuma, ali i širenjem žitnih područja, sve više prema sjeveru. To pokazuje koliko je biljni svijet ovisan o vremensko-klimatskim prilikama, ali i da svaka promjena u ekosustavu prvo utječe na vegetaciju. Istraživanje utjecaja klimatskih promjena na biljke zasniva se na ideji da biljke prve reagiraju na vremenske i klimatske promjene, a u tu svrhu su pogodni fenološki podaci kojima se prate razvojne faze određenih biljnih vrsta.

Fenologija je znanost koja proučava zakonitosti periodičnih pojava u razvoju biljaka od početka do završetka vegetacijskog razdoblja (fitofenologija) kao i pojedine faze ponašanja životinja (zoofenologija). Međutim, budući da se fitofenologija razvila u znatnijoj mjeri nego zoofenologija, pod fenološkim opažanjem najčešće se podrazumijeva samo praćenje razvojnih ili fenoloških faza biljaka. Prate se sljedeće biljne vrste: divlje zeljasto bilje, šumsko drveće i grmlje, livadsko bilje, ratarske kulture, voćke i vinova loza, ali prate se i pčele i poljodjelski radovi.

U Hrvatskoj prva fenološka opažanja započeo je prirodoslovac Grgur Bučić u Hvaru 1867. godine. Budući da razvoj biljaka znatno ovisi o vremenu i klimi, Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) uveo je sustavna fenološka opažanja 1951. godine. Fenološka opažanja najčešće se obavljaju na istim mjestima ili najbližoj okolici gdje i meteorološka mjerenja. Za fenološka istraživanja neobično su važni i međunarodni fenološki vrtovi kakav je u sklopu DHMZ-a 1958. godine podignut u Križevcima s biljkama kontinentalnog podneblja. Takvi su vrtovi svuda u svijetu zasnovani na istovjetnom sadnom materijalu pa se na genetski istim biljkama mogu ispitivati utjecaji vremena i klime.

Da bi se uz pomoć fenoloških opažanja utvrdile klimatske varijacije na nekom području, pogodno je promatrati one biljke koje slobodno rastu u prirodi na koje čovjek izravno ne djeluje dodatnim agrotehničkim mjerama, ali i isto tako da postoje dugogodišnja fenološka motrenja jednog te istog feno objekta. Oba uvjeta zadovoljavaju šumsko drveće, a samo drugi uvjet ispunjavaju voćke. U fenologiji referentna biljka je jorgovan zbog njegove prisutnosti u gotovo svim klimatskim zonama pa tako i u višim geografskim širinama.

U ovom nacionalnom izvješću prikazani su rezultati linearnih trendova dugogodišnjih fenoloških faza jorgovana, jabuke i masline s fenoloških postaja Daruvar, Zagreb, Gospić, Rab i Hvar (slika 3-1) uglavnom iz razdoblja 1961-2008. Postaje su izabrane tako da pokrivaju osnovne klimatske tipove u Hrvatskoj: kontinentalni, planinski i mediteranski kao i gradsku sredinu Zagreba.

Vremenske prilike posljednjih godina sve manje prate poznate godišnje i sezonske hodove i sve je više ekstremnih vremenskih događaja koji ne prate prosječna stanja. Tako su primjerice tijekom 2007. godine, zbog izrazito tople zime i proljeća, fenofaze nastupile osjetno ranije. Analize linearnih trendova fenofaza masline duž jadranske obale i otoka te šumskog drveća i voćaka u gorskoj Hrvatskoj posljednjih pedesetak godina pokazale su signifikantan raniji

početak njihova cvjetanja (2–4 dana/10 godina) kao posljedicu signifikantnog povećanja proljetnih vrijednosti temperature zraka na tom području.



Slika 3-1. Položaj odabranih meteoroloških i fenoloških postaja u Hrvatskoj

U unutrašnjosti Hrvatske vegetacijsko razdoblje za većinu biljaka počinje u ožujku ili travnju. U prosjeku je početak listanja jorgovana u Zagrebu 26. ožujka, a u Daruvaru 1. travnja (tablica 3-1). Svakako da se to mijenja od godine do godine pa raspon između najkasnijeg i najranijeg datuma može biti i mjesec i pol dana. Cvjetanje obično počne tri tjedna nakon listanja, a svoje puno cvjetanje jorgovan postigne tjedan dana nakon početka cvjetanja. Velike vrijednosti standardne devijacije (8–12 dana) također ukazuju na veliku godišnju varijabilnost pojave listanja i cvjetanja jorgovana od godine do godine.

U gorskoj Hrvatskoj početak vegetacije je pomaknut prema travnju i svibnju pa u Gospiću jorgovan najčešće prolista 15. travnja, a procvjeta 6. svibnja. To je točno mjesec dana kasnije nego u Hvaru. Svakako da je granica početka vegetacije sve ranija kako se pomiče prema jugu Hrvatske. Usporedba između sjevernog i srednjeg Jadrana pokazuje 4–5 dana raniji početak listanja i cvjetanje jorgovana u Hvaru nego Rabu.

U prosjeku jabuka prolista i procvjeta dva tjedna prije u Daruvaru (9. i 17. travnja) nego Gospiću (25. travnja i 2. svibnja). Dozrijevanje jabuke također započinje dva tjedna prije u Daruvaru (6. rujna) nego u Gospiću (22. rujna). Tako vegetacijsko razdoblje jabuke u nizinskoj Hrvatskoj traje sedam mjeseci, a u gorskoj Hrvatskoj šest mjeseci zbog ranijeg početka žućenja i opadanja lišća.

Pojava prvih cvjetova, puno cvjetanje i završetak cvjetanja masline je oko tjedan dana ranije u Hvaru nego Rabu. Međutim, početak zrenja plodova najčešće je polovicom listopada, a berba u prvom desetodnevju studenog na obje lokacije.

Tablica 3-1. Srednji (SRED), najkasniji (MAKS) i najraniji (MIN) datumi fenofaze za obični jorgovan, jabuku i maslinu uz pripadnu standardnu devijaciju (STD) i amplitudu (AMPL = MAKS - MIN) na odabranim postajama u Hrvatskoj uglavnom u razdoblju 1961–2008.

FENOFAZE		UL	BF	FF	EF	RF	RP	CL	FL	
OBIČNI JORGOVAN	SRED	1.4.	21.4.	28.4.						
	STD	12	10	9	LEGENDA: UL – početak listanja BF – početak cvjetanja FF – puno (opće) cvjetanje EF – završetak cvjetanja RF – prvi zreli plodovi RP – berba CL – opće žućenje lišća FL – opće opadanje lišća					
	MAKS	23.4.	7.5.	13.5.						
	MIN	8.3.	30.3.	9.4.						
	AMPL	46	38	34						
	SRED	26.3.	20.4.	26.4.						
	STD	12	8	8						
	MAKS	15.4.	2.5.	10.5.						
	MIN	8.3.	1.4.	9.4.						
	AMPL	38	31	31						
	SRED	15.4.	6.5.	12.5.						
	STD	11	9	9						
	MAKS	2.5.	20.5.	26.5.						
	MIN	24.3.	10.4.	17.4.						
	AMPL	39	40	39						
	SRED	22.3.	11.4.	18.4.						
	STD	8	9	8						
	MAKS	3.4.	28.4.	6.5.						
	MIN	27.2.	22.3.	30.3.						
	AMPL	36	37	37						
SRED	17.3.	6.4.	14.4.							
STD	9	8	9							
MAKS	31.3.	22.4.	1.5.							
MIN	21.2.	19.3.	24.3.							
AMPL	39	34	38							
JABUKA	SRED	9.4.	17.4.	23.4.	2.5.	6.9.	22.9.	22.10.	8.11.	
	STD	9	9	8	7	7	6	11	11	
	MAKS	25.4.	3.5.	9.5.	16.5.	18.9.	9.10.	11.11.	25.11.	
	MIN	19.3.	23.3.	31.3.	19.4.	24.8.	9.9.	29.9.	7.10.	
	AMPL	37	41	39	27	25	30	43	49	
	SRED	25.4.	2.5.	8.5.	14.5.	22.9.	5.10.	19.10.	29.10.	
	STD	9	8	8	9	6	7	9	9	
	MAKS	8.5.	19.5.	23.5.	29.5.	7.10.	18.10.	4.11.	11.11.	
	MIN	3.4.	17.4.	20.4.	27.4.	7.9.	24.9.	1.10.	6.10.	
	AMPL	35	32	33	32	30	24	34	36	
MASLINA	SRED		27.5.	3.6.	14.6.	14.10.	7.11.			
	STD		8	8	7	10	10			
	MAKS		14.6.	18.6.	30.6.	3.11.	25.11.			
	MIN		6.5.	13.5.	31.5.	9.9.	30.9.			
	AMPL		39	36	30	55	56			
	SRED		21.5.	28.5.	6.6.	16.10.	9.11.			
	STD		10	10	11	11	8			
	MAKS		5.6.	15.6.	26.6.	5.11.	25.11.			
	MIN		4.4.	8.4.	14.4.	9.9.	20.10.			
	AMPL		62	68	73	57	36			

Da bi se procijenila tendencija kašnjenja/ranjenja fenofaza u Hrvatskoj, proračunati su linearni trendovi njihovog nastupa za promatrano dugogodišnje razdoblje (tablica 6.4.2 i slika 6.4.2). Vrijednosti linearnog trenda u tablici 6.4.2 svedene su na 10-godišnje razdoblje. Jedna od metoda koja omogućuje ocjenu statističke signifikantnosti promjene razine oko koje su članovi vremenskog niza raspoređeni tj. ocjenu postojanja linearnog trenda je neparametarski Mann-Kendallov rank test (Michell i dr., 1966).

Statistički signifikantni trend na razini 0.05 zamjećuje se u ranijem cvjetanju promatranog bilja (2–4 dana/10 godina) u svim klimatskim zonama gdje uspijevaju osim u gradskoj sredini Zagreba. Porast temperature zraka u gradu Zagreba ne može se samo tražiti u globalnom zagrijavanju već i u naglom širenju grada Zagreba u posljednjih stotinjak godina.

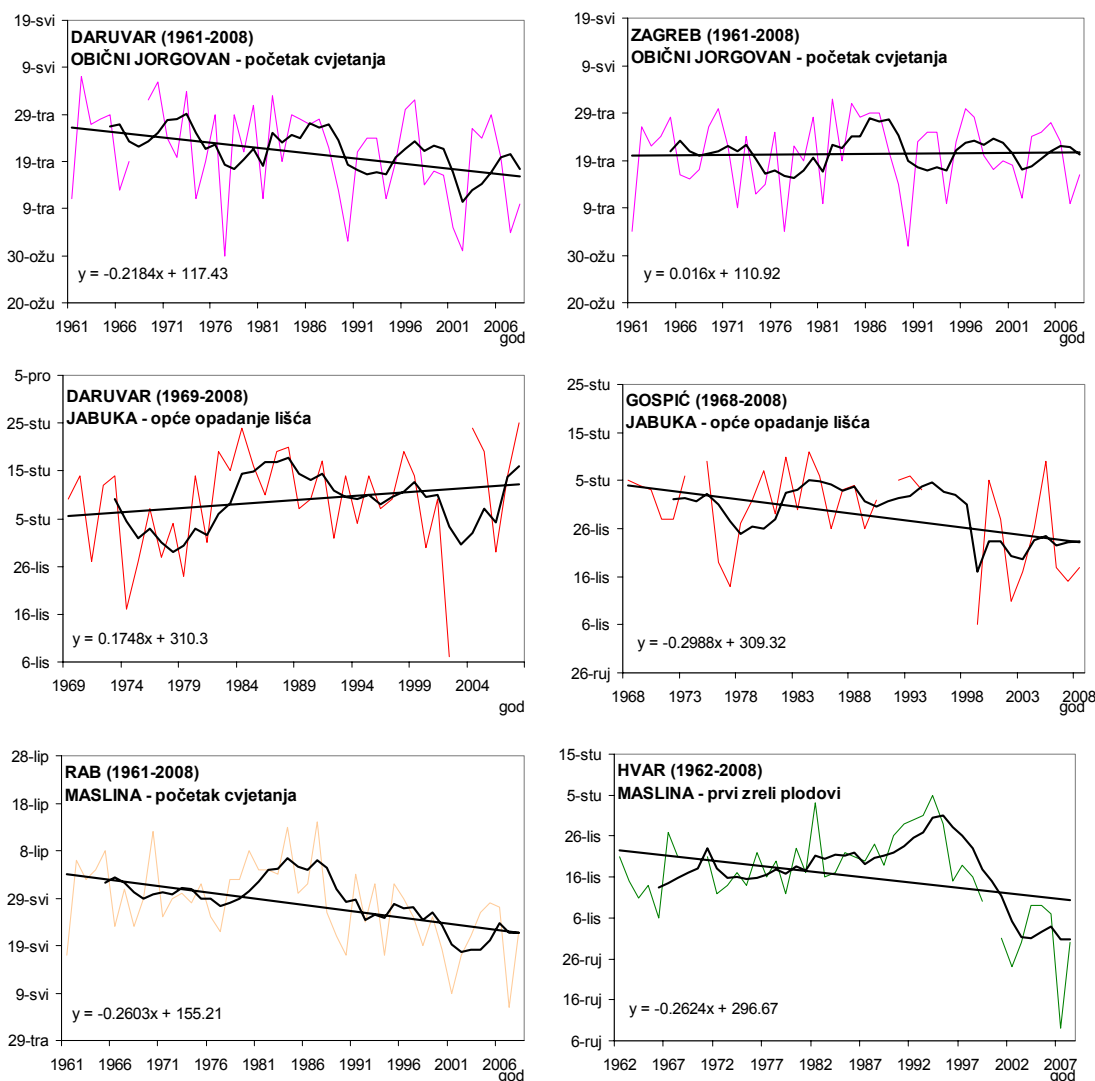
Ranije cvjetanje jabuke (3–4 dana/10 god) izraženije je u gorskoj Hrvatskoj nego u nizinskoj (2 dana/10 god). Signifikantni trend dozrijevanja i berbe jabuke zamijećen je samo nizinskoj Hrvatskoj kao i tendencija produljenja vegetacije (opadanje lišća je kasnije 2 dana /10 god). Naprotiv u gorskoj Hrvatskoj opažen je negativan trend početka žućenja i opadanje lišća jabuke (3 dana/10 god) što ukazuje na skraćivanje vegetacijskog razdoblja u jesen.

Cvjetanje masline je ranije 2 dana/10 god na sjevernom Jadranu, a u Dalmaciji 3 dana/10 god. Ranije zrenje plodova masline opaža se u Dalmaciji 2 dana/10 god dok ranija berba nije samo utjecaj vremenskih prilika već ovisi i o raspoloživim postrojenjima za preradu maslinova ulja, količini uroda koja se može u danom trenutku preraditi te o potražnji tržišta za određenom kakvoćom ulja.

Analiza utjecaja klimatskih promjena na biljke pokazala je u svim klimatskim zonama raniji početak cvjetanja promatranog bilja u proljeće što je posljedica toplije zime i proljeća. U jesen se ne uočava tako jednoznačno kašnjenje žućenja i opadanja lišća u svim klimatskim zonama tj. produljenje vegetacijskog razdoblja zapaženo je u nizinskoj Hrvatskoj, ali ne i u gorskoj. Ti rezultati su u skladu i s opaženim izraženijim porastom srednje temperature zraka u proljeće nego u jesen.

Tablica 3-2. Linearni trendovi fenofaza (dan/10 god) za obični jorgovan, jabuku i maslinu na odabranim postajama u Hrvatskoj uglavnom u razdoblju 1961-2008. Signifikantni linearne trendovi na razini ≤ 0.05 su podebljani.

TREND (dan/10 god)	FENOFAZE	UL	BF	FF	EF	RF	RP	CL	FL
OBIČNI JORGOVAN	DARUVAR	0.7	-2.1	-2.8					
	ZAGREB	-3.4	0.2	0.3					
	GOSPIĆ	-3.5	-2.2	-2.4					
	RAB	-0.6	-2.7	-2.3					
	HVAR	-1.6	-1.9	-2.3					
JABUKA	DARUVAR (1969-2008)	-0.8	-2.2	-2.2	-1.7	-1.8	-2.1	-0.2	1.7
	GOSPIĆ (1968-2008)	-2.4	-3.0	-3.8	-4.5	-0.6	-0.7	-2.7	-2.9
MASLINA	RAB		-1.8	-2.2	0.0	0.0	-1.7		
	HVAR		-2.9	-2.9	-2.9	-2.6	-2.0		



Slika 3-2. Vremenski nizovi fenoloških faza običnog jorgovana, jabuke i masline, 5-godišnji klizni srednjaci i linearni trendovi za Daruvar, Zagreb, Gospić, Rab i Hvar uglavnom u razdoblju 1961–2008. x je broj godina (1,2...n).

LITERATURA:

- Mitchell J. M. Jr., Dzerdzevskii B., Flohn H., Hofmeyr W. L., Lamb H.H., Rao K.H., C.C. Wallen: 1966: Climatic Change, WMO Tech. Note 79, 58–75.
- Vučetić, M., V. Vučetić, 1996: The phenological analysis of almond culture along the Adriatic coast, *Biometeorology*, 14, 247–254.
- Vučetić, M., Ž. Lončar, 2006: Growing degree days between the phenological phases of forest trees and shrubs in the NW part of Croatia, *Zbornik sažetaka s 6th European Conference on Applied Climatology*, Ljubljana, 4–8. rujna 2006, 1 str. (CD-ROM).
- Vučetić, V., M. Vučetić, 2003: Fenološke značajke na području Zavižana, *Šumarski list*, 7-8, 359–372.
- Vučetić, V., M. Vučetić, 2005: Variations of phenological stages of olive-trees along the Adriatic coast, *Periodicum Biologorum*, 107, 335–340.
- Vučetić, V., M. Vučetić, 2006: Phenological fluctuations as a possible signal of climatic changes in the Croatian mountain area, *Meteorologische Zeitschrift*, 15, 2, 237–242.
- Vučetić, V., M. Vučetić, M., Ž. Lončar, 2008: History and present observations in Croatian plant phenology, poglavlje u knjizi, *The history and current status of plant phenology in Europe (COST 725, Nekovar, J. (ur.)), 44–50.*

3.2. Utjecaj klimatskih promjena na opasnost od šumskih požara

Razne definicije svrstavaju šumski požar u skupinu elementarnih nepogoda, što je ispravno, ali njegov nastanak se vezuje uz drugu elementarnu nepogodu, sušu. Time učinak jedne elementarne nepogode uzrokuje drugu, ali se time krug ne zatvara. Naime, šumski požar uzrokuje velike promjene na području koje je zahvaćeno vatrom. Najveće promjene nastaju na biljnom pokrovu koji biva uništen požarom. Drastične i velike promjene u biljnom pokrovu izazivaju i one nastale erozijom. Već sami učinak vatre dovodi i do kemijsko-fizikalnih promjena u sastavu tla. Sve te nagle i velike promjene na određenom području uzrokuju promjene u biljnom pokrovu prije i nakon šumskog požara. Time se pokazuje međudjelovanje procesa koji se odvijaju u atmosferi i onih u tlu.

U većini slučajeva potrebno je dulje razdoblje da se uspostavi prvobitna prirodna ravnoteža. Ponekad dolazi do takvih promjena koje ne dozvoljavaju povratak na staro. U tom slučaju potrebna je intervencija čovjeka da bi se prirodnim zakonitostima "pomoglo" vratiti početno stanje. Međutim, svako uplitanje čovjeka i s najboljim namjerama, ne znači da će rezultat biti željeni cilj. Štoviše, i mali propusti ili krive procjene mogu dovesti do novih elementarnih nepogoda koje će zahvatiti i puno veće površine i s puno gorim posljedicama od početne suše odnosno šumskog požara.

Područje hrvatske jadranske obale, a posebice otoci izrazit je primjer područja na kojem dolazi do punog izražaja zajednička sprega vode (oborine) i vatre. Općenito se može reći da u ljetnom razdoblju broj požara i spaljena površina raste od sjevera prema jugu i od unutrašnjosti prema obali i otocima, a u zimskom i ranoproljetnom razdoblju obrnuto. I količina oborine se smanjuju od sjevera prema jugu i od unutrašnjosti prema otocima. Zbog svoje specifičnosti najugroženija područja od šumskih požara jesu baš otoci, a među njima posebice se izdvajaju srednjodalmatinski otoci.

U prosjeku se godišnje u Hrvatskoj javlja 450 požara spaljene površine oko 9000 ha. U posljednjih 10-ak godina najveći broj šumskih požara, njih 730, zabilježeno je 2000. godine kada je izgorjelo 27400 ha. I u ekstremno toplim i suhim godinama 1998, 2003. i 2007. zabilježen je iznadprosječan broj šumskih požara na jadranskom području.

Već se gotovo 30 godina u Državnom hidrometeorološkom zavodu za procjenu opasnosti od šumskih požara na Jadranu primjenjuje kanadska metoda *Fire Weather Index (FWI)*. Meteorološki indeks opasnosti od šumskih požara *FWI* procjenjuje zapaljivosti goriva koji uvažava učinke prošlih i trenutnih vremenskih prilika na tri vrste pokrivača šumskog tla: fino, srednje i krupno gorivo. Da bi se mogao računati meteorološki indeks opasnosti od šumskih požara, meteorološka motrenja i mjerenja moraju se obavljati u najtoplijem dijelu dana, a najbliži meteorološki termin motrenja je onaj u 13 h po srednjeeuropskom vremenu odnosno po ljetnom ukaznom vremenu u 14 h. Meteorološki elementi temperatura i relativna vlažnost zraka, brzina vjetera i 24-satna količina oborine su ulazni podaci programa za izračunavanje meteorološkog indeksa opasnosti od šumskog požara *FWI*.

Pomoću *FWI* određuje se dnevna procjena žestine (*Daily Severity Rating, DSR*) odnosno ocjena potencijalne opasnosti prema relaciji:

$$DSR = 0.0272 FWI^{1.77}$$

Iz *DSR* se izračunava srednja mjesečna vrijednost *MSR (Monthly Severity Rating)* ili srednja

sezonska SSR (Seasonal Severity Rating, SSR) procjena žestine. Općenito, vrijednosti SSR iznad 7 znače ekstremnu potencijalnu opasnost, vrijednosti između 3 i 7 su velika do vrlo velika, vrijednosti između 1 i 3 čine umjerenu, a vrijednosti manje od 1 jednake su maloj potencijalnoj opasnosti.

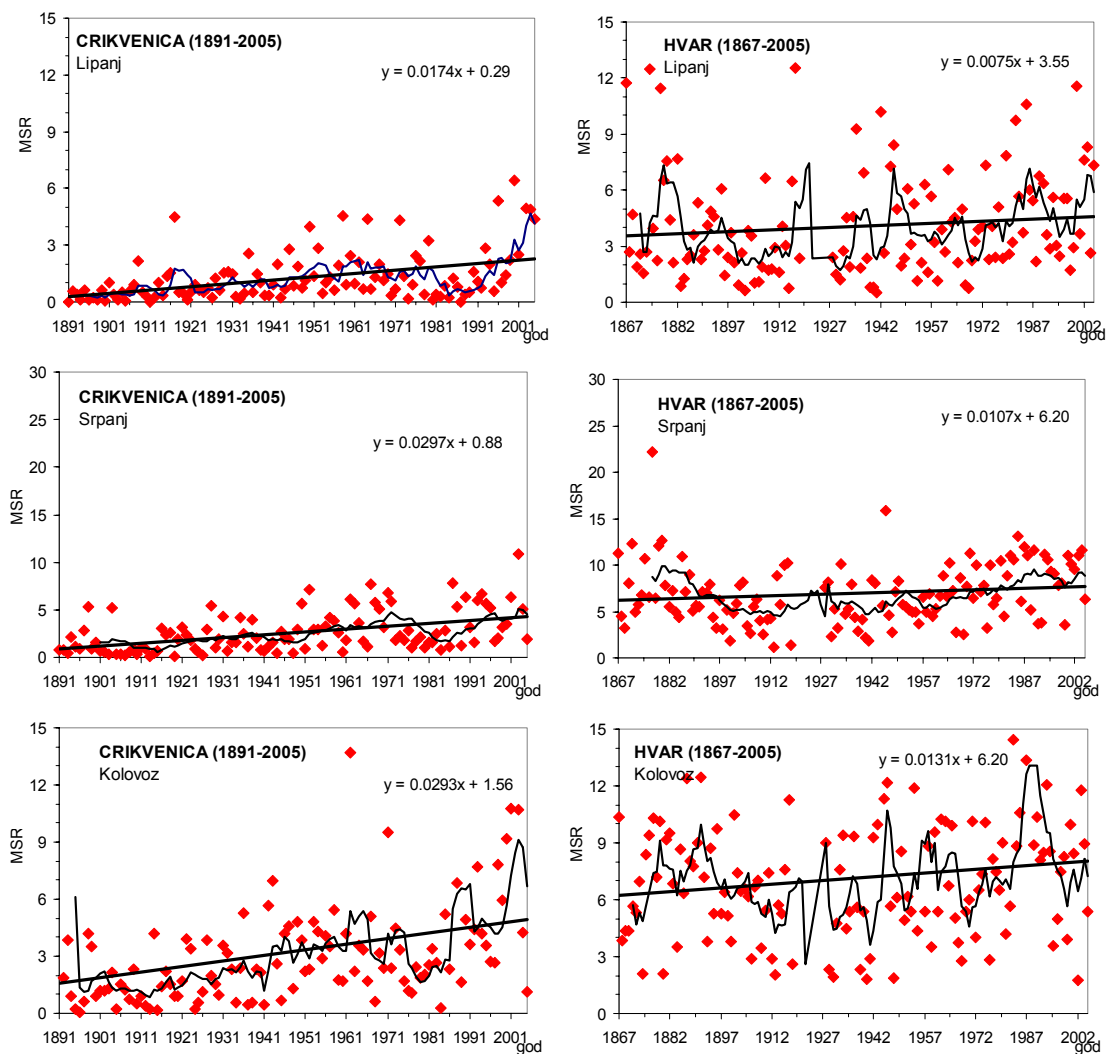
Kako procjena žestine u sebi sadrži meteorološke uvjete kao i stanje vlažnosti mrtvog šumskog gorivnog materijala, *MSR* i *SSR* služe za klimatološko-požarni prikaz prosječnog stanja na nekom području po mjesecima i za požarnu sezonu. Dnevne vrijednosti *DSR* mogu biti pokazatelj promjene stanja iz sata u sat i shodno tome za brzo djelovanje i razmještaj vatrogasnih postrojbi na ugroženom području.

Za analizu sekularnih varijacija *MSR* rabljeni su dugogodišnji vremenski nizovi meteoroloških postaja Crikvenice (1891–2005) i Hvara (1867–2005) koji su reprezentativni za klimatske prilike sjevernog i srednjeg Jadrana (slika 3-1). Zbog veće srednje mjesečne temperature zraka i manje količine oborine u Hvaru nego u Crikvenici, *MSR* je 2–3 puta veći na srednjem Jadranu u odnosu na sjeverni (tablica 3-3).

Tablica 3-3. Srednje (SRED), maksimalne (MAKS) i minimalne (MIN) mjesečne procjene žestine *MSR* uz pripadnu standardnu devijaciju (STD) i amplitudu (AMPL = MAKS - MIN) za Crikvenicu (1891–2005) i Hvar (1867–2005) kao i usporedba s normalom 1961–1990.

MJESECI	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan
CRIKVENICA (1891-2005)					
SRED	0.9	1.3	3.2	3.8	1.7
STD	0.8	1.1	2.3	3.6	2.1
MAKS	3.3	4.4	7.8	16.9	10.5
MIN	0.0	0.0	0.6	0.3	0.1
AMPL	3.3	4.4	7.2	16.6	10.5
CRIKVENICA (1961-1990)					
SRED	0.8	1.3	2.6	3.2	1.8
STD	1.3	1.3	2.2	3.2	2.0
MAKS	5.6	6.4	10.9	23.7	19.8
MIN	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
AMPL	5.6	6.4	10.8	23.7	19.8
HVAR (1867-2005)					
SRED	2.5	4.1	6.9	7.1	4.4
STD	1.9	2.8	3.3	3.2	3.4
MAKS	10.1	12.5	22.2	17.8	18.0
MIN	0.1	0.5	1.2	1.8	0.0
AMPL	10.1	12.0	21.0	16.0	18.0
HVAR (1961-1990)					
SRED	3.0	4.5	8.0	8.2	4.9
STD	1.7	2.4	2.9	3.6	3.6
MAKS	7.0	10.6	13.2	16.8	14.7
MIN	0.5	0.7	2.5	2.8	0.6
AMPL	6.4	9.9	10.6	14.0	14.1

Usporedba srednjih sekularnih vrijednosti *MSR* s prosjekom iz razdoblja 1961–1990. pokazuje slične vrijednosti u Crikvenici i manje u Hvaru za dugogodišnje razdoblje u odnosu na normalu. Da bi se utvrdilo moguće povećanje opasnosti od šumskih požara na Jadranu, linearni trendovi za *MSR* i neparametarski Mann-Kendall rang test analizirani su za Crikvenicu i Hvar u sezoni od svibnja do rujna (tablica 3-4 i slika 3-3). Signifikantno povećanje potencijalne opasnosti zamijećeno je u Crikvenici u svim mjesecima požarne sezone dok je u Hvaru u lipnju i srpnju. Progresivni test pokazuje početak povećanja *MSR* u ranim 1980-tim, a trendovi postaju signifikantni početkom 21. stoljeća.



Slika 3-3. Vremenski nizovi mjesečne žestine *MSR*, 5-godišnji klizni srednjaci i linearni trendovi za meteorološke postaje Crikvenica (1891–2006) i Hvar (1867–2005). x je broj godina (1,2...n).

Tablica 3-4. Linearni trendovi mjesečne procjene žestine MSR (/10 god) za Crikvenicu (1891–2005) i Hvar (1867–2005). Signifikantni linearne trendovi na razini ≤ 0.05 su podebljani.

MJESECI	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan
CRIKVENICA (1891–2005)					
TREND (/10 god)	0.12	0.17	0.29	0.29	0.06
HVAR (1867–2005)					
TREND (/10 god)	-0.03	0.07	0.11	0.13	0.02

Povećana opasnost od šumskih požara, koja je zamijećena u lipnju, posebno je važna jer ukazuje na raniji početak požarne sezone na Jadranu. No, analiza također pokazuje širenje područja s povećanom opasnosti od šumskih požara od srednjeg prema sjevernom Jadranu osobito u srpnju i kolovozu. Razlog porasta opasnosti od šumskih požara na sjevernom Jadranu je zbog signifikantnog povećanja srednje temperature zraka i signifikantnog smanjenja količine oborine u ljetnim mjesecima.

LITERATURA:

- Sneyers, R., 1990: On the Statistical analysis of series of observations, WMO Tech. Note, 143, 1–15.
- Van Wagner C.E., 1974.: Structure of the Canadian forest fire weather index, Department of the Environment, Canadian Forestry Service, Publ. No. 1333, Ottawa, 44 pp.
- Van Wagner C.E., T.L. Pickett, 1985: Equations and Fortran Program for the Canadian Forest Fire Weather Index System, Canadian Forestry Service, Government of Canada, Forestry Technical Report, 33 pp.
- Vučetić, M., 1987: Meteorološka analiza katastrofalnog šumskog požara na Korčuli 1985, Rasprave-Papers, 22, 67–72.
- Vučetić, M., 1992: Vremenske prilike tijekom šumskog požara na otoku Hvaru 13–31.7.1990, Hrvatski meteorološki časopis, 27, 69–76.
- Vučetić, M., 1998: The influence of weather condition on forest fire on the island of Hvar, 28 July–4 August 1997, Zbornik radova III International Conference on Forest Fire Research, Vol. I, Luso, Portugal, 16–20 studeni 1998, 1295–1303.
- Vučetić, M., V. Vučetić, 1999: Different types of the forest fires on the Croatian coast, Zbornik radova sa Symposium Forest Fires: Needs and Innovations, DELFI99, Athens, Greece, 17–20 studeni 1999, 365–369.
- Vučetić, M., 2001: Vremenske prilike i šumski požari na hrvatskom priobalju tijekom 2000., Šumarski list, 7–8, 367–378.
- Vučetić, M., 2002: Vremenske prilike i usporedba sezone zaštite šuma od požara 2001. u odnosu na višegodišnji prosjek, Šumarski list, 11–12, 563–574.
- Vučetić, M., V. Vučetić, 2002: Vrijeme na Jadranu – Meteorologija za nautičare, Fabra d.o.o., Zagreb, 129 pp.
- Vučetić, M., Vučetić, V., Španjol, Ž., Barčić, D., Rosavec, R., A. Mandić, 2006: Secular variations of monthly severity rating on the Croatian Adriatic coast during the forest fire season, Forest Ecology and Management, 234 supplement 1, 251–261.